

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL AFETLERİN ENDÜSTRİYEL TESİSLERE ETKİSİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE ULUSLARARASI
STANDARTLARA GÖRE YAPILARIN TASARIM
KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

SERDAR DOĞANGÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL AFETLERİN ENDÜSTRİYEL
TESİSLERE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
VE ULUSLARARASI STANDARTLARA GÖRE
YAPILARIN TASARIM KRİTERLERİNİN
BELİRLENMESİ

SERDAR DOĞANGÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE
2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EVALUATION OF THE EFFECT OF NATURAL
DISASTERS ON INDUSTRIAL FACILITIES AND
DETERMINING THE DESIGN CRITERIA OF
STRUCTURES ACCORDING TO
INTERNATIONAL STANDARDS**

SERDAR DOĞANGÜNEŞ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPATMENT OF CIVIL ENGINNERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

GEBZE
2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/05/2023 tarih ve 2023/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/06/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Serdar Doğangüneş'in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI) : PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ

ÜYE : PROF. DR. M. EREN UÇKAN

ÜYE : DOÇ. DR. ONUR ŞEKER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Natech (Doğal Afetlerin Tetiklediği Teknolojik Kazalar) olarak adlandırılan teknolojik olaylar, doğal afetlerin sebep olduğu kazaları ifade etmektedir. Endüstriyel tesisler doğal felaketlerin (deprem, tsunami, sel, fırtına, yıldırım düşmesi) etkisine açıktır ve bu etkiler Do-Tek (Doğal afetlerin teknolojik kazalara sebep olması) kazalarını, toksik maddelerin serbest bırakılmasını, yangınlara, patlamalara, su baskınlarına, yapıların hasar görmesine sebep olmaktadır. Bu tez çalışmasında geçmiş Do-Tek olayları sebebiyle meydana gelen kazalarda genel hasar tipleri belirtilmiştir. Rafinerilerde bulunan en kritik yapı olan, domino etkisinde yüksek riskleri barındıran depolama tanklarının tasarımı için Sıvı depolama tankları deprem yönetmeliği ve API 650 kriterler karşılaştırılmış ve iki farklı boyutu olan ankrajlı tankların sayısal analiz ve modellenmesi, aynı doluluk oranları ile sıvı depolama tanklarının davranışı, zaman tanım alanında ve farklı ivmeler altında farklı hasar durumları ile detaylı şekilde açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Natech, DoTek, Endüstriyel Kazalar, Tank Sismik Tasarımı, Depolama Tankları.

SUMMARY

Technological events that occur due to the triggering of natural disasters are defined as Natech (Natural-hazard triggered technological accidents) or Do-Tek (natural technological incidents caused by natural disasters). Industrial facilities are vulnerable to the effects of natural disasters (such as earthquakes, tsunamis, floods, storms, lightning strikes) and these effects can cause Do-Tek accidents, release of toxic substances, fires, explosions, flooding, and damage to structures. The general types of damage caused by past Do-Tek incidents have been specified. Through a comparison of seismic regulations and API 650 criteria, storage tanks - which are the most critical structure in refineries and carry significant risks in a domino effect - were analyzed. The behavior of structures with different sizes at the same filling levels in different earthquake scenarios was explained in detail through numerical analysis and modeling.

Key Words: Natech, Industrial Accidents, Tank Seismic Design, Storage Tanks.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, danışmanım Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a, yaptığımız görüşmelerde bana verdiği geri bildirimler, yön verici öneriler ve motivasyon sağlayan sözleri ve destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmamı tamamlamamda manevi destekleri için eşim Endy'e oğlum Emir Arda'ya, ayrıca Annem, Babam ve kardeşime teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. DO-TEK OLAYLARI	2
2.1. Do-Tek Olayları ve Etkileri	2
2.1.1. Jeolojik Olaylar	3
2.1.2. Meteorolojik Olaylar	4
2.1.3 Çoklu Olaylar	4
2.2. Kocaeli Depremi ve Do-Tek Olayları	5
2.2.1 Kocaeli Depremi ve Tank Yapısal Hasarları	6
2.3. Tohoku Japonya Depremi ve Do Tek Olayları	13
2.3.1 Tohoku Depremi ve Tank Yapısal Hasarları	14
3. DEPOLAMA TANKLARININ API-650 ve SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK TASARIM YÖNETMELİĞİ İL KARŞILAŞTIRILMASI	18
3.1. API-650 Tasarım Sınıfları	19
3.1.1. Sismik Grup 3	19
3.1.2. Sismik Grup 2	19
3.1.3. Sismik Grup 3	19
3.2. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Tasarım Sınıfları	20

3.3. API-650 Deprem Yer Hareketleri	20
3.4. Sıvı Depolama Tank Tasarım Yönetmeliği Deprem Yer Hareketleri	21
3.4.1. S ₁ ve S _s için Faya Yakınlık Katsayısı	22
3.5. API-650 Sahaya Özel Deprem Yer Hareketleri	22
3.6. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Sahaya Özel Deprem Yer Hareketleri	23
3.7. API-650 Saha Zemin Koşulları İçin Modifikasyonlar	24
3.8. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Saha Zemin Koşulları İçin Modifikasyonlar	26
3.9. API-650 Darbesel ve Devinimsel Periyod	27
3.9.1. Yapısal Titreşim Periyodu	27
3.9.2. Darbesel Doğal Periyod	27
3.9.3. Devinimsel Periyod	28
3.10. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Darbesel ve Devinimsel Periyod	28
3.10.1. Darbesel Doğal Periyod	28
3.11. API 650 Tasarımsal Spektral Tepki İvmeleri	31
3.11.1. Spektral İvme Katsayıları	31
3.11.2. Darbesel Spektral İvme Katsayıları	32
3.11.3. Konvektif Spektral İvme Katsayıları	32
3.11.4. Sahaya Özel Tasarım Spektral Tepki İvmeleri	32
3.11.4.1 İstisnalar	33
3.12. Konvektif Spektral İvme Katsayıları	33
3.13. Sismik Dizayn Faktör	33
3.14. Azaltma Katsayısı	34
3.15. Yapı Önem Katsayısı	34
3.16. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Spektral Tepki İvmeleri	34
3.16.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	34
3.16.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu	37
3.17. API 650 Tasarımı	38
3.17.1. Dizayn Yükleri	38
3.17.2. Efektif Ağırlık	39

3.18. Ringwall Devrilme Momenti Ekseni	40
3.19. Radye Temel Devrilme Momenti Ekseni	40
3.20. Dinamik Sıvı Yükleri	41
3.21. Devrilme Momenti	42
3.22. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Yük Koşulları	43
3.22.1. Sıvı Yükleri	43
3.22.2. Devrilme Momenti	45
3.22.3. Kesme Kuvveti	46
3.23. API 650 ve Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Örnek Çözüm	47
3.23.1. Sıvı Depolama Tankları Yönetmeliğine Göre Sismik Tasarım	47
3.23.2. Sıvı Depolama Tankları Yönetmeliğine Göre Deprem Kuvvetleri Hesabı	58
3.24 API 650 Yönetmeliğine Göre Sismik Tasarımı	62
3.24.1 API 650 Yönetmeliğine Göre Deprem Kuvvetleri Hesabı	66
4. DEPOLAMA TANKLARININ SAYISAL MODELİ VE ANALİZİ	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	91
EKLER	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	: İvme katsayısı
Ac	: Devinimsel dizayn spektrum ivme katsayısı
Ai	: Darbesel dizayn spektrum ivme katsayısı
Av	: Düşey deprem ivme katsayısı
Cc	: Devinimsel periyod hesaplama katsayısı
Ci	: Darbesel periyod hesaplama katsayısı
Cv	: Düşey periyod hesaplama katsayısı
E	: Duvar elastisite modülü
Fa	: Kısa periyod yerel zemin etki katsayısı
Fv	: 1 sn periyod yerel zemin etki katsayısı
H	: Sıvı yüksekliği
Hc	: Devinimsel etki yüksekliği
Hi	: Darbesel etki yüksekliği
MOT	: Devrilme momenti
$\eta_{\xi_i}(T_i, \xi_i)$	: Darbesel sönüm katsayısı
$\eta_{\xi_c}(T_c, \xi_c)$	: Devinimsel sönüm katsayısı
R	: Tank yarıçapı
R	: Azaltma katsayısı (API-650)
Ss	: Kısa periyod harita spektral ivme değeri
S1	: 1.0 saniye periyod için harita spektral ivme değeri
Tc	: Devinimsel periyod
Ti	: Darbesel periyod
Tv	: Düşey periyod
tw	: Tank duvar et kalınlığı
V	: Kesme kuvveti
γ_s	: Doğrultu etki katsayısı
γ_1	: Doğrultu etki katsayısı
φ	: Fay etkisi

ρ : Sıvı yoğunluğu



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>	
2.1:	Yıllara göre do-tek olayların dağılımı.	3
2.2:	Kocaeli depremi merkez üssü (17 Ağustos, 1999).	5
2.3:	Kocaeli depremi response spektrumu.	6
2.4:	Tüpraş yıllık ham petrol üretimi.	7
2.5:	Tüpraş rafinerisi hasar görmüş tanklar (17 Ağustos, 1999).	8
2.6:	Tüpraş rafinerisi hasar görmüş tanklar (17 Ağustos, 1999).	8
2.7:	Tüpraş rafinerisi tank fil ayağı oluşumu (17 Ağustos, 1999).	9
2.8:	Tüpraş rafinerisi tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).	9
2.9:	Tüpraş rafinerisi tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).	10
2.10:	Naptha tanklarında depremin etkisi.	11
2.11:	Acn tanklarında depremin etkisi.	12
2.12:	Habaş tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).	13
2.13:	Tohoku depreminin etki alanı.	14
2.14:	Tohoku depreminden etkilenen lpg tank sahası.	15
2.15:	Tohoku depreminin ardından lpg tank patlaması.	15
2.16:	Tohoku depreminin ardından tank hasarı.	16
2.17:	Tohoku tsunami sebebiyle oluşan tank hasarı.	17
2.18:	Tohoku depremi sebebiyle oluşan silo burkulması hasarı.	17
3.1:	Devinimsel titreşim mod hesaplama katsayısı	31
3.2:	Temsili yatay ivme tasarım spektrumu.	37
3.3:	Temsili düşey ivme tasarım spektrumu.	38
3.4:	Silindirik tankların analizi için tanımlanan basınç değerleri.	43
3.5:	Seçilen koordinatların faya olan uzaklığı.	48
3.6:	Seçilen sönüm oranı katsayıları.	54
3.7:	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri.	55
3.8:	Düşey ivme spektrumu $SA_{aeD}(T_v, \xi)$.	57
3.9:	Ci Katsayısı grafiği.	63
4.1:	Göz önüne alınan deprem kaydının üç yöndeki orjinal hali.	70
4.2:	Analizleri yapılan tank modeli H:13.5, R:27.	72
4.3:	Analizleri yapılan tank modeli H:13.5, R:4.5.	72

4.4:	Model doğrulaması için yapılan kıyaslama (Alttaki tank görsel ve sonucu yayınından alınmıştır) H:12.6m, R:11.6m.	73
4.5:	Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	74
4.6:	Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	75
4.7:	Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	75
4.8:	Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	76
4.9:	Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	76
4.10:	Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	77
4.11:	Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	77
4.12:	Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	78
4.13:	Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	78
4.14:	Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	79
4.15:	Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	79
4.16:	Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	80
4.17:	Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	81
4.18:	Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	81
4.19:	Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	82

4.20:	Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	82
4.21:	Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	83
4.22:	Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	83
4.23:	Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	84
4.24:	Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	84
4.25:	Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	85
4.26:	Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen gerilme sonucu.	85
4.27:	Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.	85
4.28:	Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.	86
4.29:	Narin ve geniş tank gerilme sonuçları.	87
4.30:	Narin ve geniş tank plastik şekil değiştirme sonuçları.	87
4.31:	Narin ve geniş tank taban kesme kuvveti sonuçları.	87

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Doğal aktiviteler listesi.	2
2.2: Kocaeli depremi depolama tankları hasar tipleri.	13
3.1: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı, F_a .	24
3.2: 1 sn periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı, F_v .	25
3.3: Zemin sınıfları.	25
3.4: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı.	26
3.5: 1 Saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı.	27
3.6: C_i katsayısı.	28
3.7: Darbesel ve devinimsel titreşim modlarıyla ilgili kuvvetlerin hesabında kullanılacak parametre değerleri.	29
3.8: Düşey deprem hareketi bileşeniyle ilgili olan titreşim mod hesabında kullanılacak C_v değerleri.	30
3.9: Azaltma katsayısı (ASD)	34
3.10: Önem katsayısı (I) and sismik kullanım durumu sınıflandırması.	34
3.11: Sönüm oranı katsayısı, h_x denklemi parametreleri.	36
3.12: Tankların geometrik parametreleri.	47
3.13: Tankların mekanik parametreleri.	47
3.14: Saha özellikleri.	48
3.15: Saha deprem tehlike haritası ivme, hız değerleri ve performans hedefleri.	48
3.16: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı.	50
3.17: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı.	50
3.18: Darbesel ve devinimsel titreşim modlarıyla ilgili kuvvetlerin hesabında kullanılacak parametre değerleri.	51
3.19: Tankların geometrik parametreleri.	62
3.20: Tankların mekanik parametreleri.	62
3.21: Saha özellikleri.	63
3.22: Sıvı depolama tank yönetmeliği ve Apı 650 sonuç karşılaştırma.	67
4.1: Analizlerde kullanılan tankların geometrik özellikleri.	69

4.2: Tank ve sıvı ile ilgili mekanik özellikler.	70
4.3: Analizlerin sonucunda elde edilen bazı çıktılar.	74



1. GİRİŞ

Son yıllarda endüstriyel alanlarda meydana gelen kazalarda doğal afetlerin tesislere ciddi zararlar verebileceği, sızıntı kaybına neden olarak önemli doğrudan ve dolaylı tehlikelere yol açabileceği görülmüştür. Bir deprem durumunda, deprem kuvvetinin farklı ekipmanlara aynı anda zarar verebileceği, ciddi hasarlar ve domino etkisi nedeniyle etkisini artırabileceği görülmüştür. Örneğin, 1999'daki Türkiye'deki Kocaeli depremi; 2011'deki Japonya'daki Tohoku depremi ve ardından gelen tsunami en önemli örneklerden birkaçıdır. Deprem etkisi, endüstriyel tesislerde ciddi kazalara neden olabilir. Rafinerilerde en kritik yapı olan tankların deprem kuvvetleri altında davranışlarının bilinmesi yönetmeliklerdeki kriterlere göre tasarımların gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Literatür araştırmalarında Do-Tek olayları ağırlıklı işlenmiş ve doğal felaketlerin endüstriyel tesislere etkisi üzerinde çalışıldığı gözlemlenmiştir. Geçmişte, rafinerilerde bulunan depolama tanklarında oluşan hasar bilgileri ışığında gelecekte olabilecek kazaların minimize edilmesi adına depolama tankı sismik tasarımı 2018 yılında resmi şekilde yürürlüğe giren Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği ve API-650 sismik bölümleri karşılaştırılmış ve örnek hesap ile iki yönetmelik arasındaki deprem kuvvetleri hesapları gösterilmiştir. Son bölümde ise farklı tank tiplerinin 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş depremlerinde kaydedilen deprem kayıtlarından biri kullanılarak Abaqus programında zaman tanım alanında analiz (time history) metoduyla farklı parametreler kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmış ve hasar tipleri değerlendirilmiştir.

2. DO-TEK OLAYLARI

2.1. Do-Tek Olayları ve Etkileri

Doğal afetlerin (deprem, tsunami, sel, fırtına v.b) tetiklemesinden kaynaklanan teknolojik kazalar Do-Tek olayları olarak tanımlanmıştır. Bu olayların gerçekleşmesi düşük ihtimalli olup, olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu kazalar sebebiyle domino etkisi riskiyle birbirini tetikleyen olaylar başlayabilir ve büyüyen karmaşık felaketler modern toplumları savunmasız hale getirebilir. Do-Tek (Doğal afetlerin teknolojik kazalara sebep olması) olayları sebebiyle tesisler ve içinde bulunan yapılar zarar görebilir. Zehirli maddelerin salınımı, kimyasal maddelerin sızıntısı, büyük yangınlar, patlamalar meydana gelerek can kayıplarına, sağlık sorunlarına, büyük ekonomik kayıplara ve çevresel etkilere sebep olur. Do-Tek'in etkisini değerlendiren araştırmalara göre özellikle yoğun nüfuslu ve sanayileşmiş bölgelerdeki endüstriyel tesislerdeki risklerin iyi analiz edilerek Do-Tek olayları olmadan önce risk değerlendirilmeleri ile önemlerin alınması, büyük çaplı hasarların olmasını engelleyebilir, sağlık ve çevre sorunları, ekonomik kayıplar minimize edilebilir.

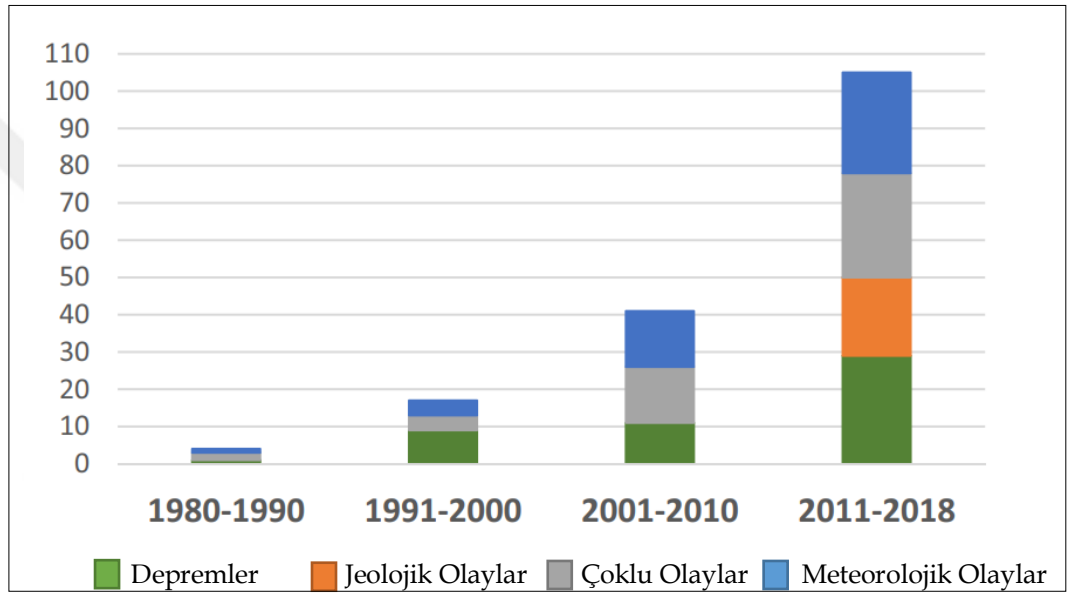
Tablo 2.1: Doğal aktiviteler listesi.

Sismik Aktiviteler	Volkanik Aktivite
Erozyon	Rüzgar
Sel	Sis
Yangın	Kar
Kum Fırtınası	Yüksek Sıcaklık
Deprem	Tsunami
Kasırga	Yıldırım
Buzlanma	Fırtına

Geçmişte yaşanan deprem, fırtına, sel, tsunami, gibi doğal olaylarda teknolojik kazaların olduğu görülmüştür. Do-Tek risk yönetimini artırabilmek amacıyla uluslararası kurumlar OECD Kılavuz ilkelerinin Do-Tek Önleme, Hazırlık ve Müdahale ve Birleşmiş Milletler Sendai çerçeve sözleşmesiyle Do-Tek kazalarına karşı hazırlık tedbirleri 2015-2030 afet riskini azaltmak amaçlı çalışmalar yapılmaktadır. Artan popülasyon ve teknolojik gereksinimler sebebiyle olası riskler

önceden hesaplanarak can kayıpları, maddi zararlar ve olumsuz çevresel felaketlerin oluşma ihtimalleri minimize edilmiş olacaktır. Birleşmiş Milletler Uluslararası Bilim ve Teknoloji ve Danışma Grubunda alt grup olarak Afet Riskini Azaltma Stratejisi izlenmektedir [Cruz et al., 2019].

Do-Tek çalışmalarını 3 gruba ayırabiliriz. Jeolojik tehlikeler (Deprem, Volkanik püskürme, Tsunami, Erozyon), Meteorolojik tehlikeler (Tayfun, Sel, Şimşek, Aşırı Sıcaklar) ve bu tehlikelerin domino etkisiyle aynı anda olma durumu olarak açıklanabilir.



Şekil 2.1: Yıllara göre do-tek olayların dağılımı.

2.1.1. Jeolojik Olaylar

Deprem, volkan patlaması, tsunami gibi olaylar bina ve bina olmayan yapılara zarar vermektedir. Deprem ile tetiklenen Do-Tek olayları California’da olan peşpeşe depremler sebebiyle 1970 yılından itibaren araştırmalarda yer almaya başlamıştır. Yapılara etkisi yüksek olan depremin büyüklüğü ve şiddeti, fay hattına uzaklık, zemin sınıfı parametrelerine göre riskler artmaktadır [Cruz et al., 2019]. Deprem yönetmelikleri ile yaşam kayıpları, yapıların hasarları ve zararlı maddelerin salınımı gibi riskler minimize edilebilir. Do-Tek olaylarında kimyasal tesislerde meydana gelen depremler sebebiyle meydana gelen kazalarda yangınların çıkması sebebiyle çıkabilecek bütan gazı, elektrik motorunda çıkabilecek kıvılcımla yangın ve patlama risklerini daha fazla artırabilir. Bir diğer etkililişim ise tesiste depolanan kimyasal bir

maddenin toprağa karışması ile beraber oluşacak ekonomik kayıp ve çevresel etkilerde gözönüne alınmalıdır.

Tsunami sebebiyle depolama tanklarında çalkalanma sebebiyle taşan kimyasallar geniş alanlara yayılarak çevreye zararı olmaktadır. Tsunami dalga yüklerinin etkisinin hesaplandığı çalışmalarda literatürde mevcuttur [Cruz et al., 2019].

2.1.2. Meteorolojik Olaylar

Meteorolojik Do-Tek olayların etkisi son yıllarda iklim değişiklikleri sebebiyle artış göstermektedir. Fırtına, rüzgar, sel, yıldırım düşmesi ve aşırı sıcaklıklar Meteorolojik Do-Tek olaylarındandır. Amerika Birleşik Devletlerinde 1990-2008 yılları arasında Meteorolojik Do-Tek olayları diğer Do-Tek olaylarından yüzde 80 daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir. 2013 yılından itibaren Yıldırım düşmesi sebebiyle artan oranda Do-Tek olayları gerçekleşmiştir. Yanıcı kimyasal depolanan tanklarda kullanılan Paratoner sistemlere rağmen yıldırım düşmesi de farklı önlemlerin alınması hesaba katılmalıdır [Sezen et al., 2000].

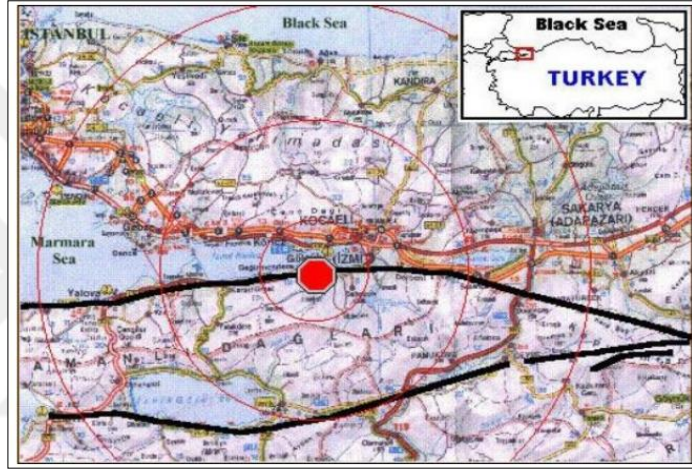
Sel sebebiyle oluşan Do-Tek olaylarında proses ekipmanları ve depolama tanklarının zarar görmesi sebebiyle risk değerlendirmelerinde hesaba katılmalıdır.

2.1.3. Çoklu Olaylar

Farklı Do-Tek olaylarının oluşması sebebiyle endüstriyel tesislerdeki etkisi sebebiyle çevresel ve ekonomik maliyetleri de bilimsel çalışmalarda ortaya konulmaktadır. Farklı tipteki analizler farklı Do-Tek senaryoları ile hesaplanarak güvenlik açıkları belirlenebilir. Risk azaltılması amaçlanarak arazi kullanım planlaması ile işletmelerin Do-Tek olaylarına karşın hazırlıklı olması sağlanmalıdır. Eğitim, Do-Tek değerlendirmeleri, Do-Tek olayları sebebiyle oluşacak risklerin çözümü, daha güvenli tesislerin yerleşimi için ön çalışmalar ile dayanıklı endüstriyel tesisler oluşturulabilir [Tu., 2018].

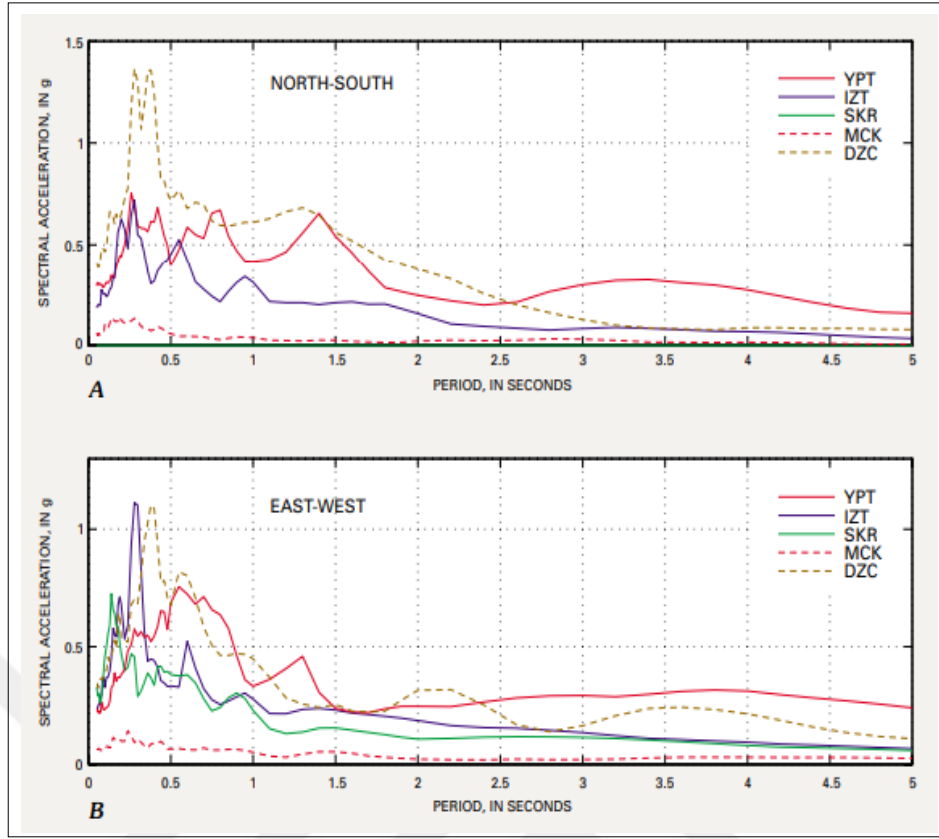
2.2. Kocaeli Depremi ve Do-Tek Olayları

17 Ağustos 1999 Salı günü yerel saat 03:01'de Türkiye'nin kuzeybatısında (Mw 7.4) güçlü bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu batı yakasında meydana geldi. Sapanca Gölü'nün doğusunda ölçülen 125 km'lik fay kırılması ve 4.1 m'lik yatay yer değiştirme ve Gölcük'ün doğusunda 2,2 metre yanıl dikey yer değiştirme ölçülmüştür. Depremin merkez üssü İstanbul'a yaklaşık 100 km uzaklıktaydı ve ivme 0.4g kaydedildi. Kocaeli (İzmit) depremi 17.000'den fazla ölüm ve 23.000'den fazla kişinin yaralanmasıyla sonuçlandı [Erdik, 2000].



Şekil 2.2: Kocaeli depremi merkez üssü (17 Ağustos, 1999).

Kocaeli, yüksek yoğunluklu sanayi bölgelerinden biridir. Kocaeli sanayisi Türkiye'ye yüzde 13 katkı sağlamaktadır. Bu depremler sonrası Endüstriyel tesislerde yapısal hasarlar meydana geldi ve Yaklaşık 350 Sanayi tesisin hasarlı olduğu tespit edildi. Özellikle Tüpraş Rafinerisinde ciddi yapısal hasarlar ve domino etkisi sebebiyle yangınlar meydana gelmiştir. Ayrıca 115 metrelik baca depremde yıkılmıştır [Sezen et al., 2000].



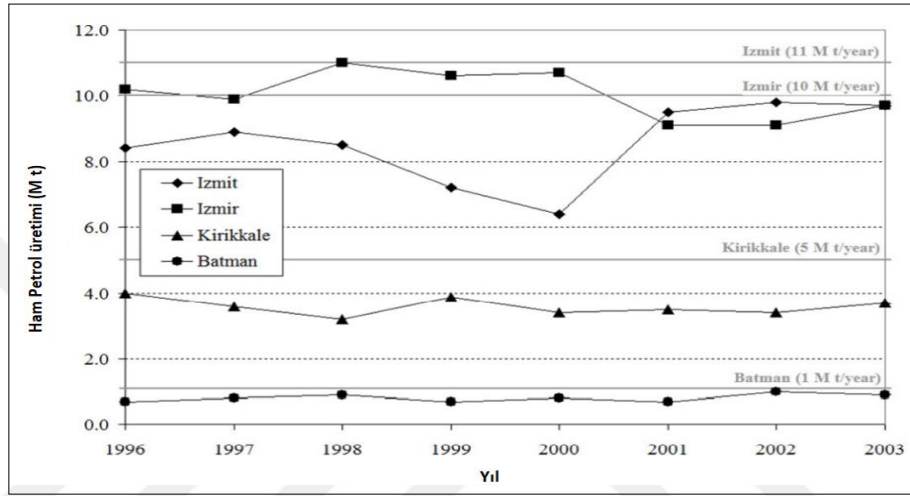
Şekil 2.3: Kocaeli depremi response spektrumu.

Depremden etkilenen 18 tesis içerisinde tehlikeli maddeler serbest kalmıştır. Bunlardan birisi de Türkiye'nin en büyük sanayi kuruluşu olan Tüpraş İzmit rafinerisinde meydana gelmiştir. Deprem sonrasında 50000 kg Cruide oil, 1.2 milyon kg Kriyojenik Oksijen (Cryogenic Oxygen), 100000 kg Fosforik asit (Phosporic Acid) açığa çıkmıştır. Deprem sonrası yapılan hasar tespitlerinde sadece Tüpraş rafinerisinde 115 milyon dolarlık maliyet ortaya çıkmıştır. Tüpraş'taki zararın 30 milyon dolarlık kısmı petrol ünitesi (PLT-5), 16 milyon dolarlık kısmı 6 adet depolama tankı yangını, 15 milyon dolar ile hasarlı tanklar, 12 milyon dolarla soğutma kuleleri, 10 milyon dolarla ham petrol ve ürün kaybı olarak açıklanabilir [Sari et al., 2007].

2.2.1. Kocaeli Depremi ve Tank Yapısal Hasarları

Kocaeli depremi farklı kazaların gerçekleştiği Do-Tek olayıdır. Deprem sonrasında ham petrol işleme tesisinde borunun kırılması ve yüksek sıcaklıklarda oksijene maruz kalan petrol sızıntısı ile yangın çıktı. Nafta tanklarında, yüzer çatı ile iç duvarlar arasındaki sürtünme sonucu oluşan kıvılcımların neden olduğu yangın

meydana gelmiştir. Rafineri merkezinde yer alan yangın birkaç gün devam etti ve tank hasarı meydana geldi. 12 den fazla tankta yangın sebebiyle ağır hasar oluşmuştur. 50 adet tank yüzer çatısı ise çalkalanmadan dolayı zarar görmüştür. Deprem sonrası devre dışı bırakılan birimlerin büyük çoğunluğu deprem ve yangın sebebiyle 3 ay sonra devreye girebildi. Bu süreçte 57.8 milyon \$ onarım maliyeti ortaya çıkmıştır. Şekil 2.4 da belirtildiği üzere depremin olduğu yıl İzmit rafinerisinde keskin bir üretim düşüşü görülmüştür [Tu, 2018].



Şekil 2.4: Tüpraş yıllık ham petrol üretimi.

Depremden sonra oluşan hasarlar çoğunlukla yangın sebebiyle meydana gelmiştir. Yangınlar bir kaç gün sürmüş olup ciddi maddi kayıplara ve çevreye olumsuz etkileri gözlemlenmiştir [Sezen et al., 2000].



Şekil 2.5: Tüpraş rafinerisi hasar görmüş tanklar (17 Ağustos, 1999).



Şekil 2.6: Tüpraş rafinerisi hasar görmüş tanklar (17 Ağustos, 1999).

Deprem nedeniyle farklı tipte hasarlar meydana gelmiştir. Tank duvar tabanı için fil ayağı burkulması, tank sütunlarının ve tank duvarının kristal burkulması ve Fil ayağı burkulması, tank duvarının bükülmesidir. Eksenel basınç stresinden bu gibi hasar tipleri oluşmaktadır [Krausmann et al., 2013]. Tankların esnek temeller üzerinde yükseltilmesi, büyük temel penetrasyonları ve tank duvarındaki plastik dönme

döngüleri olmaktadır. Fil ayağı burkulma hasarı ankrajsız tanklarda ve temelin farklı oturmasında ve taban plakası-duvarında yorulma kırılmasında meydana gelir. D/H oranları 2 ve üzeri olan ankrajsız tanklarda fil ayağı burkulması olmaz. bu gibi oranı ikinin (2) altındadır, bu oranın azalması durumunda fil ayağı burkulması artar [Krausmann et al., 2013].



Şekil 2.7: Tüpraş rafinerisi tank fil ayağı oluşumu (17 Ağustos, 1999).

Bir kaç tankta sıvı çalkalanması sebebiyle taşma meydana gelmiştir. Tank duvarı üst katmanda büyük hasarlar oluşmuştur.



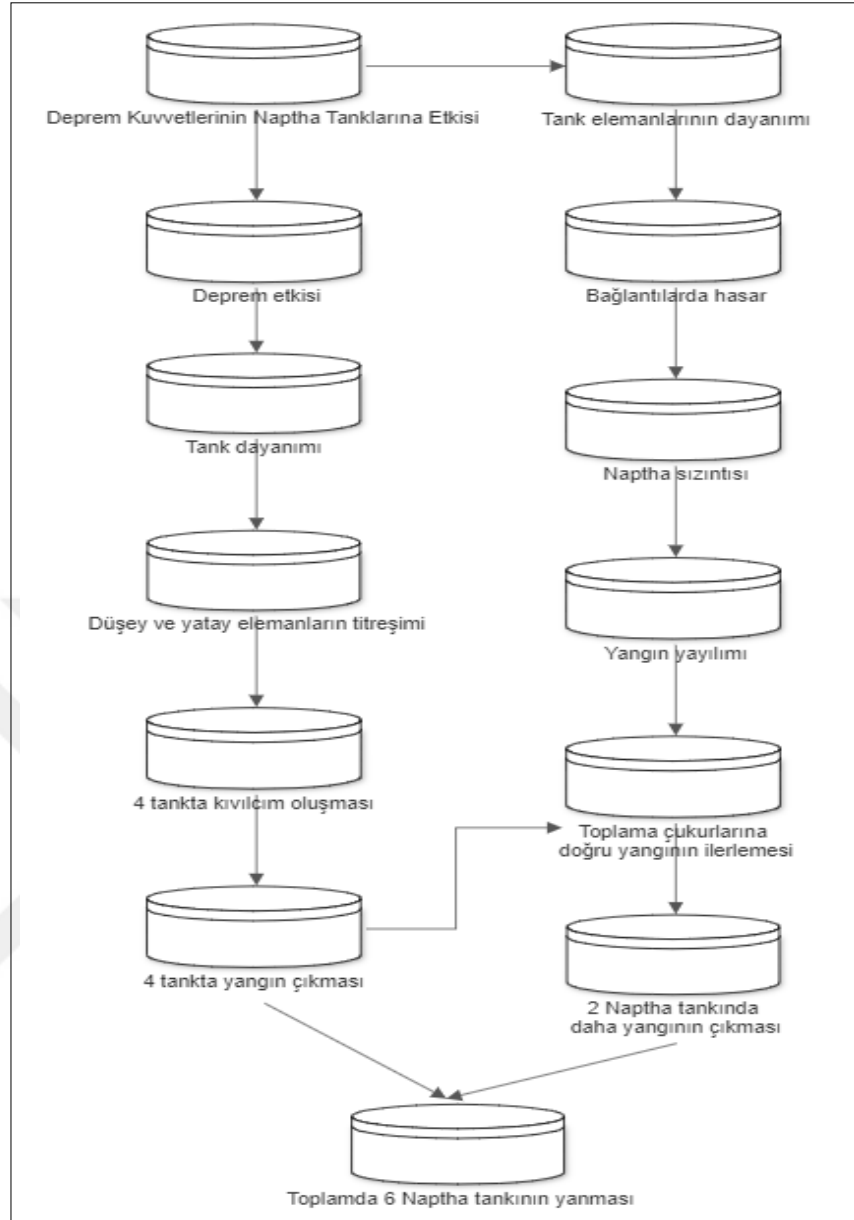
Şekil 2.8: Tüpraş rafinerisi tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).

Yağ belirgin bir şekilde yüzer tavanın tepesinde çatının büyük bir kısmına yayılmış durumda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.9). Çalkalanma etkisi ile tank içindeki sıvı kauçuk malzemesine hasar vererek çatı üstüne sızmıştır.



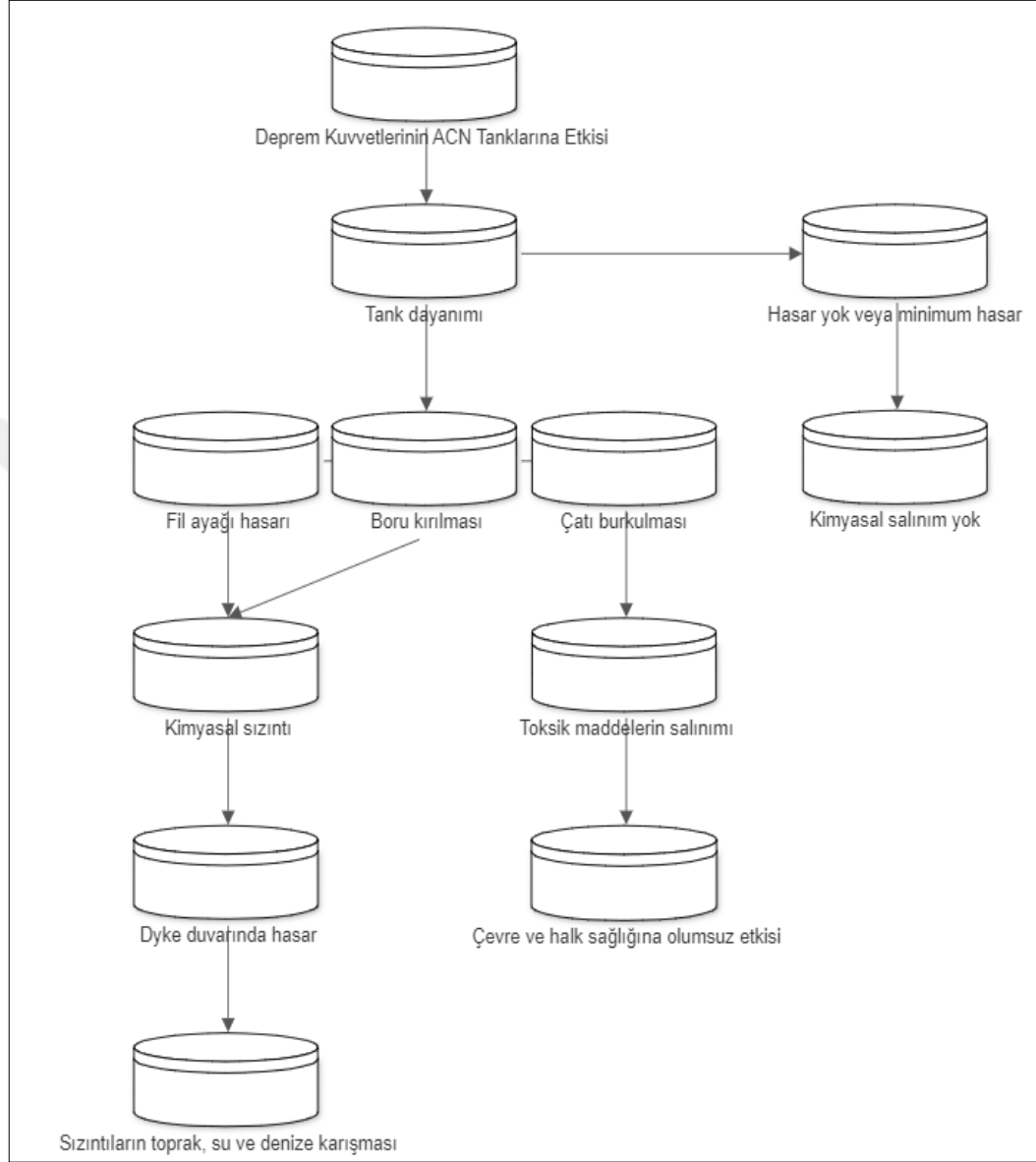
Şekil 2.9: Tüpraş rafinerisi tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).

Sıvı oksijen içeren iki tank, Şekil 2.12'de görüldüğü gibi deprem sırasında çökmüştür. Sıvı oksijen depolarının %85 oranında, sıvı nitrojen deposu ise deprem anında %25 doluydu. Kolonlar hasar alarak çöken tankta tank duvarı alt katmanında burkulmalar gözlemlenmiştir. Tüpraşta bulunan Nafta tanklarında meydana gelen deprem etkisi sebebiyle oluşan yangının oluşma sırası aşağıdaki Şekil.2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10: Naptha tanklarında depremin etkisi.

Aynı şekilde deprem etkisi sebebiyle oluşan hasarlar ve domino etkisi sebebiyle çevreye olumsuz etkisi belirtilmiştir.



Şekil 2.11: ACN tanklarında depremin etkisi.



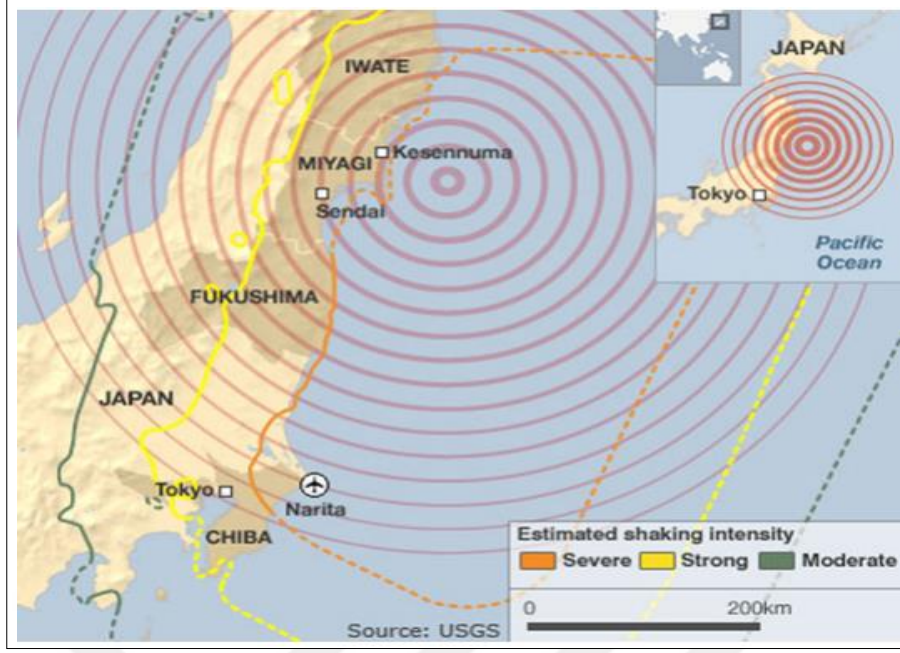
Şekil 2.12: Habaş tank duvarı hasarı (17 Ağustos, 1999).

Tablo 2.2: Kocaeli depremi depolama tankları hasar tipleri.

Yapı	Hasar Tipi	Sonuçlar
Depolama Tankları	Yüzen tavan çökmesi	Hidrokarbon açığa çıkması
	Tank duvar&çatı burkulması	Yangın
	Fil ayağı hasarı	Kalıcı hasar
	Devrilme	Kalıcı hasar

2.3. Tohoku Japonya Depremi ve Do Tek Olayları

Natech olaylarından biri (Tehlikeli madde), 11 Mart 2011'de meydana gelen 9.0 Mw büyüklüğündeki Tohoku Japonyada meydana gelen depremdir. Fukushima Daiichi nükleer santralinde radyoaktif kirlenmenin salınması, yangın ve patlama meydana gelmiştir. Ichihara şehrindeki rafineride ve çevreye yol açabilecek kanalizasyon suyunun salınması gibi çevresel sorunlarla beraber, Japonya'da 235 milyar dolarlık ekonomik kayba (tarihin en maliyetli doğal afeti) neden oldu. Deprem tehlikeli maddelerin salınmasına neden oldu ve ayrıca tsunamiyi tetikledi. Devasa tsunami dalgalarını açığa çıkaran deprem, Japonya'nın en büyük ve ana adası olan Honshu'nun ve sonuç olarak yaygın hasar ve yıkıma sebep olmuştur. Meydana gelen deprem ve tsunami sebebiyle 16000 ölü ve 3000 kayıpla sonuçlanmıştır.



Şekil 2.13: Tohoku depreminin etki alanı.

2.3.1. Tohoku Depremi ve Tank Yapısal Hasarları

Yüksek basınçlı gaz depolama tesislerinde hasar ve tehlikeli madde salınımı meydana gelmiştir. Diğer tesislerle beraber toplamda 139 hasar vakası tespit edilmiştir [Krausmann et al., 2013]. Depremin etkisi yanında Tsunami, zehirli ve yanıcı maddeleri geniş alanlara yaydığı gözlemlenmiştir. Sendai, Sumitomo'daki Jx Oil Rafinerisi ve Zenno Oil terminali Steel Co.'da Kashima yangınları meydana geldi. Chiba'daki Cosmo petrol rafinerisinde 17 LPG tankı yanarak hasar gördü.



Şekil 2.14: Tohoku depreminden etkilenen lpg tank sahası.

Fukushima'daki petrol tankları da tsunamiden zarar gördü. Bleve (Kaynayan Sıvı sebebiyle Genişleyen Buhar 5 farklı tankta Lpg patlaması meydana geldi ve 600 metre çapında alevlerin gökyüzüne doğru yükseldiği gözlemlendi. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15: Tohoku depreminin ardından lpg tank patlaması.

Petrol rafinerisinde meydana gelen bu yangının, sismik dalgaların özellikleri, tank sahasının zemin durumu ve tank yapısının dinamik özellikleri gibi koşulların biraraya gelmesi sebebiyle meydana gelmiştir. Hokkaido Adası'ndaki havza ve havzada büyüyen yüzey dalgalarından etkilenmiştir. Kaydedilen sismik dalgalar içerisinde, yüzey dalgasının 5-8 saniyelik hakim periyodunu tespit etti. Ayrıca, hasarlı depolama tanklarının doğal periyotları yaklaşık 7 saniye olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki iki faktörün uyumu çalkalamayı getirdi. Ardından, tankın çatısının eğik olarak hasar görmesine ve tankın içindeki kimyasalı açığa çıkardı. Tank sahasında 105 tanktan 45'i yangından etkilendi [Koseki et al., 2012].



Şekil 2.16: Tohoku depreminin ardından tank hasarı.

11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen depremin yol açtığı tsunami, hasar sebepleri ve sonuçlarını analiz etmek açısından Tsunaminin şiddeti ve tsunami dalgaları ile hidrodinamik ve hidrostatik su kuvvetlerinden kaynaklanan enkaz çarpması hasarları meydana gelmiştir [Krausmann et al., 2013]. Tsunaminin tankları kaydırma ve kaldırma etkisi ile beraber devirdiği tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı yüksek miktarda hidrokarbon etrafa yayılmıştır. Japonya Yangın ve Afet Yönetimi (FDMA) 50 vakada hasar ve tehlikeli madde salınımı tespit edildi. Yüksek basınçlı gaz tesislerinde (4 yangın/patlama, 6 sızıntı, 20 boru hasarı, 20 yapı hasarı), 116 tesis ise herhangi bir hasar bildirmedi. Diğer kimya tesislerinde 139 hasar vakası bulundu (5 yangın/patlama, 23 sızıntılar, 59 ekipman hasarı, 52 yapı hasarı) [Krausmann et al., 2013].



Şekil 2.17: Tohoku tsunami sebebiyle oluşan tank hasarı.

Rafinerilerde çalkalanma sebebiyle kimyasalın dışarı sızması, flanş bağlantılarının kırılması, tank boru bağlantılarının kırılması ve koruyucu duvarların zemindeki sıvılaşma sebebiyle hasar aldığı tespit edilmiştir. Siloların gövde plakalarında burkulmalar oluşmuştur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Tohoku depremi sebebiyle oluşan silo burkulması hasarı.

3. DEPOLAMA TANKLARININ API-650 ve SIVI DEPOLAMA TANKLARININ SİSMİK TASARIM YÖNETMELİĞİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Petrokimya tesisi içerisinde bulunan her türlü yapının sismik tasarımı orta ve yüksek sismik tehlikelere maruz kalan bölgelerde büyük önem taşımaktadır. Özellikle tipik olarak zehirli, yanıcı maddeler içeren çelik depolama tankları için geçerlidir. Depolama tanklarının özel olarak tasarlanmakta ve binalardan farklı olarak davranış göstermektedir.

Depolama tankları, boyutu, şekli, operasyon basıncı ve sıcaklığı gibi özelliklerle tanımlanmaktadır. Depolama tankları ülkeler için güvenlik ve savunma konularında stratejik öneme sahiptirler. Do-Tek olaylarından en fazla etkilenen yapılar olarak ön plana çıkmaktadırlar.

Deprem etkisiyle depolama tanklarında farklı hasar tipleri meydana gelmektedir. Tank duvarı ve çatıda burkulma, tank duvarı ilk sıra plakada fil ayağı hasarı, zemin sıvılaşmasından dolayı stabilize kaybı gibi hasar tipleri geçmiş depremlerde meydana gelmiştir.

Hasar riskini minimize etmek amacıyla yüksek kalite malzeme, yüksek sismik performans ve yangın dayanımı performansı olması gerekmektedir. Yapının rijitliği ve plastik deformasyonun artırılması ile beraber sismik aktivite sebebiyle oluşabilecek hasarlar azaltılabilir.

Depolama tank tasarımında API 650 (American Petroleum Institute) yönetmeliği en yaygın yönetmeliklerden biridir. API 650 yönetmeliği farklı ölçü ve kapasitelere göre iç basıncı maksimum 17.2 kpa olan ve maksimum sıcaklığı 260 °C olan tankların tasarımını kapsamaktadır [API 650, 2020].

API 650 yönetmeliği kapsamında ankrajlı ve kaynaklı çelik depolama tanklarının sismik aktiviteler altındaki minimum gereksinimleri açıklanmıştır. Dizayn kriteri olarakta sismik aktivitelere karşı toptan göçmenin engellenmesi hedef olarak alınmıştır [API 650, 2020].

API 650 Ek-E Depolama Tankların Sismik Tasarımı bölümünde ASD (Allowable stress design) ve kombinasyonlarına göre tasarımı esas almıştır [API 650, 2020]. Pseudo dynamic prosedürü içeren API 650 Ek-E bölümünde response spektrum

analiz methodu ve iki tane mod (darbesel, çalkantı) hesaba katılmaktadır. Analiz sonucunda tank duvarının stabilitesi ile beraber devrilme ve boyuna basınç kuvvetlerine karşın burkulma önlenmesi amaçlanmaktadır [API 650, 2020].

%5 sönüm oranlı darbesel mod ile %0.5 sönüm oranlı çalkantı modu ile dizayn prosedürü oluşturulmuştur [API 650, 2020]. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği (SDTTY) yeni inşa edilecek ve mevcut tankların sismik aktiviteler altında tasarımı, performans değerlendirmesi ve güçlendirmesi için uygulanır. Zemine sabitlenmiş, serbest oturan, deprem yalıtımlı ve zemin altı tankların tasarımını kapsamaktadır. Basıncsız ve -40 °C ila 200 °C arasında bulunan sıvı depolama tanklarını içermektedir.

3.1. API-650 Tasarım Sınıfları

3.1.1. Sismik Grup 3

SUG III tankları, deprem sonrası halkın yaşamı ve sağlığı için elzem olan tesislere gerekli hizmeti veren; veya, halkın maruz kalmasını önlemek için yeterli kontrole sahip olmayan önemli miktarda tehlikeli madde içeren tanklar. Bu grupta yangına karşın kullanılacak su depolama tankları da dahil edilebilir [API 650, 2020].

3.1.2. Sismik Grup 2

SUG II tankları, önemli bir kamu tehlikesi oluşturabilecek ve halkın maruz kalmasına sebep olan ve ikincil kontrollerden yoksun malzeme depolayan veya büyük tesislere doğrudan hizmet veren tanklardır [API 650, 2020].

3.1.3. Sismik Grup 3

SUG I tankları, SUG III veya II'ye kapsamı dışında olan tanklardır [API 650, 2020].

3.2. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Tasarım Sınıfları

- 1000 m³ ve daha düşük kapasiteli, ve "Maddelerin ve Kimyasal Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik - Ek 1: Zararlı Madde ve Karışımların Sınıflandırılması Ve Etiketlendirilmesine İlişkin Gereklilikler" yönetmeliğinde belirtilen kriterlere göre zararlı olarak sınıflandırılan maddelerin dışında kalan sıvıların depolandığı, ve deprem sonrası operasyonelliği kritik olmayan tanklar
- 1000 m³'ten daha fazla kapasitede olan, ve "Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik - Ek 1: Zararlı Etiketlendirilmesine İlişkin Gereklilikler" yönetmeliğinde belirtilen kriterlere göre zararlı olan maddeler hariç olan sıvıların bulunduğu, ve deprem sonrası operasyonelliğinin kritik olmayan tanklar
- Deprem sonrası operasyonelliğini kritik olan ve "Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında yönetmeliğe göre zararlı madde taşıyan tanklar [ResGaz 1, 2021].

3.3. API-650 Deprem Yer Hareketleri

Yönetmeliğin sismik E bölümünde ASCE 7 standardına göre 50 yıl ve %1'lik olma olasılığına karşın maksimum deprem yer hareketi olarak kabul edilir.

- S_s , kısa periyotlarda (0,2 saniye) %5 sönümlenmiş, maksimum hesaplanmış deprem spektral ivmesi parametresidir.
- S_1 , 1 saniyelik bir periyotta %5 sönümlenmiş, maksimum hesaplanmış deprem spektral ivmesi parametresidir.
- S_0 , sıfır saniyede %5 sönümlenmiş, spektral tepki ivme parametresidir (genellikle tepe yer ivmesi olarak adlandırılır). Aksi belirtilmedikçe, eşlenen yöntemler kullanılırken S_0 $0,4S_s$ olarak tanımlanacaktır. Hesaplanmış maksimum depreme dayalı ASCE 7'deki PGA değerleri S_0 için kullanılmamalıdır [API 650, 2020].

3.4. Sıvı Depolama Tank Tasarım Yönetmeliği Deprem Yer Hareketleri

Spektral ivme değerleri, Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları tarafından üç farklı deprem yer hareketi seviyesi için belirtilmiştir. Bu değerler aşağıdaki şekilde ifade edilir:

- Kısa periyod harita spektral ivme katsayısı, S_s
- Saniye periyod harita spektral ivme katsayısı, S_1

Yönetmelik burada yatay doğrultudaki iki deprem etkisinin geometrik ortalamasıyla oluşan harita spektral ivme değerini belirtir. Bu değerler, depremin farklı doğrultulardaki etkilerinin ortalamasını gösterir. Belirli bir deprem yer hareketi düzeyine göre, $V_{S30}=760$ m/s olan referans zemin koşulu ve %5 sönüm oranı dikkate alınarak hesaplanır [ResGaz 1, 2021].

Harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 , yakın fay etkisi, yerel zemin ve en büyük doğrultu etkisi ve gibi faktörleri dikkate alarak, zemin etkilerinden bağımsız olan S'_s ve S'_1 spektral ivmelerine dönüştürülür. Bu dönüşüm aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir [ResGaz 1, 2021].

$$S'_s = \gamma_s S_s \quad (3.1)$$

$$S'_1 = \gamma_1 \varphi_{1,YF} S_1 \quad (3.2)$$

3.1 ve 3.2 denklemlerinde, γ_s ve γ_1 katsayıları, S_s ve S_1 için en büyük doğrultu etkisini hesapta dikkate alınması gereken katsayılardır. γ_s ve γ_1 katsayıları 1.1 ve 1.3 olarak hesaba katılmalıdır. Denklem (3.2)'de verilen $\varphi_{1,YF}$ çarpanı, S_1 için faya yakınlık katsayısıdır.

Yukarıdaki denklemlerde, γ_s ve γ_1 , S_s ve S_1 harita spektral ivme değerleri için en büyük doğrultu etkisini dikkate alan katsayılardır. Bu katsayılar, depremin farklı doğrultulardaki etkilerini ve zemin koşullarını göz önünde bulundurularak belirlenir. Genellikle, γ_s değeri S_s için 1.1 olarak alınırken, γ_1 değeri S_1 için 1.3 olarak kullanılır.

Denklem'de yer alan $\varphi_{1,YF}$ çarpanı ise S1 harita spektral ivme değeri için faya yakınlık katsayısını temsil eder. Bu katsayı, depremin yakın bir faya ne kadar yakın olduğunu gösterir ve S1 değerinin buna göre düzeltilmesini sağlar. Daha spesifik olarak, faya daha yakın bölgelerdeki S1 değerleri, bu çarpan yardımıyla daha yüksek bir düzeltme alırken, uzak bölgelerdeki S1 değerleri daha az bir düzeltme alır [ResGaz 1, 2021].

3.4.1. S1 için Faya Yakınlık Katsayısı

DD-1 ve DD2 deprem yer hareketi düzeylerinde, sıvı tankları aktif faya 25 km veya daha az bir uzaklıkta bulunuyorsa, yakın fay etkisi katsayısı aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanır. Aktif fay, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası'nda belirtilen veya saha özelinde yapılan deprem tehlikesi hesaplamaları sonucu belirlenen bir fay olarak tanımlanır. Yakın fay etkisi katsayısı, $\varphi_{1,YF}$ aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanır [ResGaz 1, 2021].

$$\begin{aligned} &1.2 & L_F \leq 15 \text{ km} \\ &\varphi_{1,YF} = 1.2 - 0.02(L_F - 15) & 15 \text{ km} \leq L_F \leq 25 \text{ km} & (3.3) \\ &1.0 & 25 \text{ km} < L_F \end{aligned}$$

3.5. API-650 Sahaya Özel Deprem Yer Hareketleri

Sahaya özgü spektral yanıt için tasarım yöntemi, ASCE 7 hükümlerine dayanmaktadır. Sahaya özgü yer hareketlerini kullanarak tasarım, aşağıdakilerden herhangi birinin geçerli olduğu yerlerde dikkate alınmalıdır. Tank, bilinen bir aktif fayın 10 km (6 mil) içinde bulunur.

Tank Saha Sınıfı F tipi topraklarda bulunduğu yer hareketinin sahaya özgü olarak belirlenmesi gerekir. MCER sahaya özgü bir yer hareketi için tasarım isteniyorsa veya gerekliyse, sahaya özgü etüt ve yanıt spektrum, bu bölümde tanımlandığı şekilde sağlanacaktır. Bununla birlikte, hiçbir durumda, tanımlanan

sahaya özgü MCE yanıt spektrumunun ordinatları, bu Ek'te tanımlanan eşlenmiş MCER yanıt spektrumlarının ordinatlarının% 80'inden az olamaz [API 650, 2020].

Tasarım yer hareketini belirlemeye yönelik düzenleyici gerekliliklerin öngörülen ASCE 7 yöntemlerinden farklı olduğu ABD dışındaki bölgelerde, aşağıdaki yöntemler kullanılabilir [API 650, 2020].

Gerekliliklere uygun bir yanıt spektrumu, gerektiği gibi %5 ve %0,5 sönümleme esasına dayanması veya buna göre ayarlanması koşuluyla kullanılabilir. Saha amplifikasyonunun etkilerini, önem faktörünü ve tepki modifikasyonunu içeren tasarım spektral ivme katsayılarının, A_i ve A_c 'nin değerleri doğrudan belirlenebilir. A_i , tankın hesaplanan darbesel periyoduna %5 sönümlenmiş spektrum kullanılarak dayandırılacaktır veya bu sürenin 0,2 saniye olduğu varsayılabilir. A_c , %0,5 spektrumları kullanılarak hesaplanan devinimsel periyoda göre hesaplanır. Tepki spektrumu şekli öngörülmemişse ve yalnızca tepe yer ivmesi, S_p tanımlanmışsa, aşağıdaki formüller uygulanacaktır [API 650, 2020].

$$S_s = 2,5 S_p \quad (3.4)$$

$$S_1 = 1,25 S_p \quad (3.5)$$

3.6. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Sahaya Özel Deprem Yer Hareketleri

Aşağıda belirtilmiş kritik alanlar için, ilgili deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması için sahaya özel bir deprem tehlike çalışması yapılması gerekir:

- Aktif faya 25 km veya daha yakın uzaklıkta bulunan alanlar.
- Özel deprem izolasyonu yada enerji sönümleme sistemlerinin entegre edildiği tankların bulunacağı alanlar.

Tankın içinde bulunduğu tesisten sorumlu olan kurum, kuruluş, proje mühendisi, yönetmelikte belirtilen asgari güvenlik düzeyinin üzerinde bir seviye talep ettiğinde veya diğer özel koşullara istinaden tankın tasarımını istediğinde, sahaya özel bir deprem tehlike çalışması gereklidir.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları, ilgili alan ve deprem tehlike düzeyi için belirlenen hesap spektral ivme seviyelerinin %90'ından daha düşük değerlere sahip olamaz. Bu önlem, potansiyel deprem tehlikelerini yeterince göz önünde bulundurarak bu kritik alanlardaki tanklar için yeterli güvenlik sağlanmasını amaçlar [ResGaz 1, 2021].

3.7. API-650 Saha Zemin Koşulları İçin Modifikasyonlar

Tepe yer ivmesi için MCER spektral tepki ivmeleri, Tablolarda belirtilen uygun alan katsayıları, F_a ve F_v ile değiştirilmelidir.

Zemin özelliklerinin saha sınıfını belirlemek için yeterli ayrıntıda bilinmediği durumlarda, yargı yetkisine sahip makam sahada Sınıf E veya F'nin uygulanması gerektiğine karar vermedikçe, Site Sınıfı D olarak kabul edilecektir [API 650, 2020].

Tablo 3.1: Kısa periyod için yerel zemin etki katsayısı, F_a .

Zemin Sınıfı	Kısa Periyod Bölgesi Yerel Zemin Etki Katsayısı F_a				
	$S_s=0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	a	a	a	a	a
a Sahaya özel deprem analizi yapılması gerekmektedir.					

Tablo 3.2: 1 sn periyot için yerel zemin etki katsayısı, F_v .

Zemin Sınıfı	1 saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı				F_v
	$S_1=0.1$	$S_1=0.2$	$S_1=0.3$	$S_1=0.4$	$S_1=0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	a	a	a	a	a
a Sahaya özel deprem analizi yapılması gerekmektedir.					

Tablo 3.3: Zemin sınıfları.

Zemin Sınıfı	$-V_s$	N or N_{ch}	s_u
E	(< 180 m/s) (< 600 fps)	< 15	< 50 kPa (< 1000 psf)
D	180 m/s to 360 m/s (600 to 1200 fps)	15 to 50	50 kPa to 100 kPa (1000 psf to 2000 psf)
C	360 m/s to 760 m/s (1200 fps to 2500 fps)	> 50	100 kPa (> 2000 psf)
B	760 m/s to 1500 m/s (2500 fps to 5000 fps)		
A	> 1500 m/s (5000 fps)		
a s_u method kullanılması halinde daha yumuşak Zemin tercih edilmelidir (Zemin sınıfı D yerine E kullanılması)			

3.8. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Saha Zemin Koşulları İçin Modifikasyonlar

S' ve S değerleri Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'e göre F_s ve F_1 değerleri elde edilmektedir. Bu tablolarda bulunmayan değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir [ResGaz 1, 2021].

Tasarım spektral ivmeleri S_{DS} ve S_{D1} hesaplanır:

$$S'_s = \gamma_s S_s \quad (3.6)$$

$$S_{D1} = F_1 S' \quad (3.7)$$

Tablo 3.4: Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı, F_s .

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_s \leq 0.25g$	$S'_s = 0.50g$	$S'_s = 0.75g$	$S'_s = 1.0g$	$S'_s = 1.25g$	$S'_s \geq 1.50g$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 3.5: 1 saniye periyod için yerel zemin etki katsayısı, F_1 .

Yerel Zemin Sınıfı	$S_1' \leq 0.10g$	$S_1' = 0.20g$	$S_1' = 0.30g$	$S_1' = 0.4g$	$S_1' = 0.50g$	$S_1' \geq 0.60g$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

3.9. API-650 Darbesel ve Devinimsel Periyod

3.9.1. Yapısal Titreşim Periyodu

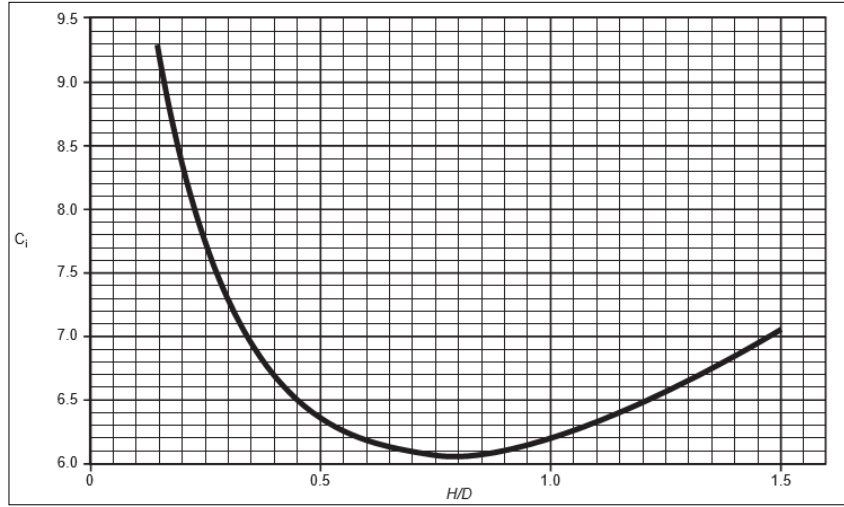
Dinamik modal analiz yöntemi, bu bölümde tanımlanan yapının doğal periyoduna ve içeriğine dayanmaktadır.

3.9.2. Darbesel Doğal Periyod

Bu Ek'teki tasarım yöntemleri, tankın darbesel periyodundan bağımsızdır. Ancak, tank sisteminin darbesel periyodu Denklem ile tahmin edilebilir [API 650, 2020].

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}} \right) \left(\frac{(C_i H)}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}} \right) \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}} \right) \quad (3.8)$$

Tablo 3.6: C_i katsayısı.



3.9.3. Devinimsel Periyod

Saniye cinsinden birinci mod çalkantı dalgası periyodu aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır, burada K_s denklem’de tanımlanan devinimsel periyod katsayısıdır [API 650, 2020].

$$T_c = 1.8 \cdot K_s \sqrt{D} \quad (3.9)$$

3.10. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Darbesel ve Devinimsel Periyod

3.10.1. Darbesel Doğal Periyod

Düşey silindirik tankların darbesel hidrodinamik unsurun titreşim periyodu, T_i aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$T_i = C_i H \sqrt{\frac{\rho R}{t_w E}} \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemde, C_i darbesel periyod hesaplama katsayısıdır ve Tablo 3.7'de verilmiştir. t_w ise eşdeğer tank duvarı kalınlığını, E ise tank duvar malzemesinin elastisite modülünü temsil eder. Eşit olmayan duvar kalınlığına sahip tanklarda, ilgili duvar kalınlığı tank en düşük tabandan H yüksekliğine kadar olan bölümdeki tank kalınlıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Bu ortalama, tank duvarının şekil değiştirmenin en fazla olduğu bölgeye en yüksek ağırlık katsayısı atanır [ResGaz 1, 2021].

Tablo 3.7: Darbesel ve devinimsel titreşim modlarıyla ilgili kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılacak değerler.

H / R [-]	a_i [-]	C_i [-]	C_c [s m]	h_i / H [-]	h_c / H [-]	h_i' / H [-]	h_c' / H [-]
0.3	0.176	9.28	2.09	0.400	0.521	2.640	3.414
0.5	0.300	7.74	1.74	0.400	0.543	1.460	1.517
0.7	0.414	6.97	1.60	0.401	0.571	1.009	1.011
1.0	0.548	6.36	1.52	0.419	0.616	0.721	0.785
1.5	0.686	6.06	1.48	0.439	0.690	0.555	0.734
2.0	0.763	6.21	1.48	0.448	0.751	0.500	0.764
2.5	0.810	6.56	1.48	0.452	0.794	0.480	0.796
3.0	0.842	7.03	1.48	0.453	0.825	0.472	0.825

Devinimsel hidrodinamik bileşenin titreşim periyodu, T_c aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanacaktır [ResGaz 1, 2021].

$$T_c = C_c \sqrt{R} \quad (3.11)$$

Düşey ivmelerin titreşim modunun periyodu aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$T_v = 2\pi \frac{H}{C_v} \sqrt{\frac{\rho_w}{E}} \quad (3.12)$$

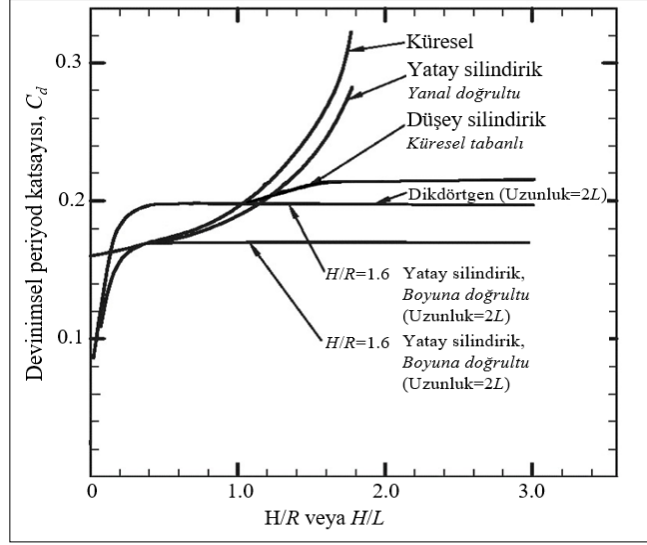
$$C_v = (C_v)_r \sqrt{\frac{t_w/R}{(t_w/R)_r} \frac{\rho/\rho_w}{(\rho/\rho_w)_r}} \quad (3.13)$$

Tablo 3.8 : Düşey deprem hareketi ile ilgili olan titreşim mod hesabında kullanılacak C_v değerleri.

t_w / R	0.0005	0.001	0.002	0.003	0.005
H / R	C_v				
0.3	0.043	0.061	0.088	0.108	0.140
0.4	0.048	0.068	0.097	0.120	0.155
0.5	0.052	0.078	0.105	0.129	0.168
0.6	0.055	0.078	0.112	0.137	0.178
0.7	0.058	0.082	0.117	0.143	0.186
0.8	0.060	0.085	0.121	0.148	0.192
0.9	0.061	0.087	0.124	0.152	0.197
1.0	0.063	0.089	0.126	0.155	0.201
1.2	0.064	0.092	0.130	0.160	0.207
1.4	0.066	0.093	0.133	0.163	0.211
1.6	0.067	0.095	0.134	0.165	0.214
1.8	0.067	0.096	0.136	0.167	0.216
2.0	0.068	0.096	0.137	0.168	0.217
2.2	0.068	0.097	0.137	0.168	0.218
2.4	0.068	0.097	0.138	0.169	0.219
2.6	0.069	0.097	0.138	0.169	0.219
2.8	0.069	0.098	0.138	0.170	0.220
3.0	0.069	0.098	0.139	0.170	0.220

Tankların devinimsel titreşim modu periyodu, T_c aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$T_c = \frac{2\pi}{C_d} \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (3.14)$$



Şekil 3.1: Devinimsel titreşim mod hesaplama katsayısı, C_d (düşey silindirik tanklar haricinde).

3.11. API 650 Tasarımsal Spektral Tepki İvmeleri

Zemin destekli, düz tabanlı tanklar için tasarım tepki spektrumu aşağıdaki parametrelerle tanımlanır.

3.11.1. Spektral İvme Katsayıları

Olasılıksal veya haritalanmış tasarım yöntemleri kullanıldığında, tasarım tepki spektrumu için spektral ivme parametreleri verilmiştir. Aksi belirtilmedikçe, TL ASCE 7'de bulunan haritalanmış değer olarak alınacaktır. Çalkantılı dalga yüksekliğini belirlemek için 4 saniye kullanılmasına izin verilecektir. SUG III'e düşen tanklar için, hem konvektif kuvvetleri hem de çalkantılı dalga yüksekliğini belirlemek için TL'nin haritalanmış değeri kullanılacaktır [API 650, 2020].

1.0 devinişel dalga yüksekliğinin belirlenmesinde, ABD dışındaki bölgelerde, tasarım yer hareketinin belirlenmesine yönelik düzenleyici gerekliliklerin belirtilen ASCE 7 yöntemlerinden farklı olduğu durumlarda, TL 4 saniye olarak alınacaktır [API 650, 2020].

3.11.2. Darbesel Spektral İvme Katsayıları

$$A_i = S_{DS} \cdot \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) = 2.5 Q F_a S_0 \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) \quad (3.15)$$

$$A_i \geq 0,007 \quad (3.16)$$

$$S_1 \geq 0.6 \quad (3.17)$$

$$A_i \geq 0,5 S_1 \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) = 0,625 S_p \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) \quad (3.18)$$

3.11.3. Konvektif Spektral İvme Katsayıları

$$T_c \leq T_L \quad A_c = K S_{D1} \left(\frac{1}{T_c} \right) \left(\frac{1}{R_{wc}} \right) = 2,5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{1}{R_{wc}} \right) \leq A_i \quad (3.19)$$

$$T_c > T_L \quad A_c = K S_{D1} \left(\frac{1}{T_c^2} \right) \left(\frac{1}{R_{wc}} \right) = 2,5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s T_L}{T_c^2} \right) \left(\frac{1}{R_{wc}} \right) \leq A_i \quad (3.20)$$

3.11.4. Sahaya Özel Tasarım Spektral Tepki İvmeleri

Sahaya özel tasarım yöntemleri belirtildiğinde, sismik parametreler ile aşağıdaki şekilde tanımlanacaktır.

$$A_i = 2,5 Q \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) S_{a0}^* \quad (3.21)$$

Alternatif olarak, A_i , (1) tank sisteminin darbesel periyodu kullanılarak veya darbesel periyodun = 0,2 sn olduğu varsayılarak belirlenebilir.

$$A_i = Q \left(\frac{1}{R_{wi}} \right) S_a^* \quad (3.22)$$

Burada S^* , saha toprak etkileri dahil olmak üzere %5 sönümlü, sahaya özgü MCER'nin koordinatıdır [API 650, 2020].

3.11.4.1. İstisnalar

Müşteri tarafından aksi belirtilmedikçe, $H/D \leq 0.8$ olan düz tabanlı tanklar için impulsif spektral ivmenin değeri, S_a^* , tanklar şu durumlarda %150 g'yi aşmamalıdır. Kendinden ankrajlı veya geleneksel ankraj cıvatası ve en az 450 mm (18 inç) yüksekliğinde donatılmış ve en az 25 mm (1 inç) yanal kaymaları başka şekilde engellenmeyen mekanik olarak ankrajlı tanklar [API 650, 2020].

3.12. Konvektif Spektral İvme Katsayıları

$$A_c = QK\left(\frac{1}{R_{wc}}\right) S_a^* < A_i \quad (3.23)$$

Burada, S^* , sahadaki toprak etkileri de dahil olmak üzere, %5 sönümlü, sahaya özgü MCER periyodunun koordinatıdır. Alternatif olarak, % 0,5 sönüm için yönetmelikteki E.4.2 prosedürlerine dayanan sahaya özel bir spektrumun ordinatı, K 'nin 1.0'a eşit olduğu S^* değerini belirlemek için kullanılabilir [API 650, 2020].

3.13. Sismik Dizayn Faktör

Eşdeğer yanal sismik tasarım kuvveti, genel ilişki ile belirlenecektir:

$$F = AW_{eff} \quad (3.24)$$

- A : Yanal ivme katsayısı
- W_{eff} : Efektif ağırlık

3.14. Azaltma Katsayısı

Bu hükümlere göre tasarlanan ve detaylandırılan, zemin destekli, sıvı depolama tankları için azaltma katsayısı, Tablo 3.9’da gösterilen değerlerden küçük veya bunlara eşit olacaktır.

Tablo 3.9: Azaltma katsayısı (ASD).

Ankraj Sistemi	R_{wi} , (darbesel)	R_{wc} , (konfektif)
Ankrajsız	3.5	2
Mekanik Ankrajlı	4	2

3.15. Yapı Önem Katsayısı

Önem faktörü (I) SUG tarafından tanımlanır.

Tablo 3.10: Önem katsayısı (I) and sismik kullanım durumu sınıflandırması.

Sismik Grup	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

3.16. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Spektral Tepki İvmeleri

3.16.1. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunda, titreşim periyodu (T) ve sönüm oranı (x) için yatay elastik spektral ivmelerin değerleri ($S_{ae}(T,x)$) aşağıdaki denklemler ile belirlenir [ResGaz 1, 2021].

$$S_{ae}(T, \xi) = (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A})((\eta_\xi - 1) \frac{T}{T_A} + 1)) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.25)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (3.26)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L \quad (3.27)$$

$$S_{ae}(T, \xi) = \eta_\xi \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_L < T \quad (3.28)$$

Yukarıdaki metinde S_{DS} ve S_{D1} , tasarım spektral ivme katsayıları olup, T titreşim periyodu ve x sönüm oranı için kullanılır. Sönüm oranı, x değerinin %5'ten farklı olması durumunda, spektral ivme seviyesi hesaplanırken sönüm oranı katsayısı h_x kullanılarak belirlenir [ResGaz 1, 2021].

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6 \text{ s} \quad (3.29)$$

Sönüm oranının %0.5 olduğu takdirde, spektral ivmelerin hesabında kullanılan sönüm oranı katsayısı, h_x aşağıdaki şekilde hesaplanır [ResGaz 1, 2021].

$$\begin{aligned} \eta_\xi &= 0.925 + 7.5T & T \leq 11 \text{ s} \\ \eta_\xi &= 1.76 - 0.06T & 0.11 \text{ s} < T \leq 28 \text{ s} \\ \eta_\xi &= 1 & T > 28 \text{ s} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Sönüm oranının %1 ila %50 arasında olduğu durumlarda, spektral ivmelerin hesaplanmasında kullanılan sönüm oranı katsayısı, h_x alta belirtilen denklemler ile ifade edilir [ResGaz 1, 2021].

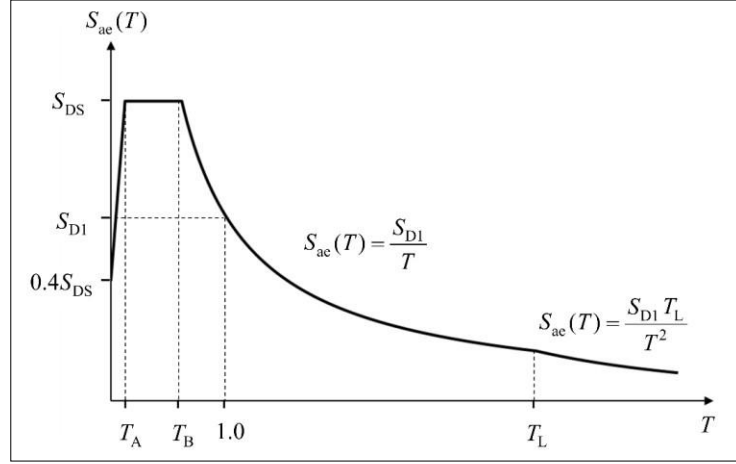
$$= 1 + \frac{(a_{\eta} - 1)T}{0.15} \quad T \leq 0.15 \text{ s}$$

$$\eta_{\xi} = \frac{b_{\eta} T}{(T + c_{\eta})} \quad 0.15 \text{ s} \leq T < 0.5 \text{ s} \quad (3.31)$$

$$= e_{\eta}(T - 0.5) + d_{\eta} \quad 0.5 \text{ s} \leq T \leq 10 \text{ s}$$

Tablo 3.11: Sönüm oranı katsayısı, h_x denklemi parametreleri.

Sönüm oranı, x	ah	bh	ch	dh	eh
%1	1.49	1.538	0.005	1.52	0.0392
%3	1.15	1.185	0.005	1.17	0.0119
%7	0.91	0.883	0.005	0.89	0.0051
%10	0.82	0.761	0.011	0.78	0.0107
%20	0.66	0.549	0.025	0.58	0.0171
%30	0.58	0.445	0.034	0.48	0.0192
%50	0.48	0.334	0.046	0.37	0.0202



Şekil 3.2: Temsili yatay ivme tasarım spektrumu.

3.16.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Düşey elastik spektrumunda düşey elastik spektral ivmeleri, $S_{aeD}(T, x)$, titreşim periyodu (T) ve sönüm oranı, x için aşağıdaki denklemler ile ifade edilir [ResGaz 1, 2021].

$$S_{aeD}(T) = (0.6SA_{VS} \frac{T}{0.05} + 0.4SA_{VS})(\eta_{\xi} - 1) \frac{T}{0.05} + 1) \quad 0 \leq T \leq 0.05$$

$$S_{aeD}(T) = SA_{VS} \quad 0.05 \leq T \leq T_{SV} \quad (3.32)$$

$$S_{aeD}(T) = SA_{VS} \left(\frac{T_{SV}}{T} \right)^n \quad T_{SV} \leq T$$

$$T_{SV} = \max \{0.13|(0.7 - C_L)\} \quad (3.33)$$

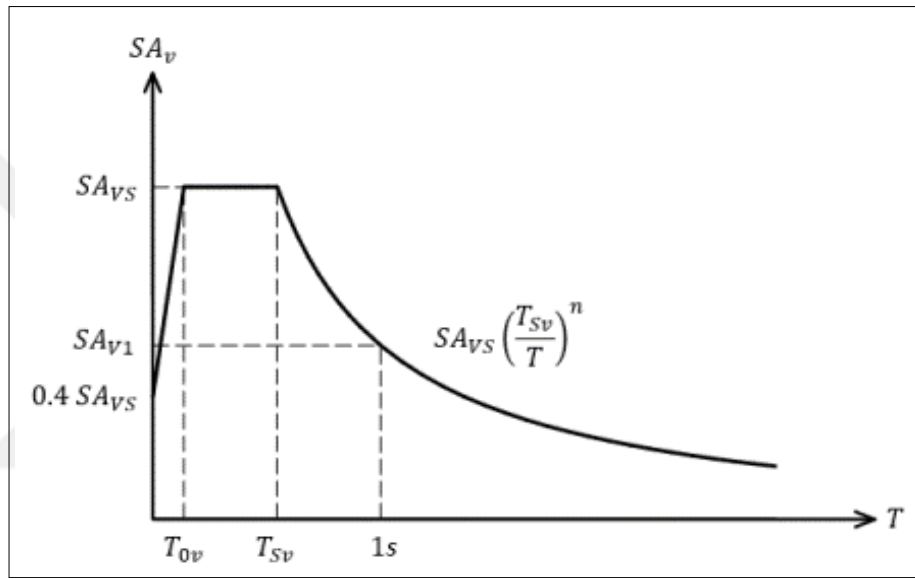
$$n = \frac{\ln(1 - C_L)}{\ln(T_{SV})} \quad C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} \quad (3.34)$$

$\ln(.)$ doğal logaritmayı temsil eder.

SA_{V1} , $T = 1.0$ s periyodunda düşey ivme spektrum ordinatını temsil etmektedir ve S' ve S' yatay spektral ivme değerleri ile birlikte zemin etkilerinden bağımsız olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [ResGaz 1, 2021].

$$SA_{VS} = a_{VS}(S'_s)b_{VS} \quad ; \quad a_{VS} = 5.07 (V_{S30})^{-0.306} \quad b_{VS} = 1.03 \quad (3.35)$$

$$0.066 \left(\frac{\min(V_{S30,760})}{1000} \right) \quad ; \quad SA_{V1} = a_{V1}(S'_1)b_{V1} \quad a_{V1} = 9.90 + V_{S30}^{-0.467} \quad (3.36)$$



Şekil 3.3: Temsili düşey ivme tasarım spektrumu.

3.17. API 650 Tasarımı

3.17.1. Dizayn Yükleri

Yerden destekli düz tabanlı tanklar, sıvı depolayan eşdeğer yanal kuvvetler ve yanal kuvvet dağılımının belirlenmesinde etkin kütle ve dinamik sıvı basınçları dikkate alınarak hesaplanan sismik kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanacaktır. Eşdeğer yanal kuvvet taban kesmesi aşağıdaki gibi belirlenecektir [API 650, 2020].

Sismik taban kesmesi, geçerli yönetmelikler doğrudan toplamı gerektirmedikçe, darbeli ve devinimsel bileşenlerinin kareler (SRSS) kombinasyonunun toplamının karekökü olarak tanımlanacaktır. Yönetmeliğin amaçları doğrultusunda, bir yöndeki

etkilerin doğrudan toplamını, ortogonal yöndeki etkinin %40'ı ile birlikte kullanan alternatif bir yöntemin, SRSS toplamına eşdeğer olduğu kabul edilir [API 650, 2020].

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad (3.37)$$

$$V_i = A_i (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad (3.38)$$

$$V_c = A_c W_c \quad (3.39)$$

3.17.2. Efektif Ağırlık

Efektif ağırlıklar W_i ve W_c , toplam ürün ağırlığı W_p , W_i/W_p oranları ile çarpılarak ve W_c/W_p , sırasıyla aşağıdaki denklemlerle belirlenir [API 650, 2020].

D/H 1.333'e eşit veya daha büyük olduğunda, efektif darbe ağırlığı Denklem'de tanımlanır [API 650, 2020].

$$W_i = \frac{\tanh(0.866 \frac{D}{H})}{0.866 \frac{D}{H}} W_p \quad (3.40)$$

D/H 1.333'ten küçük olduğunda, efektif impulsif ağırlık Denklem'de tanımlanır [API 650, 2020].

$$W_i = [1 - 0,218 \frac{D}{H}] W_p \quad (3.41)$$

Efektif konvektif ağırlık, Denklem tanımlanmıştır [API 650, 2020].

$$W_c = 0,230 \frac{D}{H} (3,67 \frac{H}{D}) W_p \quad (3.42)$$

3.18. Ringwall Devrilme Momenti Eksen

Halka duvar momenti, M_{rw} , toplam devrilme momentinin tank kabuğu çevresinin tabanında etki eden kısmıdır. Bu moment, bir halka duvar temeli üzerindeki yükleri, tank ankraj kuvvetlerini belirlemek ve boyuna tank duvara etkiyen kuvveti kontrol etmek için kullanılır [API 650, 2020].

Tank kabuğunun tabanından W_i ve W_c , X_i ve X_c 'ye uygulanan yanal sismik kuvvetlerin etki merkezine kadar olan yükseklikler, H 'nin sırasıyla X_i / H ve X_c / H oranlarıyla çarpılmasıyla belirlenebilir. D/H oranı denklemleri kullanarak ve D/H 1.333'e eşit veya daha büyük olduğunda, X_i yüksekliği Denklem ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_i = 0.375H \quad (3.43)$$

D/H 1.333'ten küçük olduğunda, X_i yüksekliği Denklem ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_i = [0.5 - 0.094 \frac{D}{H}]H \quad (3.44)$$

X_c yüksekliği Denklem ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_c = [1 - \frac{\cosh(3.67 \frac{H}{D}) - 1}{3.67 \frac{H}{D} \sinh(3.67 \frac{H}{D})}]H \quad (3.45)$$

3.19. Radye Temel Devrilme Momenti Eksen

"Köşe" momenti, M_s , tüm tank temel kesiti boyunca etki eden toplam devrilme momentidir. Bu devrilme momenti, döşeme ve kazık başlığı temellerini tasarlamak için kullanılır [API 650, 2020].

D/H 1.333'e eşit veya daha büyük olduğunda, X_{is} yüksekliği Denklem 3.46 ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_{is} = 0,375[1 + 1,333(\frac{(0,866 \frac{D}{H})}{(\tanh (0,866 \frac{D}{H}))} - 1)]H \quad (3.46)$$

D/H 1.333'ten küçük olduğunda, Xis yüksekliği Denklem ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_{is} = [0,5 + 0,06 \frac{D}{H}]H \quad (3.47)$$

Yükseklik, Xcs, Denklem ile belirlenir [API 650, 2020].

$$X_{cs} = [1 - \frac{\cosh(3.67 \frac{H}{D}) - 1.937}{3.67 \frac{H}{D} \sinh(3.67 \frac{H}{D})}]H \quad (3.48)$$

3.20. Dinamik Sıvı Yükleri

$$D/H \geq 1.33$$

$$N_i = 8.48A_i GDH[\frac{Y}{H} - 0.5 (\frac{Y}{H})^2] \tanh (0.866 \frac{D}{H}) \quad (3.49)$$

$$D/H < 1.33 \text{ ve } Y < 0.75D \quad (3.47)$$

$$N_i = 5.22A_i GD^2[\frac{Y}{0.75D} - 0.5 (\frac{Y}{0.75D})^2] \quad (3.50)$$

$$D/H < 1.33 \text{ ve } Y \geq 0.75D \quad (3.51)$$

$$N_i = 2.6A_i GD^2 \quad (3.52)$$

$$N_c = \frac{1.85A_c GD^2 \cosh[\frac{3.68(H-Y)}{D}]}{\cosh[\frac{3.68H}{D}]} \quad (3.53)$$

$$N_c = \frac{1.85 A_c G D^2 \cosh\left[\frac{3.68(H-Y)}{D}\right]}{\cosh\left[\frac{3.68H}{D}\right]} \quad (3.54)$$

Dinamik çekme gerilimi, toplam gerilimi belirlemede doğrudan ürün hidrostatik tasarım gerilimi ile birleştirilmelidir [API 650, 2020].

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t} \quad (3.55)$$

Düşey ivme tanımlanması halinde;

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + \left(\frac{A_v N_h}{2.5}\right)^2}}{t} \quad (3.56)$$

3.21. Devrilme Momenti

Tank kabuğunun tabanındaki sismik devrilme momenti, aksi belirtilmedikçe, darbesel ve devinimsel bileşenlerinin SRSS toplamının, ilgili moment kollarıyla kuvvetlerin hareket merkezine göre çarpımı olacaktır [API 650, 2020].

Ringwall Momenti, Mrw:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} \quad (3.57)$$

Radye Temel Momenti, Ms:

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} \quad (3.58)$$

Daha kesin bir belirleme kullanılmadığı sürece, her bir kabuk halkasının altındaki devrilme momenti, aşağıdakiler kullanılarak doğrusal yaklaşımla tanımlanacaktır [API 650, 2020].

i) Tankın sabit bir çatısı varsa, gövdenin üst kısmında kesme ve devrilme momenti uygulanır.

ii) Her bir donam sac sırası için darbeleri kesme ve devrilme momenti, her bir sıranın ağırlığına ve ağırlık merkezine göre dahil edilir.

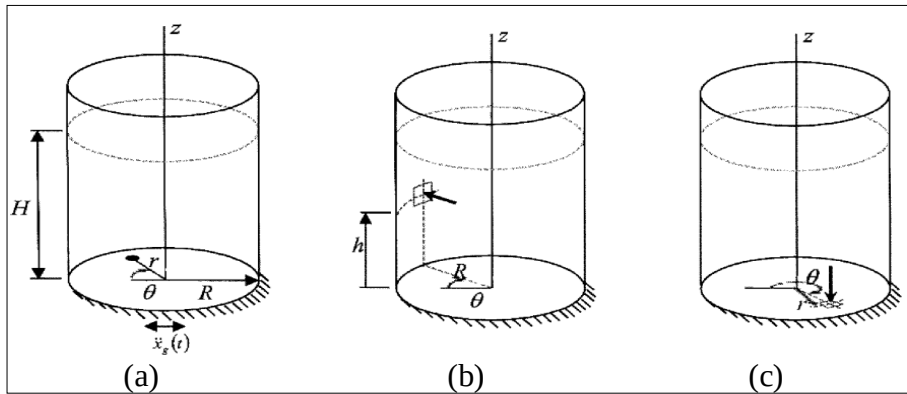
iii) Sıvıdan kaynaklanan devrilme momenti, maksimum sıvı seviyesinde tank tabanındaki M_{rw} 'nin sıfıra eşit olduğu halka duvar momentine eşit doğrusal bir değişim ile yaklaşık olarak bulunur.

3.22. Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Yük Koşulları

3.22.1. Sıvı Yükleri

Sıvının darbesel titreşim modu hareketi ile tank duvarında, belirli bir θ açısı ve h yüksekliği noktasında etkiyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri, aşağıdaki denklem ile bulunur [ResGaz 1, 2021].

$$p_i(\theta, h) = c_i(h) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) \cos \theta \quad (3.59)$$



Şekil 3.4: Silindirik tankların analizi için tanımlanan: a) koordinat sistemi, b) duvara etkiyen noktasal basınç ve c) tabana etkiyen basınç.

(Ti) darbesel mod titreşim periyodu, ξ_i darbesel mod sönüm oranı ve $c_i(h)$ darbesel basınç hesap katsayısı olarak denklemlerde kullanılmaktadır.

$$c_i(h) = 1 - c_c(h) \quad (3.60)$$

$$c_c(h) = 0.837 \frac{\cosh[1.841.h/R]}{\cosh[1.841.H/r]} \quad (3.61)$$

Yönetmelikte $c_c(h)$ devinimsel basınç hesap katsayısı olarak hesaba katılır. Tank içindeki sıvının devinimsel titreşim modundaki hareketi ile tank duvarlarına dik yönde etkileyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri, $p_c(\theta, h)$ denklem kullanılacaktır [ResGaz 1, 2021].

$$p_c(\theta, h) = c_c(h) S_{ae}(T_c, \xi_c) \rho R \cos \theta \quad (3.62)$$

Düşey deprem hareketi etkileri hidrodinamik basınç kuvvetleri oluşturur. Yatay deprem ivmesi etkisi ile oluşan hidrodinamik basınç etkilerine ek olarak hesaba katılmalıdır. Düşey yöndeki deprem sebebiyle tank duvarı üzerinde tabandan h yükseklikte çember hizası etrafında etkin olan hidrodinamik basınç $p_v(h)$ hesaplanacaktır [ResGaz 1, 2021].

$$p_v(h) = (1 - \frac{h}{H}) S_{aeD}(T_v, \xi_i) \rho H \quad (3.63)$$

Yukarıdaki denklemde $S_{aeD}(T_v)$ düşey elastik tasarım spektral ivmedir ve T_v tankın düşey yöndeki periyodudur.

Darbesel titreşim periyodu sebebiyle tank tabanında bulunan θ açısı yönünde ve tank merkezinden r mesafede bulunan noktaya dik yönde etkileyen hidrodinamik basıncın en büyük değeri $p'_i(\theta, r)$ aşağıda belirtilmiştir [ResGaz 1, 2021].

$$p'_i(\theta, r) = c'_i(r) \rho R S_{ae}(T_i, \xi_i) \cos \theta \quad (3.64)$$

$c'_i(r)$ darbesel basınç hesap katsayısıdır.

$$c'_i(r) = \frac{r}{R} - c'_c(r) \quad (3.65)$$

- J_1 : 1. Derece Bessel fonksiyonudur.

$$c'_c(r) = 1.146 \frac{J_1[1.841.r/R]}{\cosh[1.841.H/R]} \quad (3.66)$$

Tank tabanında Θ açısı yönünde ve merkezden r mesafede bulunan noktaya etkiyen devinimsel hdirodinamik basınç aşağıdaki denkleme göre hesaplanacaktır [ResGaz 1, 2021].

$$p'_c(\theta, r) = c'_c(r) S_{ae}(T_c, \xi_c) \rho R \cos \theta \quad (3.67)$$

Düşey yöndeki deprem hareketi sebebiyle tank tabanında oluşan bir noktada etkiyen hidrodinamik darbesel basınç bileşeni p'_v aşağıdaki denkleme göre ifade edilir [ResGaz 1, 2021].

$$P'_v(\theta, r) = \rho H S_{aeD}(T_v, \xi_i) \quad (3.68)$$

3.22.2. Devrilme Momenti

Deprem sebebiyle tank tabanının üst seviyesindeki devrilme momenti, M_{OT} aşağıdaki denklem ile hesaplanmalıdır:

$$M_{OT} = m_c h_c S_{ae}(T_c, \xi_c) g + (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i) g \quad (3.69)$$

Yukarıdaki denkleme göre, m_w tank duvarı kütlesi, h_w tank duvarı ağırlık merkezinin tabandan yüksekliği, m_r tank çatısının kütlesi ve h_r tank çatısının ağırlık merkezinin tabandan yüksekliğini olarak açıklanabilir [ResGaz 1, 2021].

Tank tabanının hemen altındaki seviye için hesaplanan devrilme momenti (M_{OT}) tankın taban plakasına etkiyen hidrodinamik basınç kuvvetlerinin toplam devrilme momentine katkısı nedeniyle her zaman üstündeki devrilme momentinden daha büyüktür. Bu durum, taban plakasının altındaki seviyede daha yüksek bir devrilme riskine işaret eder. Taban plakasının hemen altındaki seviye için hesaplanan devrilme momenti aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır [ResGaz 1, 2021].

$$M_{OT}' = m_c h_c' S_{ae}(T_c, \xi_c)g + (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) S_{ae}(T_i, \xi_i)g \quad (3.70)$$

Yukarıdaki ifadede, h_c' ve h_i' yükseklikleri MOT momentinin hesaplanması için devinimsel ve darbesel sıvı eşdeğer yığılı kütlelerinin yerleştirilmeleri gereken yüksekliklerdir [ResGaz 1, 2021].

3.22.3. Kesme Kuvveti

Çatıdan duvara aktarılan toplam kesme kuvveti V olarak hesaplanacaktır [ResGaz 1, 2021].

$$V = m_r S_{ae}(T_i, \xi_i)g \quad (3.71)$$

- m_r : Çatı kütlesi
- S_{ae} : Hesap spektral ivme
- T_i, ξ_i : Darbesel titreşim modu için periyod ve sönüm oranı

Duvardan tabana aktarılan toplam kesme kuvveti V_d olarak hesaplanacaktır.

$$V_d = (m_i + m_w + m_r) S_{ae}(T_i, \xi_i)g + m_c S_{ae}(T_c, \xi_c)g \quad (3.72)$$

- m_w : Tank duvar kütlesi
- S_{ae} : Hesap spektral ivme
- T_i, ξ_i : Darbesel titreşim modu için periyod ve sönüm oranı
- T_c, ξ_c : Devinimsel titreşim modu için periyod ve sönüm oranı

3.23. API 650 ve Sıvı Depolama Tankları Tasarım Yönetmeliği Karşılaştırma

3.23.1. Sıvı Depolama Tankları Yönetmeliğine Göre Sismik Tasarım

Bu bölümde aşağıda geometrik ve mekanik özellikleri belirtilen Tank 1 Sıvı Depolama Tank Yönetmeliği kriterlerine göre hesaplamaları yapılacaktır.

Tablo 3.12: Tankların Geometrik Parametreleri.

Tank	H_t (m)	H (m)	R (m)	γ	t_{eq} (mm)
Tank 1	15	13.5	4.5	3	6

Tablo 3.13 de belirtilen H_t tankın yüksekliği, H sıvı seviyesinin yüksekliği, D tank çapı, γ H/R oranını, t_{eq} ortalama tank çeper kalınlığını belirtmektedir.

Tablo 3.13: Tankların mekanik parametreleri.

Bileşen	Mekanik Özellik	Değer
Çelik Tank	Young Modülü	200000 Mpa
	Akma Dayanımı	235 Mpa
	Yoğunluk	7850 kg/m ³
Su	Yoğunluk	1000 kg/m ³

Tablo 3.14 de tankın bileşenlerini oluşturan çelik tank ve suyun mekanik özellikleri ve değerlerini göstermektedir.

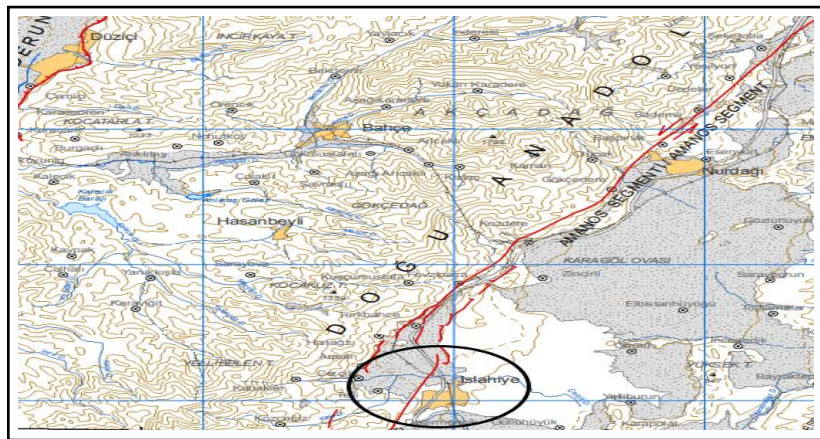
Tablo 3.14: Saha özellikleri.

Parametre	Değer	Birim
Enlem	37.00777	[°]
Boylam	36.626	[°]
Zemin ortalama kayma hızı Vs30	500	[m/s]
Yerel zemin sınıfı	ZC	-
En yakın aktif faya olan mesafe	1.5	[km]

Sıvı depolama tankının yer aldığı koordinat (37.00777, 36.626) için deprem tehlike haritası kısa periyot ve 1.0 saniye periyot için Spektral ivme değerleri “Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası” kullanılarak belirlenmiştir. Tehlikeli madde içermediği için “Tank Tasarım Sınıfı: I” seçilmiştir.

Tablo 3.15: Saha deprem tehlike haritası ivme, hız değerleri ve performans hedefleri.

Tehlike Düzeyi	Ss [g]	S1 [g]	PGA [g]	PGV [m/s]	Performans Hedefi
DD-2 (475 yıl)	1.324	0.346	0.563	35.520	Kontrollü Hasar



Şekil 3.5: Seçilen koordinatların faya olan uzaklığı.

Kısa periyod spektral ivmesi, S_s için en büyük doğrultu etki katsayısı 1.1 alınarak S'_s değeri bulunmuştur.

$$\gamma_s = 1.1 \quad (3.73)$$

$$S_s = 1.324 \quad (3.74)$$

$$S'_s = \gamma_s S_s \quad (3.75)$$

$$S'_s = (1.1)(1.324) = 1.4564[g]$$

S_1 için en büyük doğrultu etki katsayısı 1.3 alınmıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Türkiye Diri Fay Haritası (Şekil 3.2) sunulan aktif faylar gözönüne alınmıştır. Aktif faya olan uzaklık 1.5 km olması sebebiyle yakın fay etkisi çarpanı değeri 1.2 alınmıştır.

$$\gamma_1 = 1.3 \quad (3.76)$$

$$\varphi_{1,YF} = 1.2 \quad (3.77)$$

$$S_1 = 0.346 \quad (3.78)$$

$$S'_1 = (1.3)(1.2)(0.346) = 0.53976$$

Tablo 3.15 ZC zemin sınıfı seçilerek kısa periyod katsayısı F_s değeri 1.2 olarak seçilmiştir.

$$S_{DS} = F_s S'_s \quad S_{DS} = (1.2) (1.4564g) \quad S_{DS} = 1.74g \quad (3.79)$$

Tablo 3.16 ZC zemin sınıfı seçilerek 1 saniye periyod katsayısı F_s değeri 1.4 olarak seçilmiştir.

$$S_{D1} = F_1 S'_1 S_{D1} = (1.4) (0.53976g) \quad S_{D1} = 0.75g \quad (3.80)$$

Tablo 3.16: Kısa periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayısı, F_s .

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_s \leq 0.25g$	$S'_s = 0.50g$	$S'_s = 0.75g$	$S'_s = 1.0g$	$S'_s = 1.25g$	$S'_s \geq 1.50g$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Tablo 3.17: 1 saniye periyod bölgesi için yerel zemin etki katsayısı, F_1 .

Yerel Zemin Sınıfı	$S'_1 \leq 0.10g$	$S'_1 = 0.20g$	$S'_1 = 0.30g$	$S'_1 = 0.4g$	$S'_1 = 0.50g$	$S'_1 \geq 0.60g$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

T_A, T_B, T_L değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6 s \quad (3.81)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.75}{1.74} = 0.086 [s] \quad (3.82)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.75}{1.74} = 0.43 [s] \quad (3.83)$$

$$T_L = 6 s \quad (3.84)$$

Darbesel ve devinimsel hidrodinamik modların hesabında kullanılan H/R değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{H}{R} = \frac{13.5}{4.5} = 3 \quad (3.85)$$

Tablo 3.18: Darbesel ve devinimsel titreşim modlarına göre kuvvetlerin hesabında kullanılacak değerler.

H / R [-]	a_i [-]	C_i [-]	C_c [s m]	h_i / H [-]	h_c / H [-]	h_i' / H [-]	h_c' / H [-]
0.3	0.176	9.28	2.09	0.400	0.521	2.640	3.414
0.5	0.300	7.74	1.74	0.400	0.543	1.460	1.517
0.7	0.414	6.97	1.60	0.401	0.571	1.009	1.011
1.0	0.548	6.36	1.52	0.419	0.616	0.721	0.785
1.5	0.686	6.06	1.48	0.439	0.690	0.555	0.734
2.0	0.763	6.21	1.48	0.448	0.751	0.500	0.764
2.5	0.810	6.56	1.48	0.452	0.794	0.480	0.796
3.0	0.842	7.03	1.48	0.453	0.825	0.472	0.825

Darbesel hidrodinamik titreşim modu periyodu, T_i değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_i = C_i H \sqrt{\frac{\rho R}{t_w E}}$$

$$T_i = (7.03)(13.5) \sqrt{\frac{(1000)(4.5)}{(0.006)(2 \times 10^{11})}} \quad (3.86)$$

$$T_i = 0.18 [s]$$

Devinimsel periyod, T_c aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$T_c = C_c \sqrt{R}$$

$$T_c = 1.48 \sqrt{4.5} \quad (3.87)$$

$$T_c = 3.138 [s]$$

$$\text{Duvar kalınlığı yarı çap oranı } \frac{t_w}{R} = \frac{0.006}{4.5} = 0.00133 \quad (3.88)$$

$$\text{Tank için yoğunluk oranı } \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{1000}{7850} = 0.1273 \quad (3.89)$$

$$C_v = (C_v)_r \sqrt{\frac{t_w/R}{(t_w/R)_r} \frac{\rho/\rho_w}{(\rho/\rho_w)_r}} \quad (3.90)$$

$$C_v = (0.1103)_r \sqrt{\frac{0.00133}{0.0011} \frac{0.1539}{0.1273}} = 0.1333$$

$$T_v = 2\pi \frac{H}{C_v} \sqrt{\frac{\rho_w}{E}}$$

$$T_v = 2\pi \frac{13.5}{0.1333} \sqrt{\frac{7850}{2 \times 10^{11}}} \quad (3.91)$$

$$T_v = 0.126 [s]$$

Denklem ile sönüm oranı katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$T_i = 0.183[s] \quad (3.92)$$

$$\eta_{\xi i} = \frac{b_{\eta} T}{(T + c_{\eta})} \quad 0.15 s \leq T < 0.5 s$$

$$\eta_{\xi i} = \frac{(1.3615)(0.183)}{(0.183+0.005)} \quad 0.15 s \leq T < 0.5 s \quad (3.93)$$

$$\eta_{\xi i} = 1.3252$$

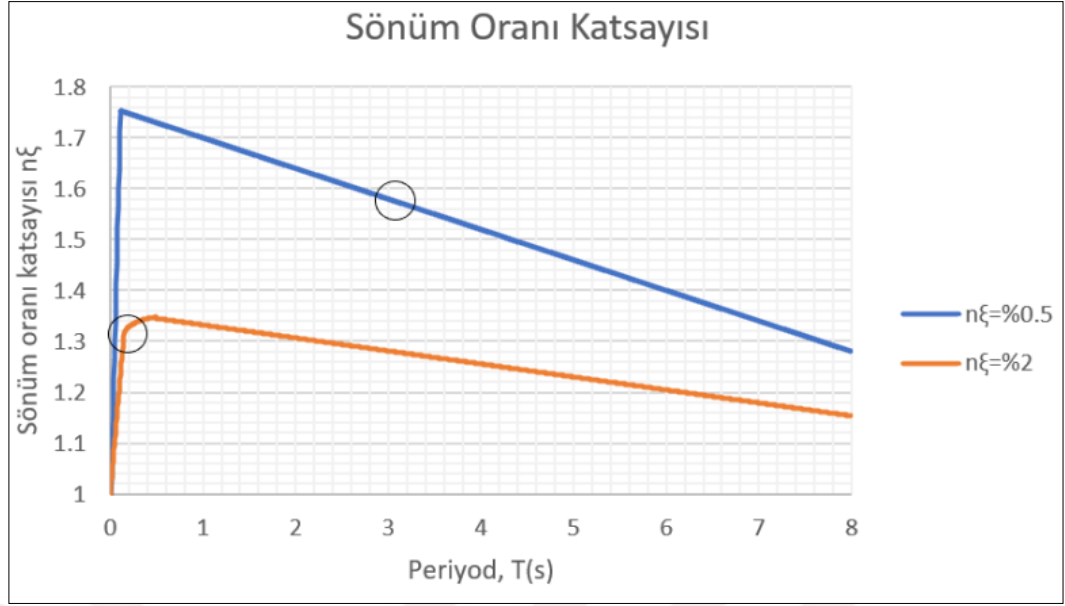
Sönüm oranları darbesel (ξ_c) ve devinimsel (ξ_i) modları için sırasıyla % 0.5 ve % 2 değerleri gözönüne alınmıştır. Darbesel titreşim modu sönüm katsayısının $\eta_{\xi i}(T_i, \xi_i)$ Belirlenmesi için tablodan $\xi_1 = \%1$ ve $\xi_2 = \%3$ sönüm oranlarına göre enterpolasyon yapılmıştır.

$$\begin{aligned} \eta_{\xi i}(T_i, \xi_i) &= [\eta_{\xi}(T_i, \xi_1) - \eta_{\xi}(T_i, \xi_2)] \frac{(\xi - \xi_2)}{(\xi_2 - \xi_1)} + \eta_{\xi_2}(T_i, \xi_2) \\ &= (1.4975 - 1.1538) \frac{(0.02 - 0.03)}{(0.01 - 0.03)} + 1.1538 \end{aligned} \quad (3.94)$$

$$\eta_{\xi i}(T_i, \xi_i) = 1.325$$

$$\eta_{\xi c}(3.13s, \%0.5) = 1.76 - 0.06T \quad 0.11 s < T \leq 28 s \quad (3.95)$$

$$\eta_{\xi c}(3.13s, \%0.5) = 1.76 - 0.06(3.13) \quad \eta_{\xi c} = 1.5722$$



Şekil 3.6: Seçilen sönüm oranı katsayıları.

Darbesel titreşim modu için yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T_i, \xi_i)$ kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T_i, \xi_i) = \eta_{\xi_i}(T_i, \xi_i) S_{DS} \quad T_A < T_i \leq T_B$$

$$S_{ae}(T_i, \xi_i) = (1.32)(1.74) \quad 0.086 < 0.183 \leq 0.43 \quad (3.96)$$

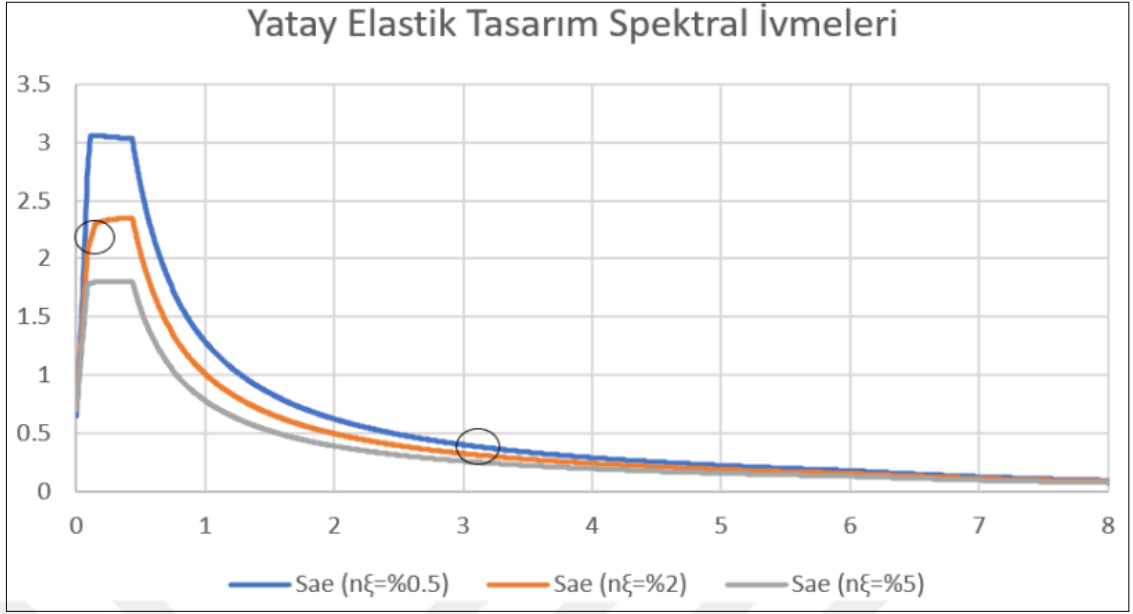
$$S_{ae}(T_i, \xi_i) = 2.29 [g]$$

Devinimsel titreşim modu için yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T_c, \xi_c)$ kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır.

$$S_{ae}(T_c, \xi_c) = \eta_{\xi} \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L$$

$$S_{ae}(T_c, \xi_c) = 1.58 \frac{0.75}{3.14} \quad 0.43 \leq 3.14 \leq 6 \quad (3.97)$$

$$S_{ae}(T_c, \xi_c) = 0.377 [g]$$



Şekil 3.7: Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri.

SA_{vs} kısa periyod düşey spektral ivmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$a_{vs} = 5.07(V_{s30})^{-0.306}$$

$$a_{vs} = 5.07(500)^{-0.306} \quad (3.98)$$

$$a_{vs} = 0.757$$

$$b_{vs} = 1.03 + \frac{0.066(V_{s30,760})}{1000}$$

$$b_{vs} = 1.03 + \frac{0.066(V_{s30,760})}{1000} \quad (3.99)$$

$$b_{vs} = 1.063$$

$$SA_{vs} = a_{vs}(S'_s)^{b_{vs}}$$

$$SA_{vs} = 0.757(1.4564)^{1.063} \quad (3.100)$$

$$SA_{VS} = 0.757(1.4564)^{1.063}$$

$$SA_{VS} = 1.128 \text{ [g]} \quad (3.101)$$

Bir saniye periyod için düşey yöndeki spektral ivme değeri SA_{V1} aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$a_{V1} = 9.90(V_{s30})^{-0.467}$$

$$a_{V1} = 9.90(500)^{-0.467} \quad (3.102)$$

$$a_{V1} = 0.544$$

$$SA_{V1} = a_{V1} (S'_1)^{0.91}$$

$$SA_{V1} = (0.544)(1.306)^{0.91}$$

$$(3.103)$$

$$SA_{V1} = (0.544)(1.306)^{0.91}$$

$$SA_{V1} = 0.693 \text{ [g]}$$

Düşey yöndeki elastik spektral ivme $SA_{aeD}(T_v, \xi_i)$ değerlerinin hesaplanmasında kullanılan değerler aşağıda hesaplanmıştır.

$$C_L = 1 - \frac{SA_{V1}}{SA_{VS}} = 1 - \frac{0.693}{1.128}$$

$$(3.104)$$

$$C_L = 0.39$$

$$T_{SV} = \text{maks} \{0.13; (0.7 - 0.67C_L)\}$$

$$(3.105)$$

$$T_{SV} = \text{maks} \{0.13; (0.7 - 0.67(0.39))\}$$

$$T_{SV} = 0.44$$

$$n = \frac{\ln(1 - C_L)}{\ln(T_{SV})} = \frac{\ln(1 - 0.39)}{\ln(0.44)} \quad (3.106)$$

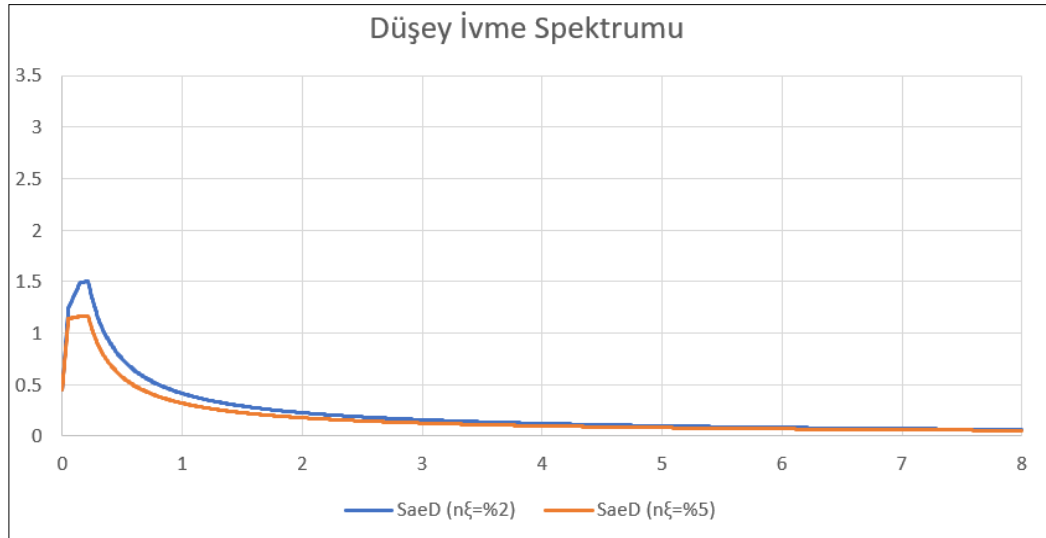
$$n = \frac{0.49}{0.82} = 0.59$$

Düşey yöndeki hidrodinamik mod için spektral ivme, $SA_{aeD}(T_v, \xi_i)$ aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$SA_{aeD}(T_v, \xi_i) = \eta_\xi SA_{VS}$$

$$(3.107)$$

$$SA_{aeD}(T_v, \xi_i) = 1.32(1.128) = 1.49 [g]$$



Şekil 3.8: Düşey ivme spektrumu $SA_{aeD}(T_v, \xi)$.

Tankın devrilme stabilitesinin kontrolünde göz önüne alınacak saha en büyük yer hızı PGV aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$PGV = 0.75(S_{DS}S_{D1})^{0.55}$$

$$PGV = 0.75((1.74)(0.75))^{0.55} \quad (3.108)$$

$$PGV = 0.87 \text{ [m/s]}$$

Tasarımda kullanılan f_d parametresi aşağıda hesaplanmıştır:

$$f_d = 1 + 10S'_1 \quad S'_1 \geq 0.1$$

$$f_d = 1 + 10(0.539) \quad 0.539 \geq 0.1 \quad (3.109)$$

$$f_d = 1 + 10(0.539)$$

$$f_d = 6.39$$

Saha için en büyük Zemin yer değiştirmesi değeri, PGD aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$PGD = 0.25f_d S'_1 \left(\frac{V_{s30}}{760}\right)^{-0.4}$$

$$PGD = 0.25(6.39)(0.539)\left(\frac{500}{760}\right)^{-0.4} \quad (3.110)$$

$$PGD = 1.02 \text{ m}$$

3.23.2. Sıvı Depolama Tankları Yönetmeliğine Göre Deprem Kuvvetleri Hesabı

Deprem etkisi altında tank çatısına etkiyen toplam kesme kuvveti hesabı için kütle aşağıda hesaplanmıştır:

$$m_r = t_r \pi (R^2 + H_r^2) \rho_w$$

$$m_r = 0.006(3.14)(4.5^2 + 4^2)7.85 \quad (3.111)$$

$$m_r = 5.36 \text{ [t]}$$

Tank tavanından duvara aktarılan kesme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V = m_r S_{ae}(T_i, \xi_i)g$$

$$V = (5.36) \cdot (2.29)(9.81) \quad (3.112)$$

$$V = 120.4 \text{ [t]}$$

Tank içerisindeki sıvının darbesel titreşim periyodu için eşdeğer kütle m_i aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$m_i = \alpha_i \pi R^2 H \rho$$

$$m_i = (0.842)(3.14)(4.5^2)(13.5)(0.9) \quad (3.113)$$

$$m_i = 650 \text{ [t]}$$

Tank içerisindeki sıvının devinimsel titreşim periyodu için eşdeğer kütle m_c aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$m_c = (1 - \alpha_i) \pi R^2 H \rho$$

$$m_c = (1 - 0.842)(3.14)(4.5^2)(13.5)(0.9) \quad (3.114)$$

$$m_c = 122.12 \text{ [t]}$$

Tank duvarlarının kütlesi, m_w aşağıda hesaplanmıştır:

$$m_w = 2\pi R H_w t_w \rho_w$$

$$m_w = 2(3.14)(4.5)(15)(0.006)(7.85) \quad (3.115)$$

$$m_w = 19.97 \text{ [t]}$$

Tank duvarının alt seviyesinde duvara etkiyen toplam taban kesme kuvveti V_d aşağıda hesaplanmıştır:

$$V_d = (m_i + m_w + m_r)S_{ae}(T_i, \xi_i)g + m_c S_{ae}(T_c, \xi_c)g$$

$$V_d = (650 + 19.97 + 5.36)(2.29)(9.81) + (122.12)(0.377)(9.81) \quad (3.116)$$

$$V_d = 15171 \text{ [kN]}$$

Tabanın hemen üzerindeki seviyeye etkiyen devrilme momenti M_{OT} aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$M_{OT} = m_c h_c S_{ae}(T_c, \xi_c)g + (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r)S_{ae}(T_i, \xi_i)g$$

$$M_{OT} = (122.12)(12.37)(0.377)(9.81) + \left(\begin{array}{l} (650)(6.795) \\ +(19.97)(7.5) \\ (5.36)(16.33) \end{array} \right) (2.29)(9.81) \quad (3.117)$$

$$M_{OT} = 110865 \text{ kNM}$$

$$M_{OT}' = m_c h_c' S_{ae}(T_c, \xi_c)g + (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r)S_{ae}(T_i, \xi_i)g$$

$$M_{OT}' = (122.12)(12.37)(0.377)(9.81) + \left(\begin{array}{l} (650)(7.08) \\ +(19.97)(7.5) \\ (5.36)(16.33) \end{array} \right) (2.29)(9.81) \quad (3.118)$$

$$M_{OT}' = 115068 \text{ kNM}$$

Birim uzunluk için duvar ağırlığı w_t aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$w_t = \frac{m_w g}{2\pi R}$$

$$w_t = \frac{(19.97)(9.81)}{2\pi(4.5)} \quad (3.119)$$

$$w_t = 6.92 \text{ [kN/m]}$$

Deprem etkisi altında devrilme momentini karşılamak için bağlantı elemanlarının sahip olması gereken birim uzunluk başına düşen taşıma kapasitesi P aşağıda hesaplanmıştır:

$$P = (0.4\alpha_s + 0.65) \frac{M_{OT}}{D_{HD}^2} - w_t \quad (3.120)$$

$$P = 882.73 \text{ [kN/m]}$$

60 adet ankraj kullanılması planlanmıştır:

$$N_e = \frac{2\pi R}{n_e} P$$

$$N_e = \frac{2\pi(4.5)}{60} (882.73) \quad (3.121)$$

$$N_e = 415.97 \text{ [kN]}$$

Tank içerisinde depolanan sıvıda deprem etkisi altında meydana gelen dalga yüksekliği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$d_{\max} = 0.84 R S_{ae}(T_c, \xi_c)$$

$$d_{\max} = 0.84(4.5)(0.377) \quad (3.122)$$

$$d_{\max} = 1.42 \text{ [m]}$$

3.24. API 650 Yönetmeliğine Göre Sismik Tasarımı

Bu bölümde aşağıda geometrik ve mekanik özellikleri belirtilen Tank 1 API 650 ve kriterlerine göre hesaplamaları yapılacaktır.

Tablo 3.19: Tankların geometrik parametreleri.

Tank	H _t (m)	H (m)	R (m)	γ	teq (mm)
Tank 1	15	13.5	4.5	3	6

Tablo 3.20 de belirtilen H_t tankın yüksekliği, H sıvı seviyesinin yüksekliği, D tank çapı, γ H/R oranını, teq ortalama tank çeper kalınlığını belirtmektedir.

Tablo 3.20: Tankların mekanik parametreleri.

Bileşen	Mekanik Özellik	Değer
Çelik Tank	Young Modülü	200000 Mpa
	Akma Dayanımı	235 Mpa
	Yoğunluk	7850 kg/m ³
Su	Yoğunluk	1000 kg/m ³

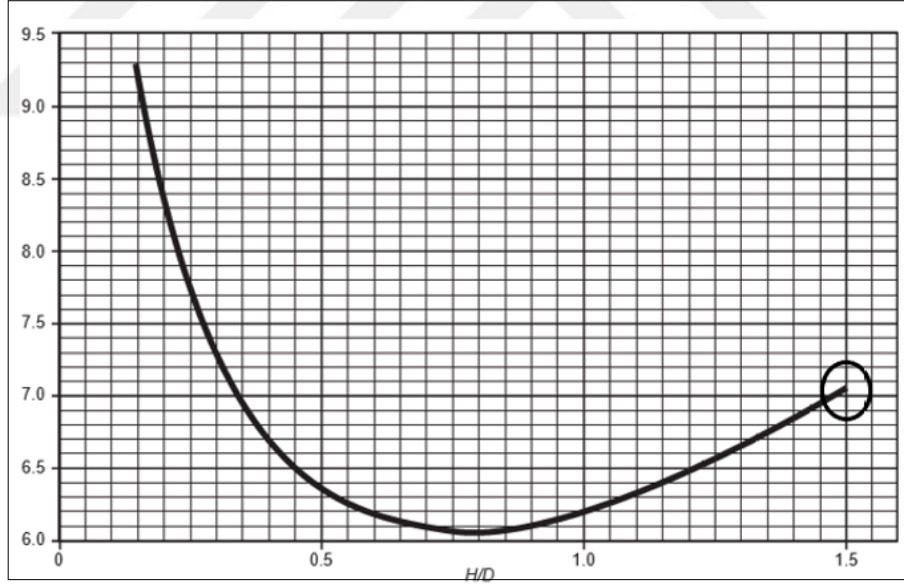
Tablo 3.21’de tankın bileşenlerini oluşturan çelik tank ve suyun mekanik özelleikleri ve değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.21: Saha özellikleri.

Parametre	Değer	Birim
Enlem	37.00777	[°]
Boylam	36.626	[°]
Zemin ortalama kayma hızı Vs30	500	[m/s]
Yerel zemin sınıfı	ZC	-
En yakın aktif fayla olan mesafe	1.5	[km]

Darbesel hidrodinamik titreşim modu periyodu, T_i değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}}\right) \left(\frac{(C_i H)}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}}\right) \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}}\right) \quad (3.123)$$



Şekil 3.9: C_i Katsayısı Grafiği

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}}\right) \left(\frac{(7.1)(13.5)(1000)}{\sqrt{\frac{6}{9000}}}\right) \left(\frac{\sqrt{\frac{9}{1000000}}}{\sqrt{200000}}\right) \quad (3.124)$$

$$T_i = 0.18 \text{ [s]}$$

Devinimsel periyodu bulmak için K_s aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68H}{D}\right)}}$$

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68(13.5)}{9}\right)}} \quad (3.125)$$

$$K_s = 0.58$$

Devinimsel periyod, T_c aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$T_c = 1.8 \cdot K_s \sqrt{D}$$

$$T_c = 1.8 \cdot (0.58) \sqrt{9} \quad (3.126)$$

$$T_c = 3.13 \text{ [s]}$$

$$S_{DS} = S_s F_a$$

$$S_{DS} = (1.324)(1) \quad (3.127)$$

$$S_{DS} = 1.324$$

$$S_{D1} = S_1 F_v$$

$$S_{D1} = (0.346)(1.45) \quad (3.128)$$

$$S_{D1} = 0.5$$

Darbesel spektral ivme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A_i = S_{DS} \cdot \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \quad (3.129)$$

$$A_i = (1.324) \left(\frac{1.5}{4} \right) = 0.49$$

Devinimsel spektral ivme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned} T_c \leq T_L \quad A_c &= K S_{D1} \left(\frac{I}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 2,5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i \\ 3.121 \leq 6 \quad A_c &= (0.578) S_{D1} \left(\frac{I}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) = 2,5 K Q F_a S_0 \left(\frac{T_s}{T_c} \right) \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i \\ 3.121 \leq 6 \quad A_c &= 2,5 (0.578) (1) (1) (0.346) \left(\frac{0.378}{3.121} \right) \left(\frac{1.5}{2} \right) \leq A_i \\ 3.121 \leq 6 \quad A_c &= 0.04 \leq 0.49 \end{aligned} \quad (3.130)$$

D/H oranı 1.33 değerinden küçük olması halinde temel pedestaline gelen devrilme momenti etkin uzaklık merkezi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X_i = \left[0,5 - 0,094 \frac{D}{H} \right] H$$

$$X_i = \left[0,5 - 0,094 \frac{9}{13.5} \right] 13.5 \quad (3.131)$$

$$X_i = 5.9$$

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh \left(3,67 \frac{H}{D} \right) - 1}{3,67 \frac{H}{D} \sinh \left(3,67 \frac{H}{D} \right)} \right] H$$

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh \left(3,67 \frac{13.5}{9} \right) - 1}{3,67 \frac{13.5}{9} \sinh \left(3,67 \frac{13.5}{9} \right)} \right] 13.5 \quad (3.132)$$

$$X_{cs} = 11.068$$

D/H oranı 1.33 değerinden küçük olması halinde temele etkiyen devrilme momenti etkin uzaklık merkezi X_{is} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X_i = [0,5 + 0,06 \frac{D}{H}]H$$

$$X_i = \left[0,5 + 0,06 \frac{9}{13.5}\right] 13.5 \quad (3.133)$$

$$X_i = 7.29$$

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.67 \frac{H}{D}\right) - 1.937}{3.67 \frac{H}{D} \sinh\left(3.67 \frac{H}{D}\right)}\right]H$$

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(3.67 \frac{13.5}{9}\right) - 1.937}{3.67 \frac{13.5}{9} \sinh\left(3.67 \frac{13.5}{9}\right)}\right] 13.5 \quad (3.134)$$

$$X_{cs} = 11.086$$

3.24.1. API 650 Yönetmeliğine Göre Deprem Kuvvetleri Hesabı

Ringwall Momenti, M_{rw} :

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} \quad (3.135)$$

$$M_{rw} = \sqrt{[0.49(734(5.9) + 21(11.068) + 28(15))]^2 + [0.18(131.68(11.086))]^2}$$

$$M_{rw} = 24121 \text{ kNm}$$

Radye Temel Momenti, M_s :

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2} * [g] \quad (3.136)$$

$$M_s = \sqrt{[0.497(734(7.29) + 21(11.068) + 28(15))]^2 + [0.18(131.68(11.086))]^2}$$

$$M_s = 29053 \text{ kNm}$$

Kesme Kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_i = A_i(M_i + M_c + M_w) * [g]$$

$$V_i = 0.497(734 + 131.68 + 21) * [9.81] \quad (3.137)$$

$$V_i = 3957 \text{ kN}$$

$$V_c = A_c(M_i + M_c + M_w) * [g]$$

$$V_c = 0.18(734 + 131.68 + 21) * [9.81] \quad (3.138)$$

$$V_c = 232 \text{ kN}$$

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2}$$

$$V = \sqrt{3957^2 + 232^2} \quad (3.139)$$

$$V = 3964 \text{ kN}$$

Tablo 3.22: Sıvı depolama tank yönetmeliği ve Apı 650 sonuç karşılaştırma.

Yönetmelik	Devinimsel Periyod [s]	Darbesel Periyod [s]	M (Devrilme Momenti) [kNm]	V (Taban Kesme Kuvveti) [kN]
Sıvı Depolama Tank Tasarım	0.33	0.18	115068	15171
API 650	0.33	0.18	29053	3964

Sıvı depolama tank yönetmeliği ve API-650 tank yönetmelikleri sismik bölümlerindeki parametrelere göre hesaplamalar yapılmış olup devinimsel ve darbesel

periyodlar, devrilme momenti ve taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır ve Tablo 3.23’de sonuçlar gösterilmiştir.

Sıvı depolama tank yönetmeliğinde kullanılan hesap yönteminde deprem azaltma katsayısı kullanılmaması sebebiyle, API 650 de kullanılan azaltma katsayıları ile optimize edilen deprem kuvvetlerine göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Sıvı depolama tank yönetmeliğinde parametre olarak kullanılan farklı faya olan mesafelere göre incelenmiş olup fay etkisi ve yerel zemin etkisi katsayılarının değişmesi ihmal edilecek kadar farklılık göstermiştir.



4. DEPOLAMA TANKLARININ SAYISAL MODELİ VE ANALİZİ

Çalışmada endüstriyel depolama tesislerinde yağ, petrol, kimyasal madde gibi sıvıların depolanmasında yaygınca kullanılan ankrajlı atmosferik silindirik çelik depolama tanklarının deprem davranışı Abaqus sonlu elemanlar paket programı kullanılarak kurulan modeller göz önüne alınarak incelenmiştir. Çalışmada geometrik açıdan iki farklı model kurulmuştur, bunlardan birincisi narin (slender), ikincisi ise geniş (broad) ankrajlı tank sınıfındadır. Analizlerde göz önüne alınan tankların geometrik boyutları ve çelik malzeme özellikleri ile ayrıca depolanan sıvının özellikleri [Paolacci et al., 2016] çalışmasından dikkate alınmıştır. Tank modellerinin zaman tanım alanında analizlerinde kullanılan deprem kaydı ise ülkemizde 6 Şubat 2023'te yaşanan büyük Kahramanmaraş depremle Gaziantep ilinde kaydedilen kayıtlardan birisidir. Bu büyük felaketin ardından yapılan birçok saha incelemesi ve araştırmanın ardından deprem bölgesinde depolama tanklarının da etkilendiği ve hasar gördüğü anlaşılmıştır. Bu sebeple Gaziantep ilinin Nurdağı ilçesinde 2718 numaralı istasyonda kaydedilen yer hareketi ivme verileri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler iki yatay doğrultu ve düşey doğrultuda olmak üzere üç yöndeki ivme-zaman değerleri kullanılarak yürütülmüştür. Göz önüne alınan tanklar ile ilgili bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Analizlerde kullanılan tankların geometrik özellikleri.

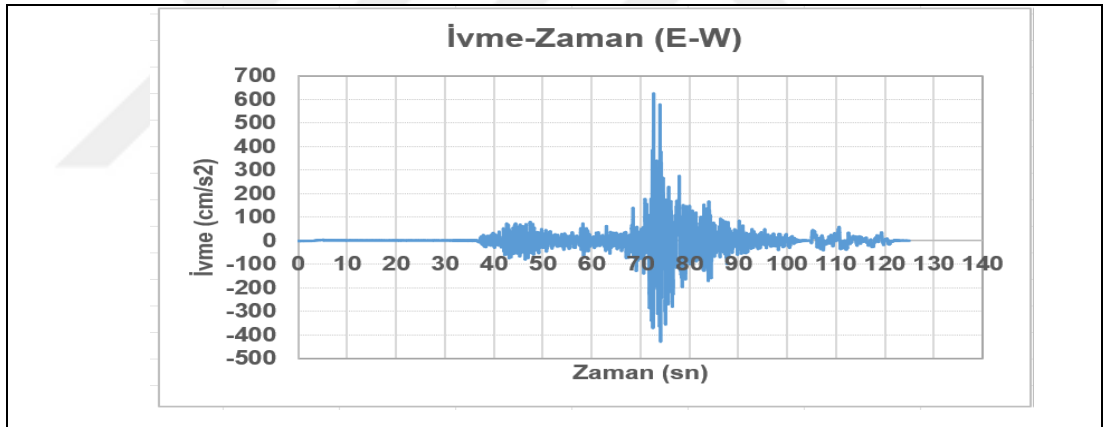
İsim	Ht (m)	H (m)	R (m)	γ	t (mm)
Tank 1	15	13.5	4.5	3	6
Tank 2	15	13.5	13.5	1	15

Burada Ht tank yüksekliğini, H sıvı yüksekliğini, R metre cinsinden tank yarıçapını, γ yükseklik/yarıçap oranını ve t ise duvar kalınlığını ifade etmektedir. Tank duvarının çelik malzemesi ve depolanan sıvı ile ilgili özellikler Tablo 4.2'de verilmiştir. Çelik malzemesinin plastik özellikleri ise programa 260 MPa akma dayanımı ve 500 MPa nihai dayanım olarak tanımlanmıştır.

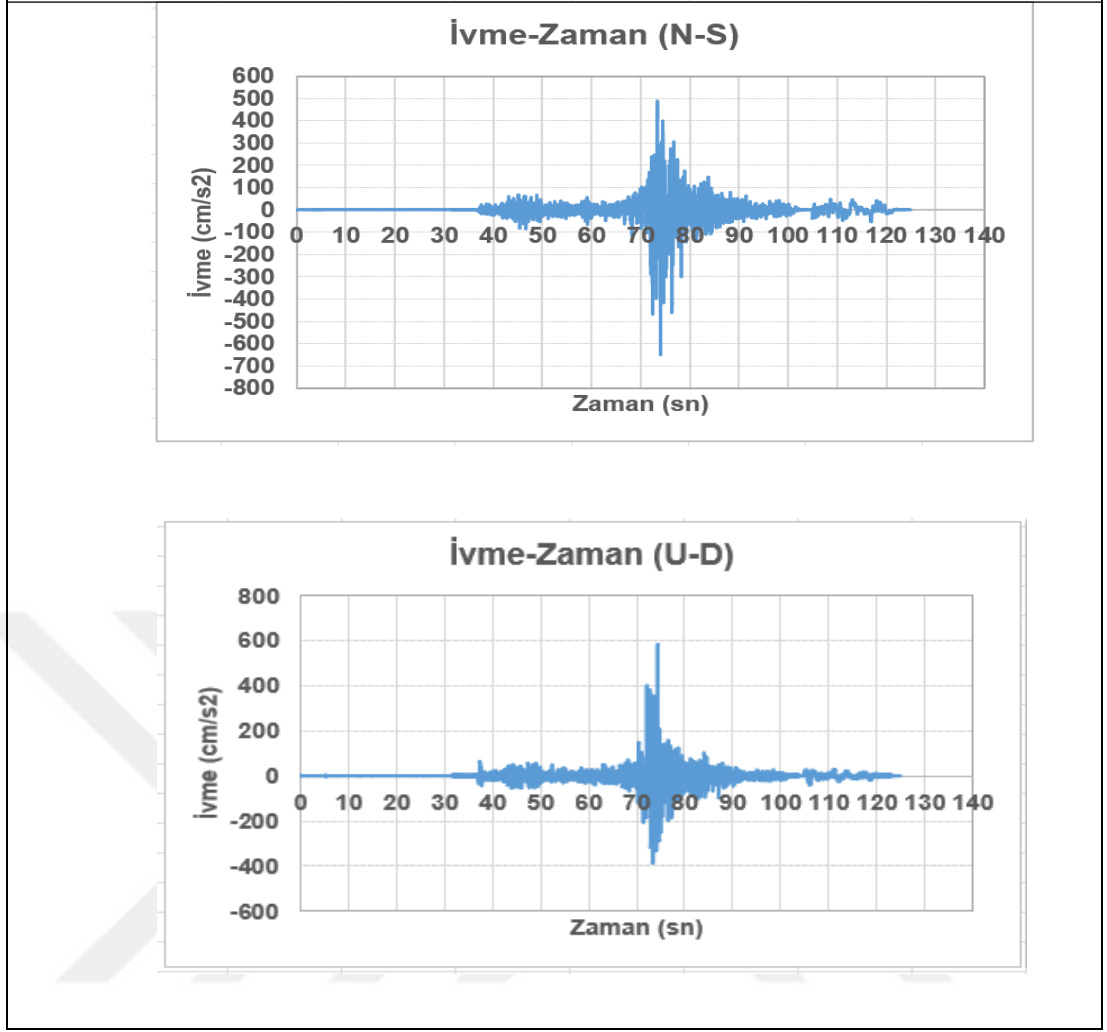
Tablo 4.2: Tank ve sıvı ile ilgili mekanik özellikler.

Bileşen	Mekanik özellik	Değer
Çelik tank	Elastisite modülü	200000 MPa
	Akma dayanımı	260 MPa
	Birim hacim ağırlığı	7850 kg/m ³
Sıvı	Birim hacim ağırlığı	1000 kg/m ³

Analizlerde kullanılan deprem kaydı ile ilgili grafikler ise Şekil 4.1’de verilmiştir. Gaziantep Nurdağı ilçesinde bulunan 2718 istasyonundan elde edilen deprem kaydındaki en yüksek yer ivmesi değeri $PGA=0.63g$ ’dir. Analizler ise ifade edilen deprem kaydının 4 farklı biçimiyle gerçekleştirilmiştir. Orijinal veriye ek olarak kayıtlarda PGA değerlerinin 0.5g, 0.7g, 0.8g ivme değerlerine ölçeklendiği 3 adet deprem kaydı daha kullanılmıştır.

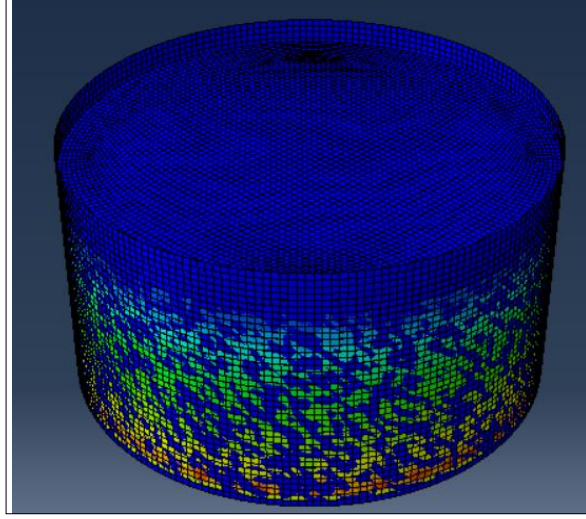


Şekil 4.1: Göz önüne alınan deprem kaydının üç yöndeki orijinal hali.

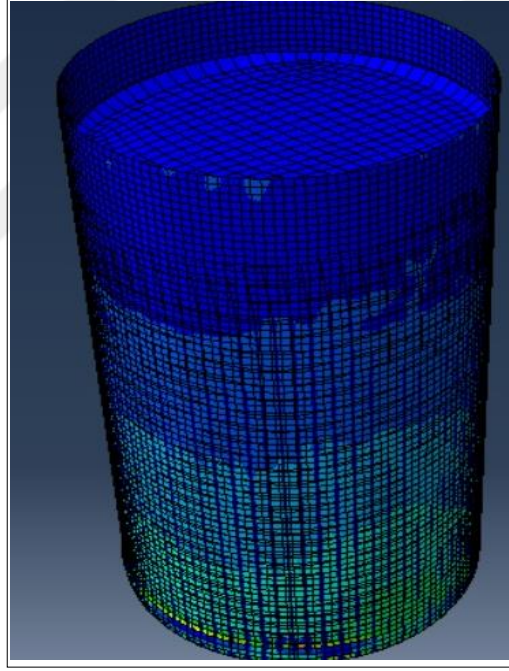


Şekil 4.1:Devam.

Çalışmada göz önüne alınan iki ankrajlı tank modeli ile ilgili sonlu elemanlar görselleri Şekil 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. İki ayrı tank modeli için dörder adet olmak üzere toplamda sekiz adet analiz gerçekleştirilmiştir.

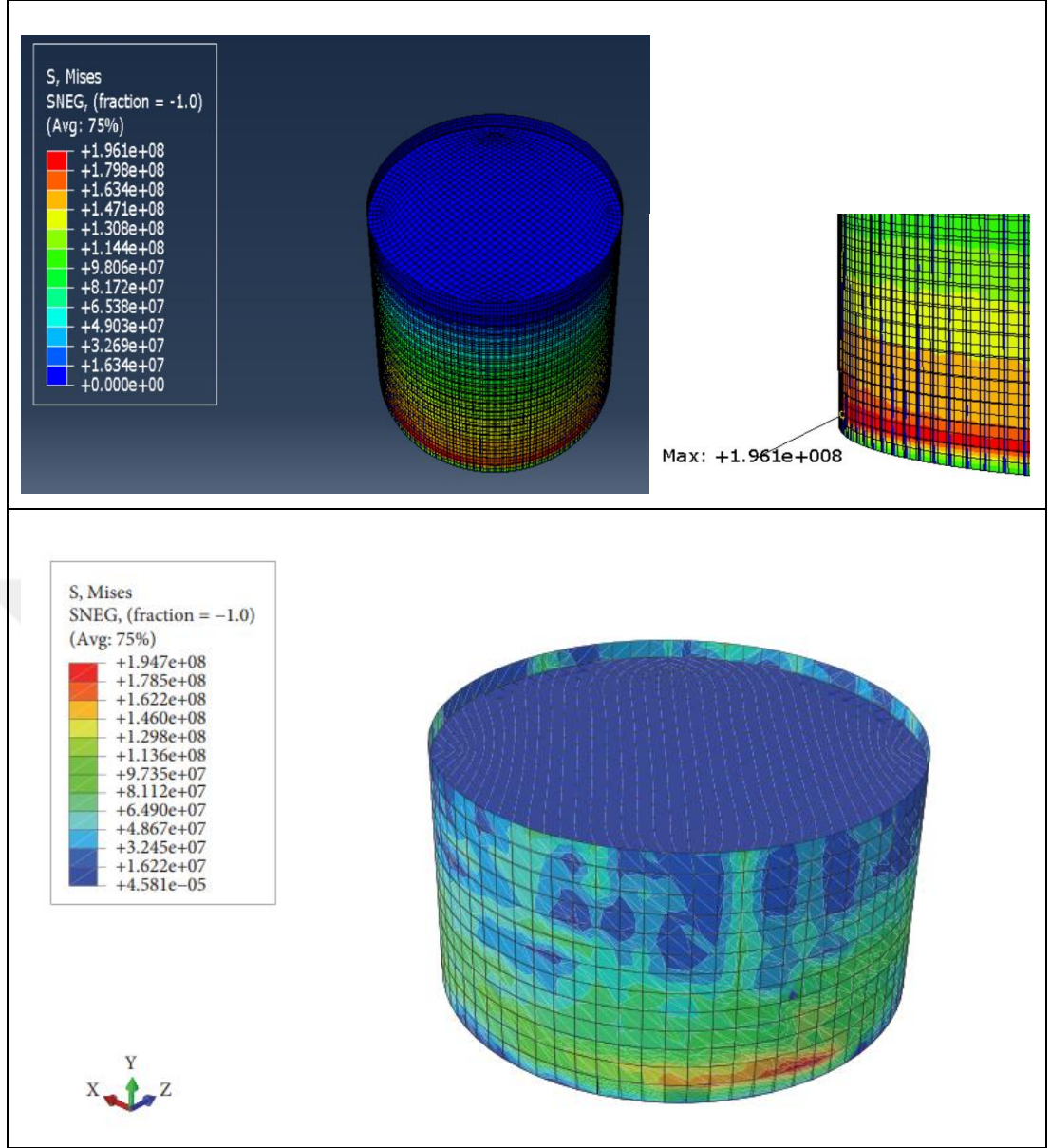


Şekil 4.2: Analizleri yapılan tank modeli H:13.5m, R:13.5m.



Şekil 4.3: Analizleri yapılan tank modeli H:13.5m, R:4.5m.

Kurulan sonlu eleman modelinde tankın deprem performansı, Lee vd. (2019) çalışmasında kurulan model göz önüne alınarak elde edilen sonuçlara benzer çıktıların elde edilmesiyle doğrulanmıştır [Lee et al., 2019].



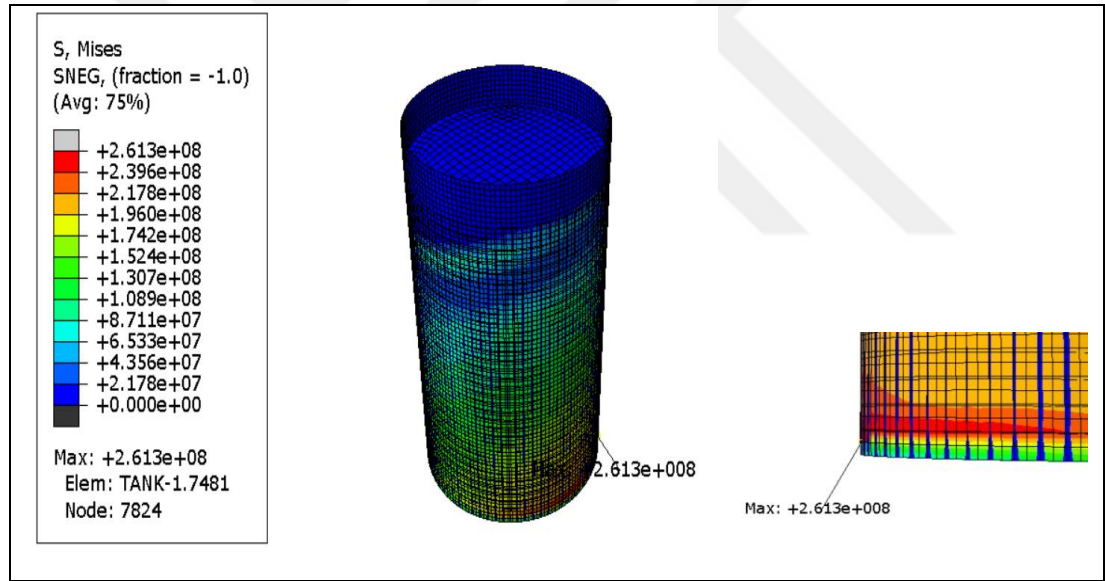
Şekil 4.4: Model doğrulaması için yapılan kıyaslama (Alttaki tank görsel ve sonucu yayınından alınmıştır) H:12.6m, R:11.6m.

Tank modelinin deprem performansının incelenmesi amacıyla gerçek deprem kaydının farklı ölçeklenmiş biçimleri analizlerde kullanılmıştır. Buna göre PGA değeri arttıkça göz önüne alınan tank modelinde gerilme, plastik şekil değiştirme, taban kesme kuvveti değerleri artmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre tanklarda meydana gelen gerilme, plastik şekil değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin maksimum değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

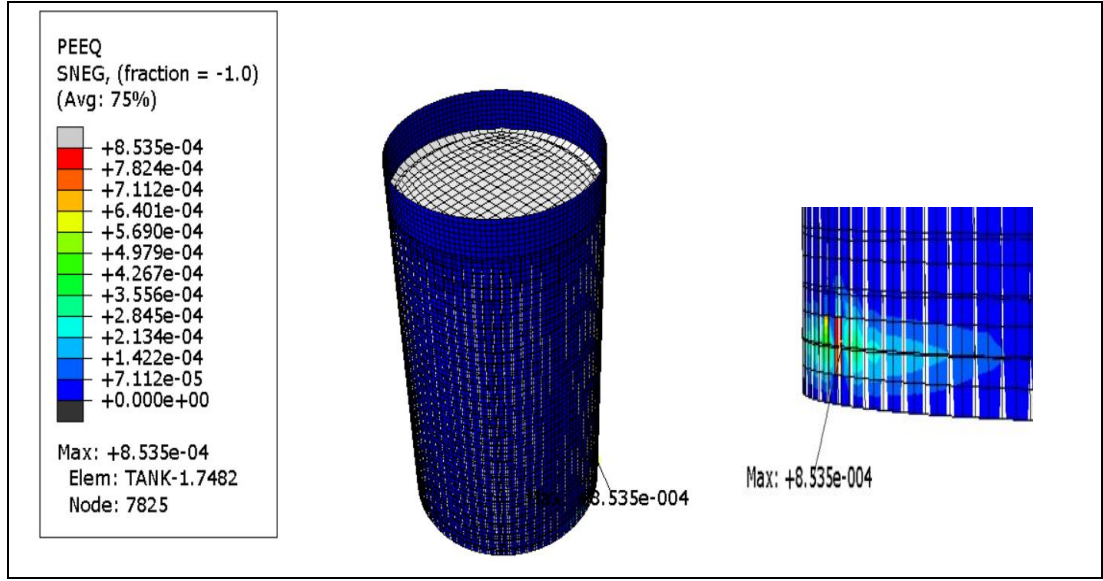
Tablo 4.3: Analizlerin sonucunda elde edilen bazı çıktıları.

PGA	PGA=0.5g			PGA=0.6g			PGA=0.7g			PGA=0.8g		
Tank #	PŞ	Ger	TK	PŞ	Ger	TK	PŞ	Ger	TK	PŞ	Ger	TK
Tank1	%0.085	261.3	122.4	%0.2	264.8	138.7	%0.88	277	145.8	%2	304.3	150.7
Tank2	%0.087	261.3	496.3	%0.2	264.5	670.3	%0.3	267	673.2	%0.6	274.5	761

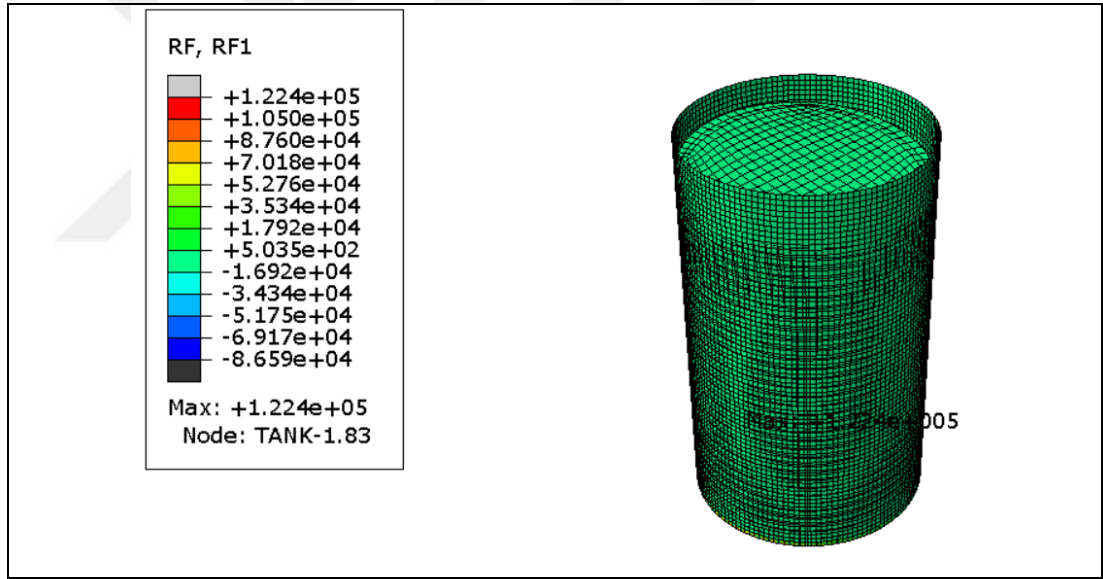
Tablo 4.3'te ifade edilen Tank1 4.5 m yarıçaplı narin tankı, Tank2 ise 13.5m yarıçaplı geniş tankı belirtmektedir. Plastik şekil değiştirme değerleri % cinsinden verilmiş olup gerilmelerin birimi MPa ve taban kesme kuvvetlerinin birimi kN olarak sunulmuştur. Şekil 4.5 ile Şekil 4.17'de yarıçapı daha düşük olan tank modeliyle ilgili yapılmış analizlerden elde edilmiş gerilme, plastik şekil değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri sunulmuştur.



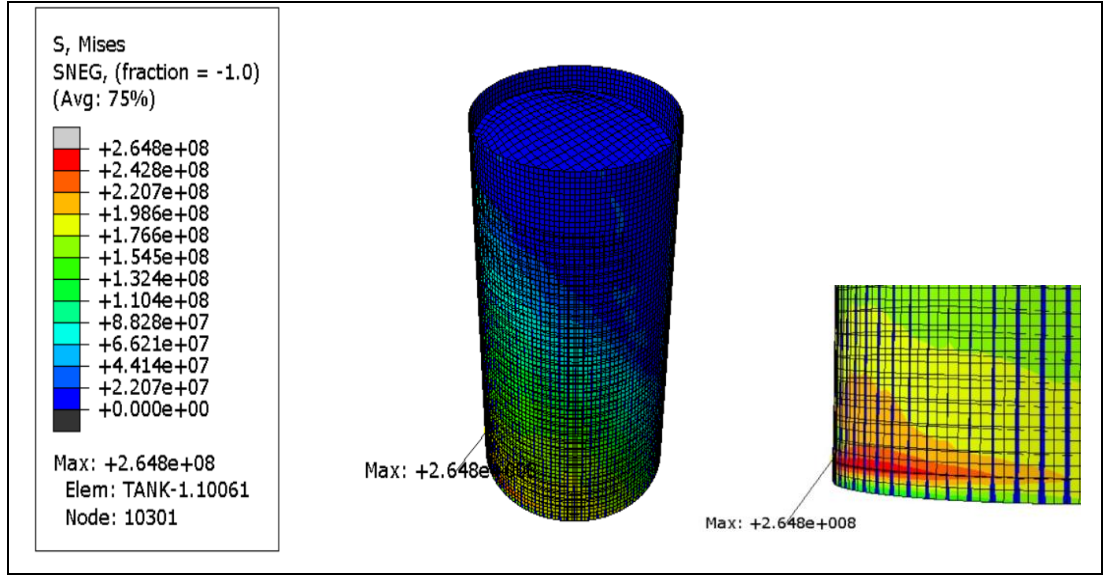
Şekil 4.5: Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



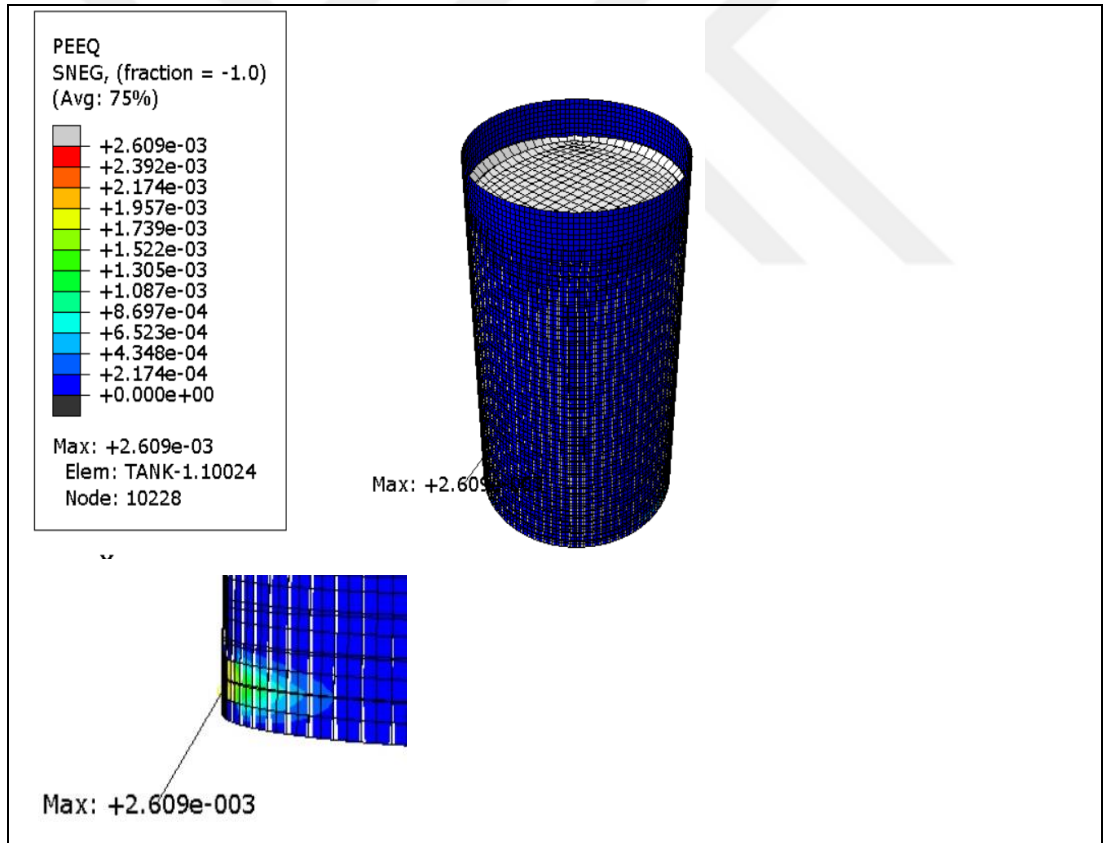
Şekil 4.6: Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



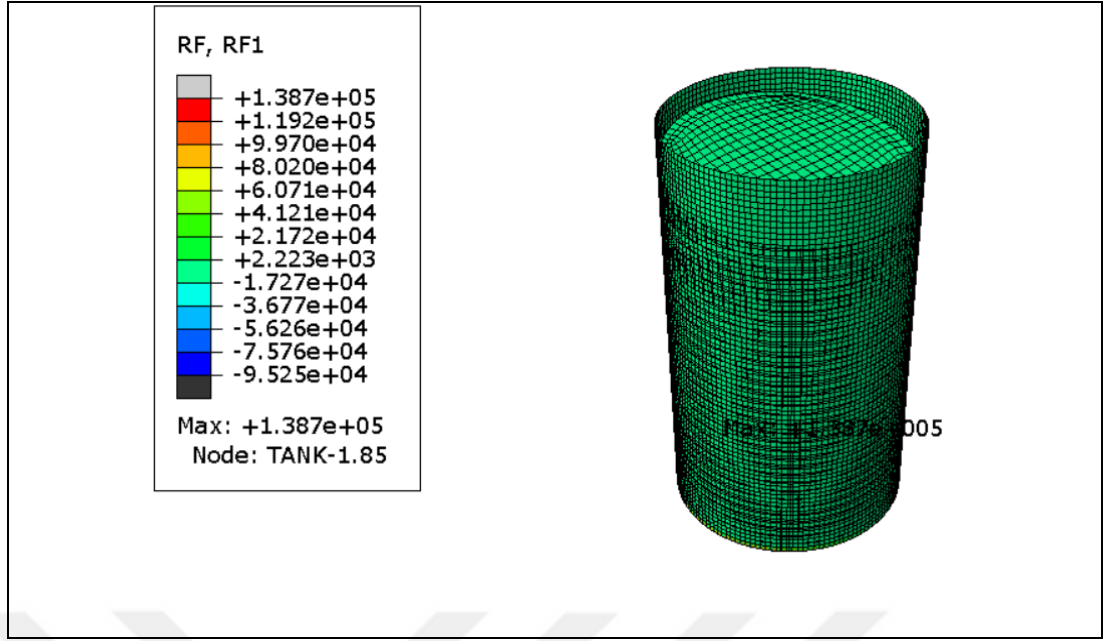
Şekil 4.7: Tank1 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



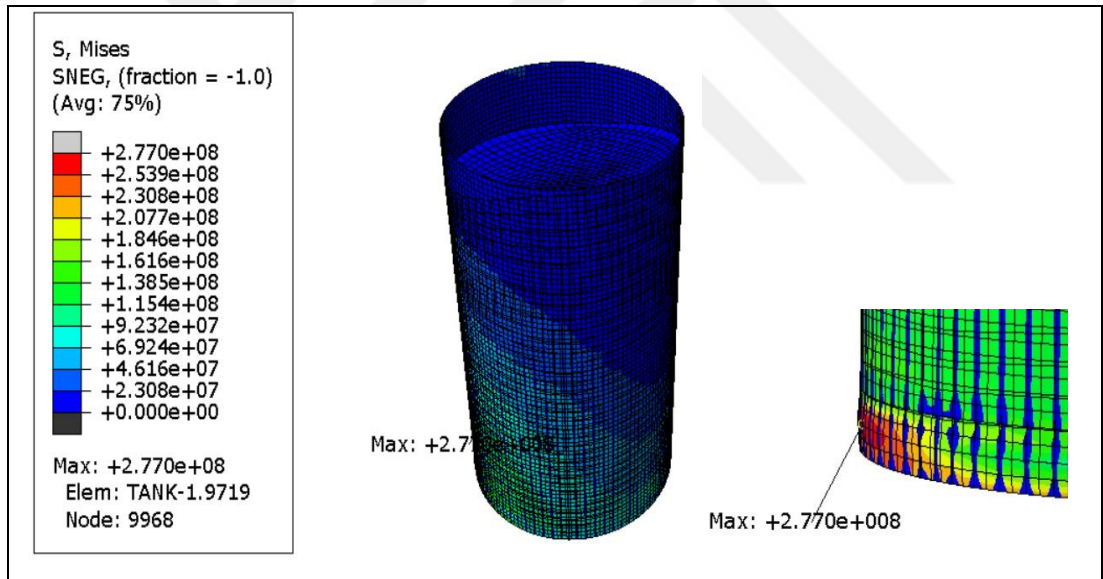
Şekil 4.8: Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



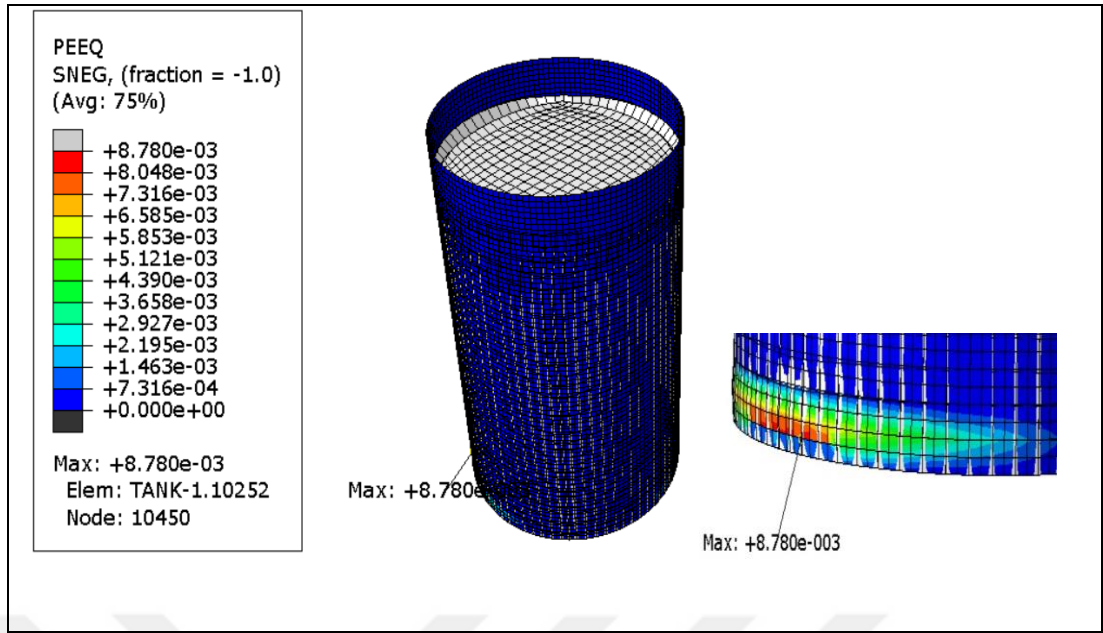
Şekil 4.9: Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



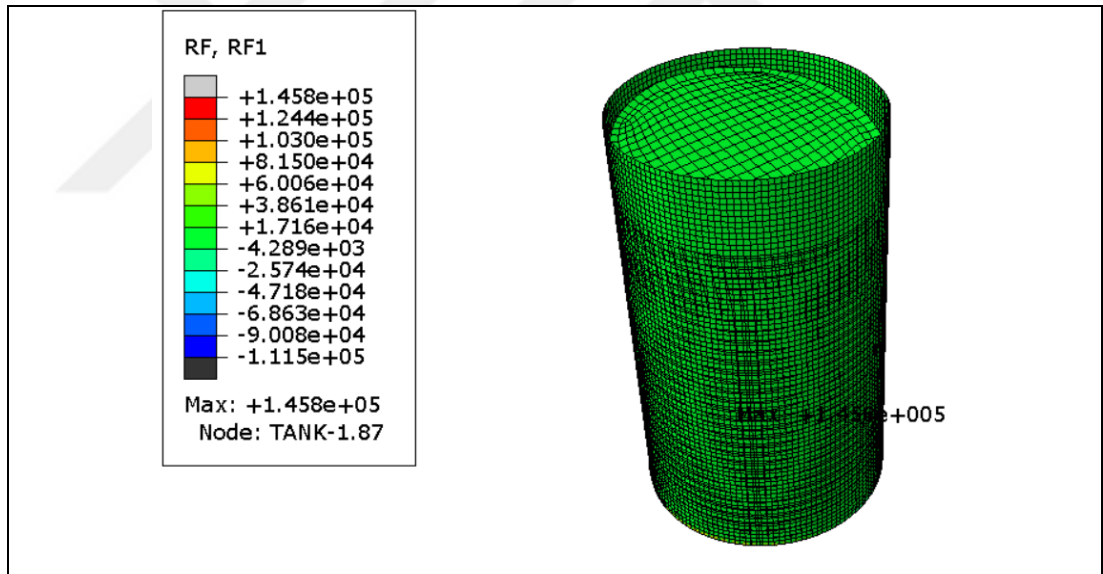
Şekil 4.10: Tank1 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



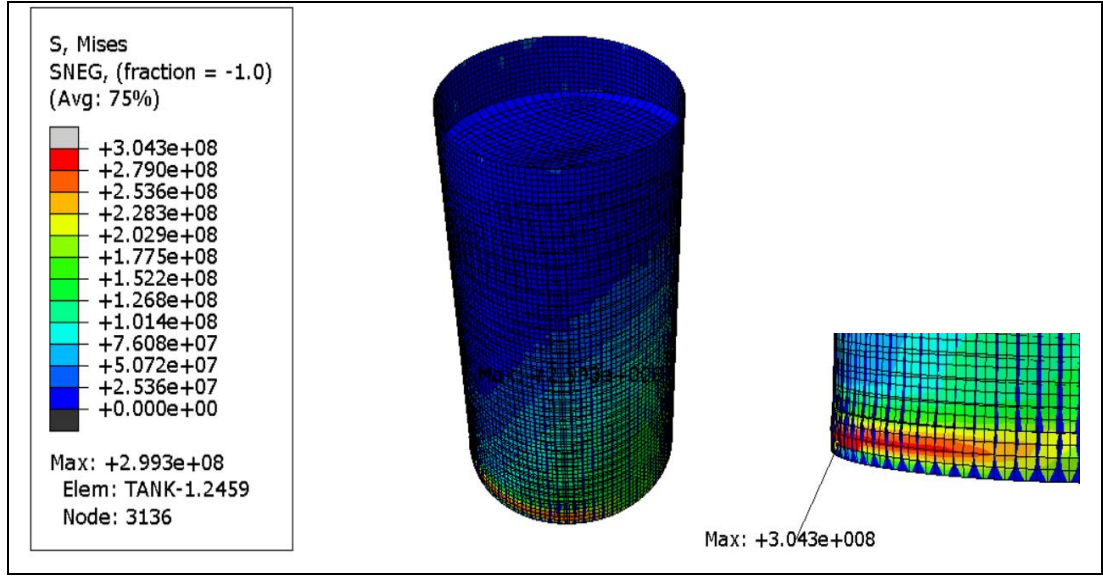
Şekil 4.11: Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



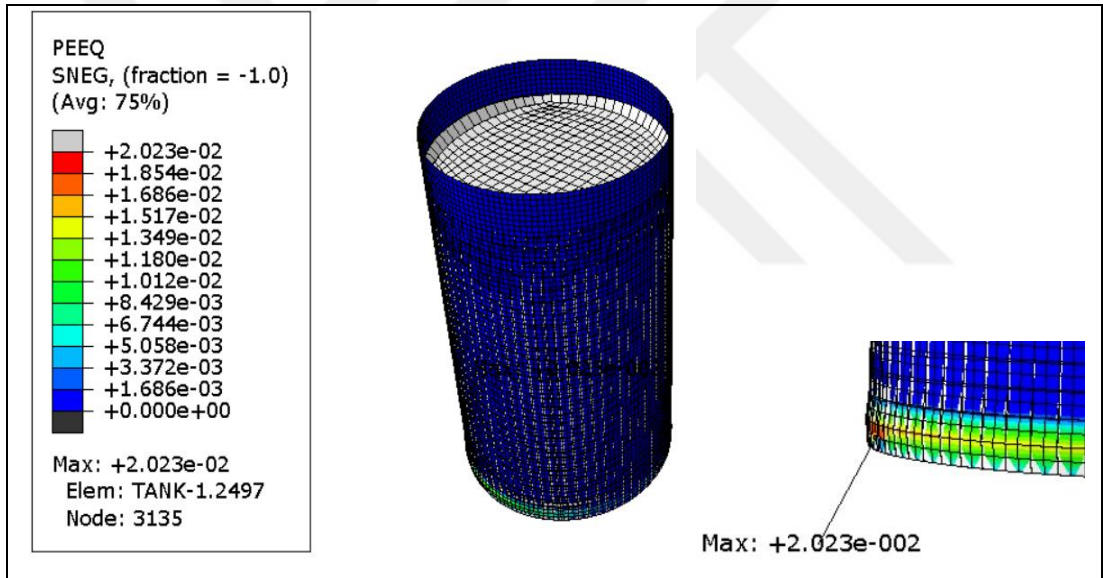
Şekil 4.12: Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



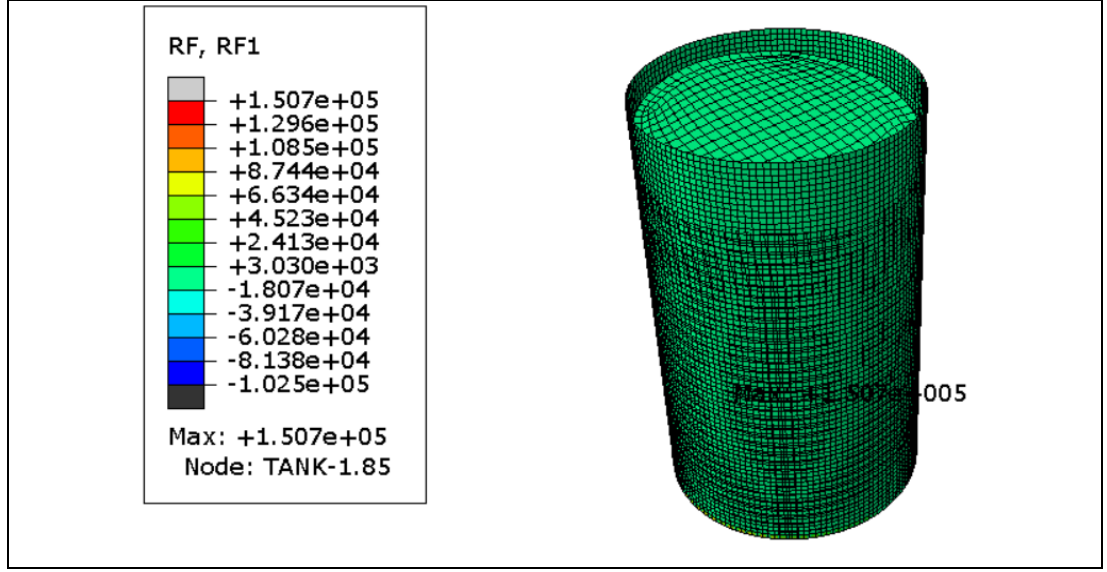
Şekil 4.13: Tank1 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



Şekil 4.14: Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen gerilme sonucu.

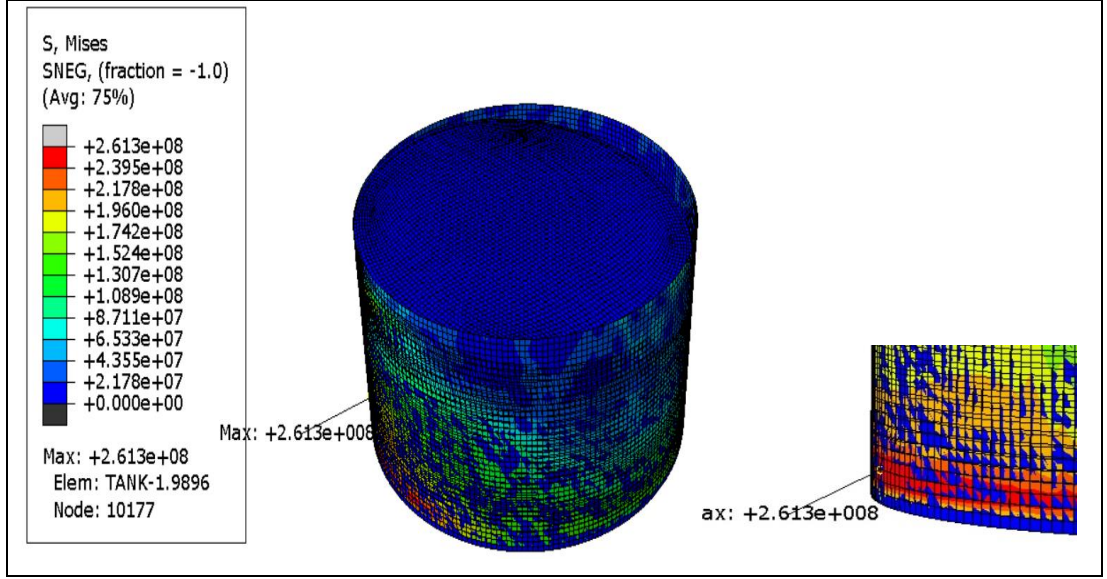


Şekil 4.15: Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.

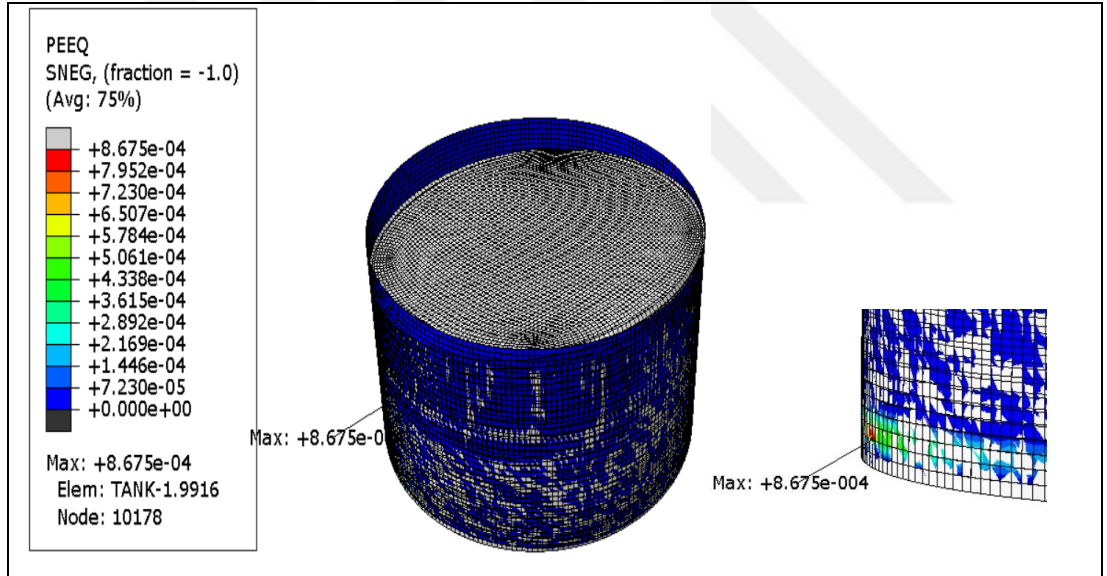


Şekil 4.16: Tank1 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.

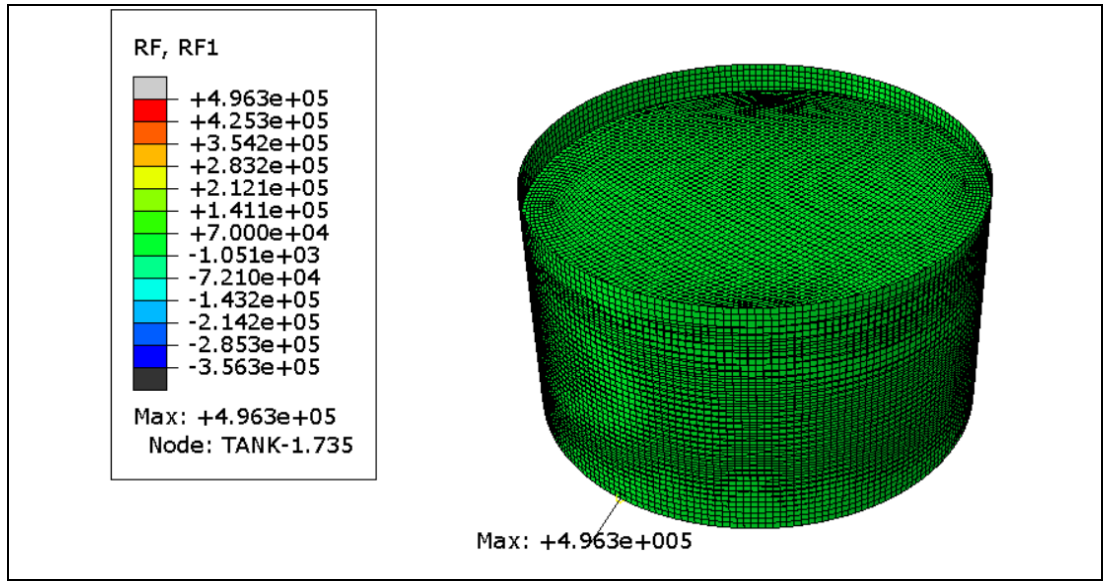
Tank1 modelinin analizlerinde depremin ivme değeri arttıkça plastik şekil değiştirme, gerilme ve taban kesme kuvveti değerleri artmaktadır. Özellikle plastik şekil değiştirme değerleri çelik tanklarda duvar performansı açısından önemlidir. Burada analizlerden görüleceği gibi 0.8g değerine sahip deprem kaydı ile yapılan analizde plastik şekil değiştirme değeri %2 mertebesine yükselmiştir. Bu durum da duvardaki hasarın artmasına ve daha da ilerlemesi ile duvarda yırtılmalara sebep olabilmektedir. Böylece depolanan sıvının dışarı sızması gerçekleşebilir ve herhangi bir etki ile yanma, tutuşma ve yangın, patlama gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple bu tür yapıların tasarımının detaylı biçimde yapılması gerekmektedir. Çalışmada göz önüne alınan diğer tank modelinin yarıçapı 13.5m'dir ve model Tank2 olarak tanımlanmıştır. Bu modelle ilgili sonuçlara ait görseller ise Şekil 4.16 ile 4.27'de verilmiştir.



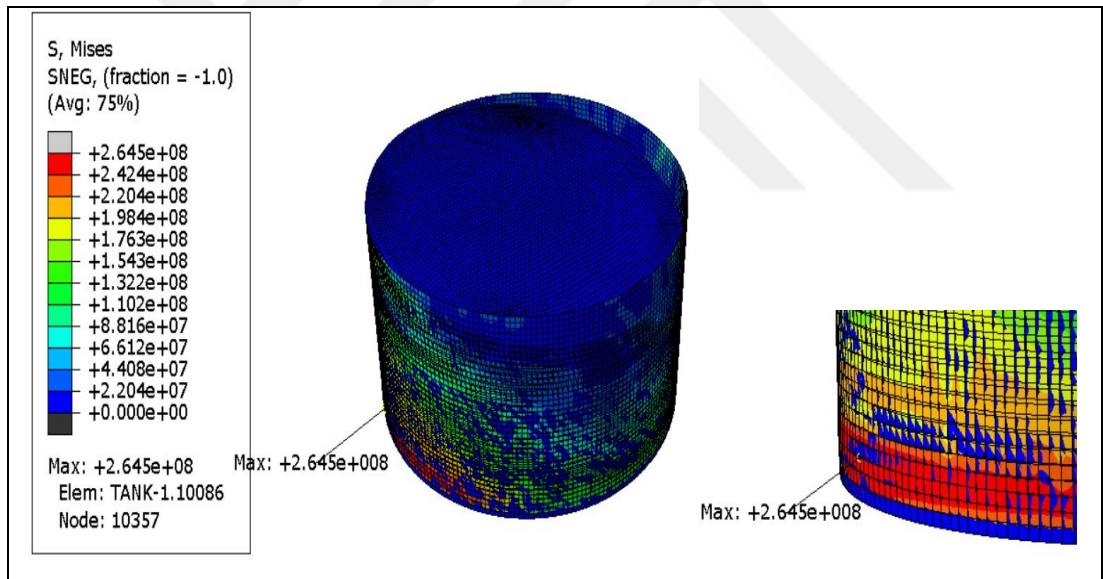
Şekil 4.17: Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



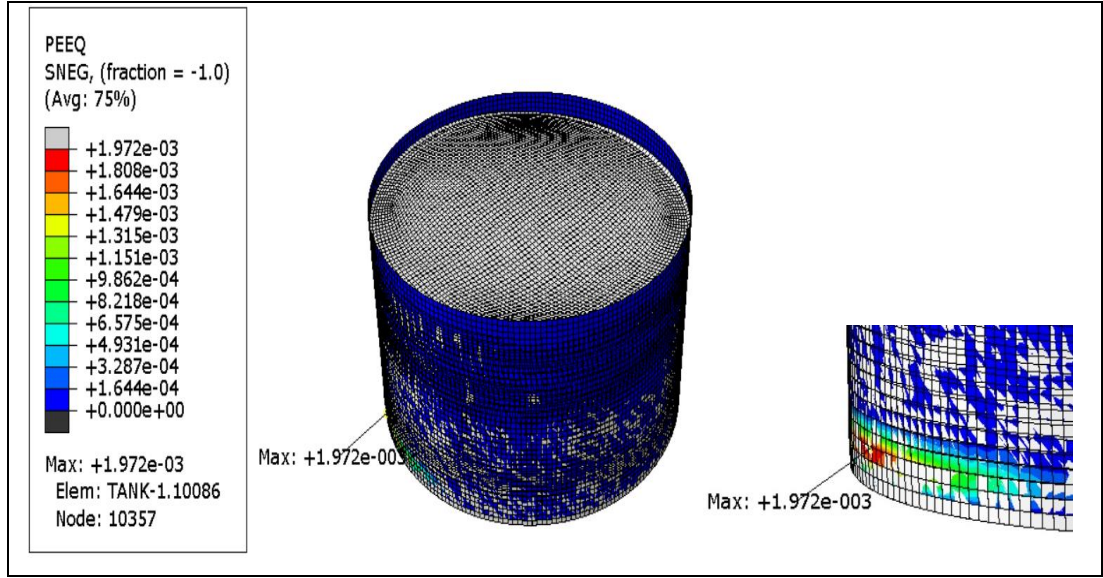
Şekil 4.18: Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



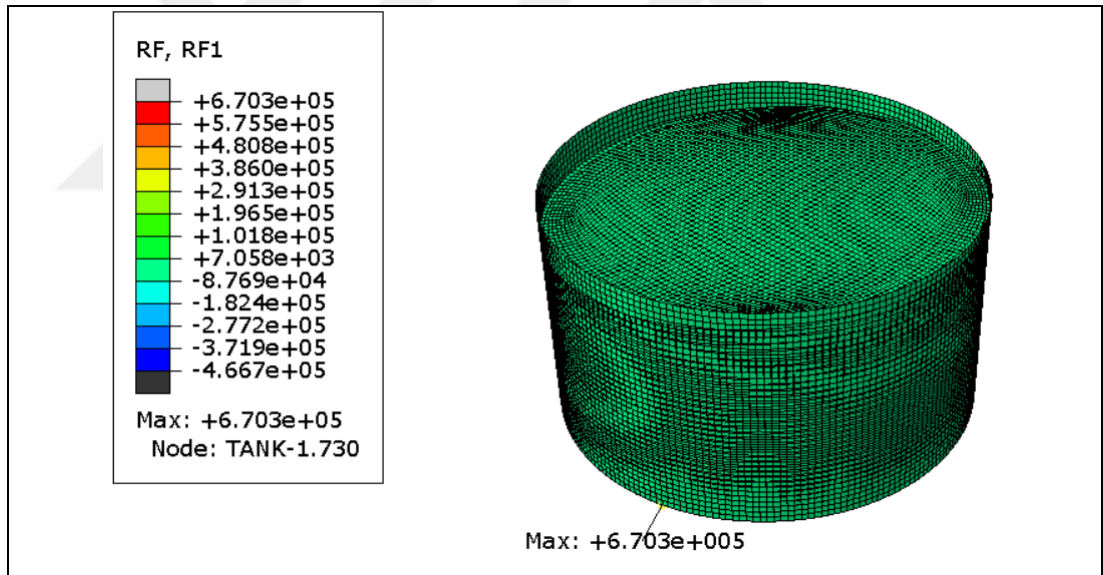
Şekil 4.19: Tank2 modelinin PGA=0.5g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



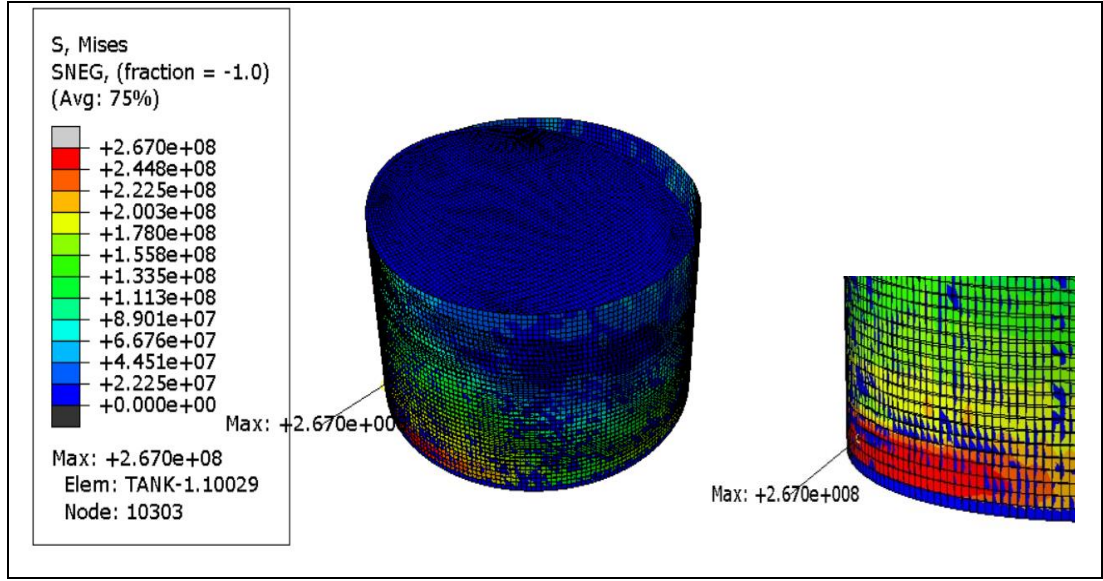
Şekil 4.20: Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



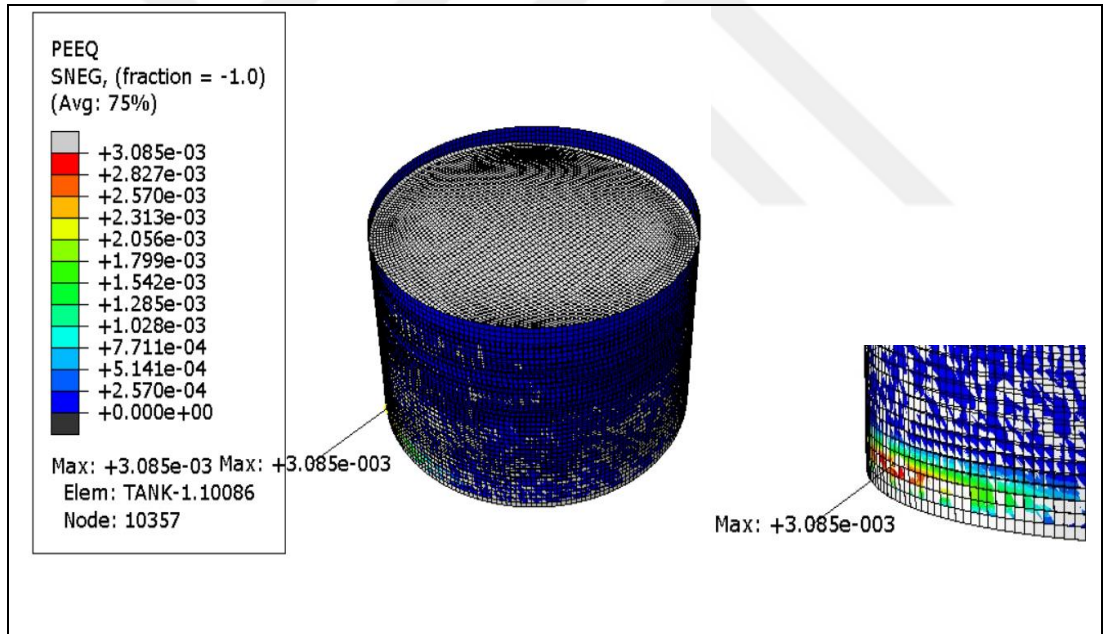
Şekil 4.21: Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



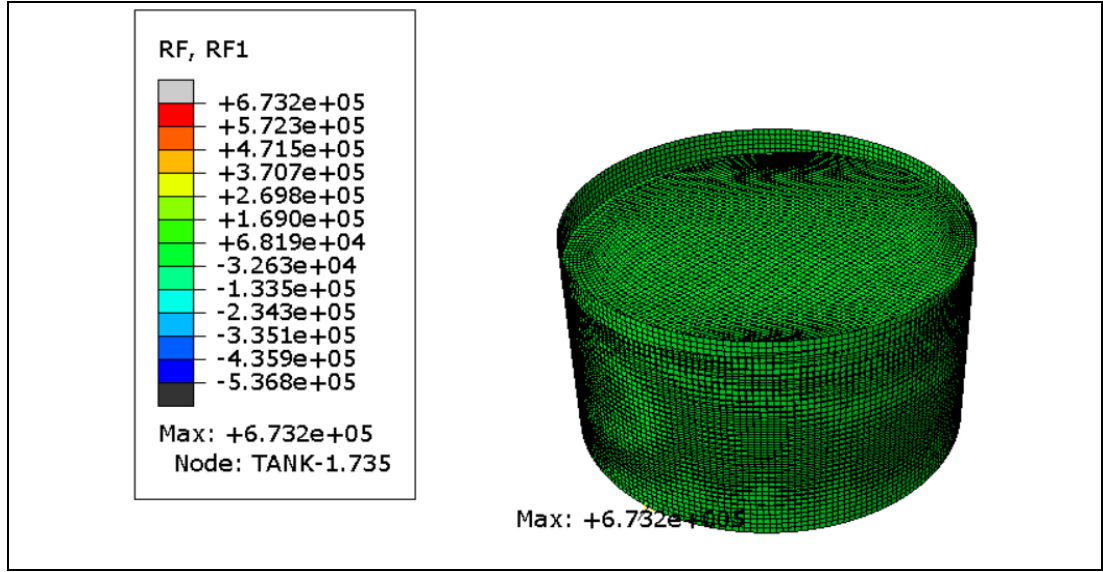
Şekil 4.22: Tank2 modelinin PGA=0.6g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



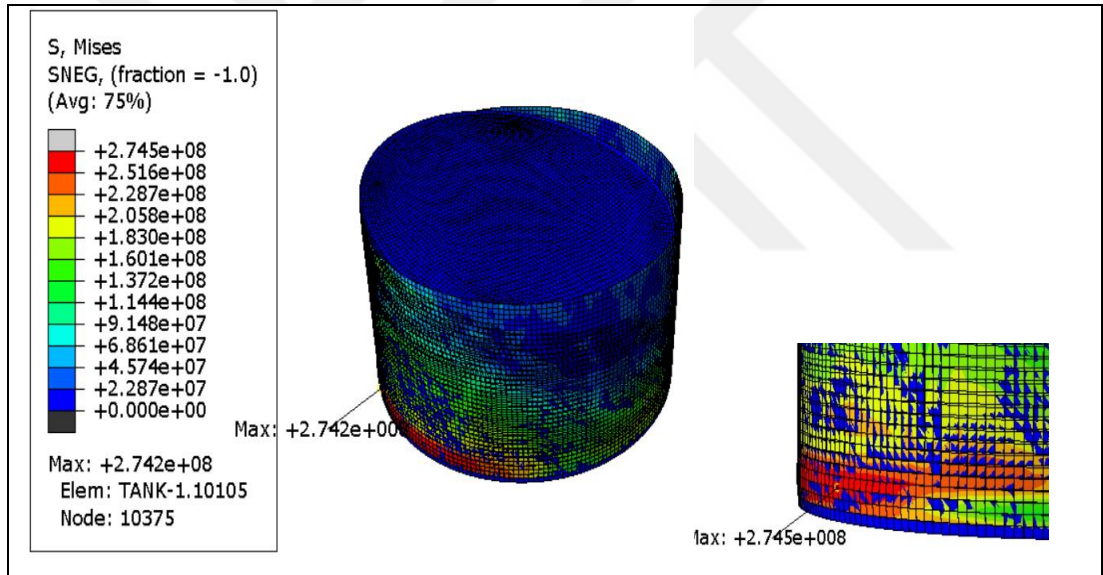
Şekil 4.23: Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen gerilme sonucu.



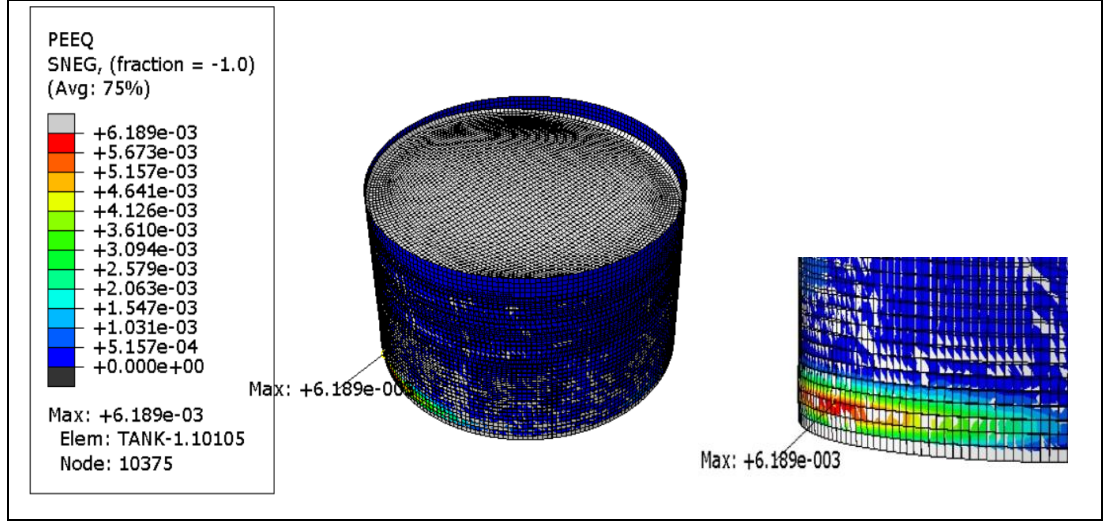
Şekil 4.24: Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.



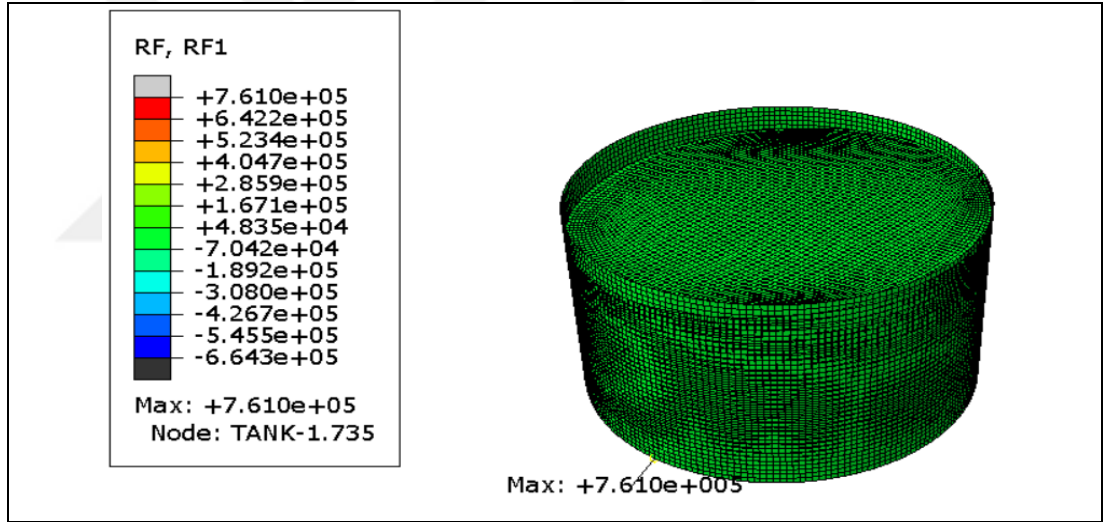
Şekil 4.25: Tank2 modelinin PGA=0.7g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.



Şekil 4.26: Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen gerilme sonucu.

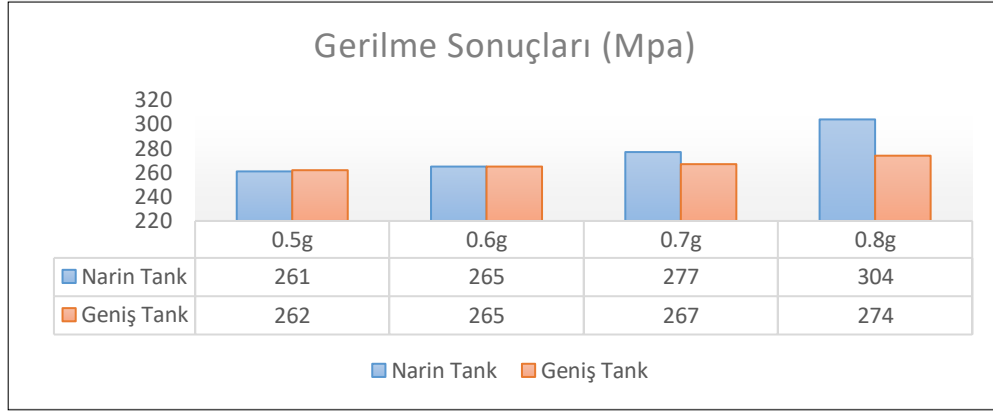


Şekil 4.27: Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen plastik şekil değiştirme sonucu.

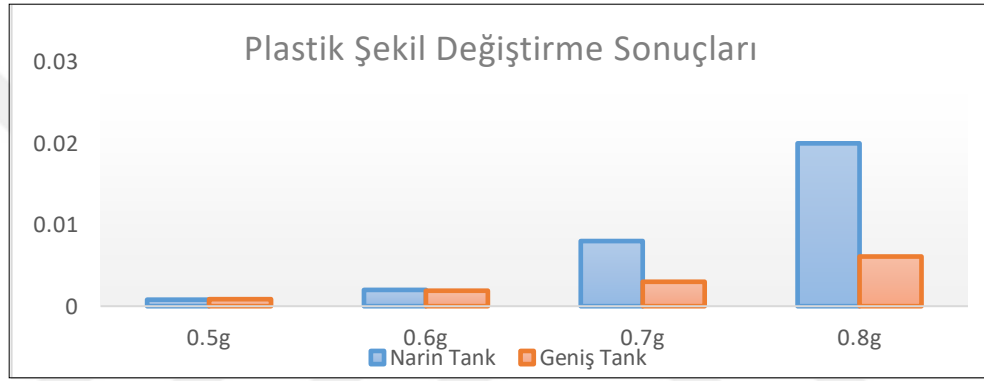


Şekil 4.28: Tank2 modelinin PGA=0.8g analizinden elde edilen taban kesme kuvveti sonucu.

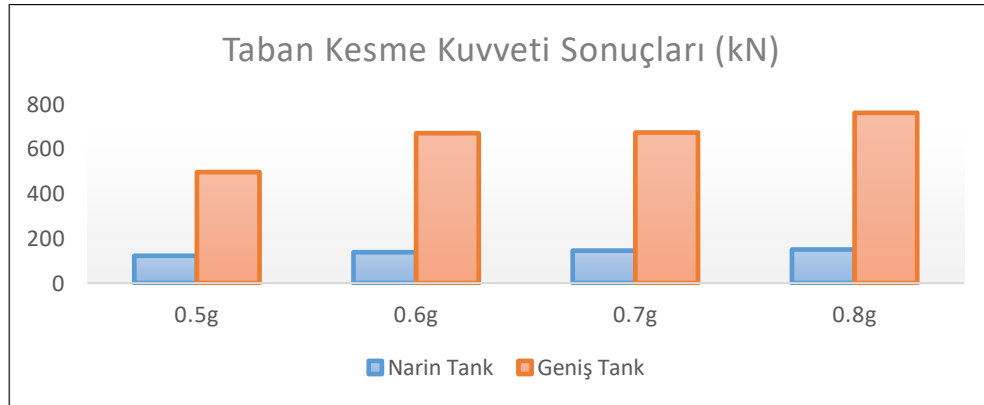
13.5m yarıçaplı tank modeliyle yapılan analiz sonuçlarından görüldüğü gibi depremin ivmesi arttıkça meydana gelen gerilmeler, taban kesme kuvveti, plastik şekil değiştirme değerleri artmaktadır. Özellikle taban kesme kuvvetindeki değerler ilk modelde elde edilen sonuçlara göre çok daha yüksektir. Bu şekilde geniş tanklarda sıvı çalkalanması (sloshing) etkisi daha belirgin olarak görünmektedir. Bu da sıvının açık tavandan taşmasına sebep olabilmektedir. Tank tasarımında bu tür etkilerin göz önüne alınması gerekmektedir.



Şekil 4.29: Narin ve geniş tank gerilme sonuçları.



Şekil 4.30: Narin ve geniş tank plastik şekil değiştirme sonuçları.



Şekil 4.31 Narin ve geniş tank taban kesme kuvveti sonuçları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geçmiş büyük depremlerde oluşan depolama tank hasar tipleri gösterilmiştir. 2018 yılında yürürlüğe giren Sıvı Depolama Tank Tasarım Yönetmeliği ve API-650 tank yönetmeliklerinin sismik bölümleri karşılaştırılarak deprem kuvvetleri değerleri hesaplanmıştır. Narin ve geniş iki tip ankrajlı depolama tankı Abaqus programında zaman tanım alanında ivme değerleri artırılarak elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuç ve öneriler aşağıda listelenmiştir.

- Çapı yüksekliğinden fazla olan ankrajlı tanklarda çalkalanma hareketi ile çatı üzerinden sıvının taşması, çatı hasarları, üst donam levhada hasarlar meydana gelmektedir. Yüksek ivmeli depremlerde şiddetli sarsıntılar meydana gelerek, Devinimsel (Convective) etkiler sebebiyle depolama tanklarının içerisindeki sıvının çalkalanması ve böylece tank duvarının hasar görmesi, ayrıca sıvının dışarı taşması yangın durumları meydana gelebilir. Bu duruma önlem olarak depolama tanklarının sabit çatılı olarak imal edilmesi veya mevcut açık tavanlı depolama tanklarının doluluk oranlarının dikkate alınması ve azaltılması önerilebilir. Çalkalanma sebebiyle oluşabilecek hasarların minimize edilmesi için dalga kırıcılar tasarlanabilir.
- Yüksekliği çapından fazla olan ankrajlı tanklarda ise devinimsel etkilerden ziyade zemin seviyesine yakın mesafelerde Darbesel (Impulsive) etkiler gerçekleşmesi sebebiyle ilk donam sac levhada fil ayağı oluşması, plastikleşme hasarları oluşmaktadır. Düşey harekette gerilmeler gözlemlenebilir.
- Depolama tankları tüm yapılar gibi deprem etkisine karşı hassas yapılardır. Geçmiş depremlerde depremin şiddetine göre meydana gelen duvar burkulması, fil ayağı hasar oluşumları analizlerde de karşılaşılan hasar türlerinden biridir.
- Literatürde yapıların deprem davranışının ilişkilendirildiği ve açıklandığı birçok yer hareketi şiddet ölçütü bulunmaktadır. Bunların içerisinde depremlerin PGA değeri depolama tanklarının deprem hasarları için iyi bir ölçüt olmuştur. PGA değerinin değişmesiyle analiz sonuçlarının değişiminin birbirleriyle uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

- Tank duvar kalınlığının da analiz sonuçlarına etkisi belirgin bir şekilde görülmüştür. Duvar kalınlığının deprem hareketi sırasında meydana gelebilecek hasarlara karşı direncinin yüksek olması için doğru biçimde hesap edilmesi ve tasarımının yapılması gerekmektedir.
- Sonlu eleman analizlerinde sıvının modellenmesinde farklı yaklaşımlar mevcuttur. Coupled Eulerian-Lagrangian (CEL) yaklaşımı ve Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) yöntemi gelecek çalışmalarda göz önüne alınabilecek yöntemler olarak belirtilebilir.
- API 650 ve Sıvı depolama tank tasarım yönetmeliği karşılaştığında performans düzeylerinde Sıvı depolama tank tasarım yönetmeliğinde daha gevrek bir davranış sergilenmesi beklenir. Fil ayağı gibi hasarlar gevrek kırılma kabul edilmektedir. API-650 tank sismik tasarımında ise ankrajlı tanklarda kullanılan R azaltma katsayısı ile sünek bir davranış beklenmektedir. API 650 yönetmeliğinde Fil ayağı gibi hasarlar sünek davranış olarak düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

API-650, (2020), Welded Tanks for Oil Storage. 13th Ed., API Publishing Services, Washington, D.C.

Cruz A. M., Suarez-Paba M. C., (2019), “Advances in Natech research: An overview”, progress in Disaster Science, 1 , 100013, Elsevier.

Erdik, M., (2000), “Report on 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes.”, Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering, 149-186.

Koseki H., Li X., Mannan M., (2012), “Damage to chemical and oil complexes following the 2011 Tohoku Earthquakes.”, Loss Prevention Bulletin 226, 12-15.

Krausmann E., Cruz A., (2013), “Impact of the 11 March 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry.”, Nat Hazards.

Lee S., Kim B., Lee Y., (2019), “Seismic fragility analysis of steel liquid storage tanks using earthquake ground motions recorded in Korea.”

Phan H., Paolacci F., (2016), “Efficient intensity measures for probabilistic seismic response analysis of anchored above ground liquid steel storage tanks.”

ResGaz 1, (2021), Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği, 7 Mart 2021 tarih ve 30474 sayılı Resmi Gazete.

Sari A., Korkmaz A., (2007), “Petrokimyasal tesislerindeki depolama tanklarının sismik davranışının değerlendirilmesi.”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.

Sezen H., Elwood K. J., Whittaker A. S., Mosalam K. M., Wallcae J. W., Stanton J.F., (2000), “Structural Engineering Reconnaissance of the August 17, 1999 Earthquake: Kocaeli (Izmit), Turkey”, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley, USA.

Tu Q., (2018), “Potential Hazards Of A Petrochemical Plant If Subjected To Seismic Activity”, Msc Thesis, Politecnico Di Torino.

ÖZGEÇMİŞ

Serdar DOĞANGÜNEŞ 2003 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında tamamladı. 2021 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Deprem Ve Yapı Mühendisliği programında başladı. 2018 yılından beri Gizil Enerji firmasında İnşaat Departman Yöneticisi olarak çalışmakta olan Serdar DOĞANGÜNEŞ evli ve bir erkek çocuğu babasıdır.



EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Dogangunes S., Akbas B., Uckan M. E. (2021), “Natech events risk assessments of industrials plants and structural design criteria based on international specs”, 6 th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology GTU Gebze, Kocaeli, Turkiye, 13-15 October.

