



## Effect of Imperfections in FEM Modelling on the Seismic Performance Assessment of Liquid Storage Tanks

Kayahan Akgul<sup>1</sup>, Ali Sari<sup>2</sup> and Cenk Alhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Istanbul, Turkey

ORCID: 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276, 0000-0002-6649-8409

### Keywords

Atmospheric Tank, 3D Laser Scan, Finite Element Method, Fluid-Structure Interaction, SPH Modelling

### Highlights

- \* Influence of imperfection in Finite Element Method (FEM) modelling
- \* Fluid-Structure Interaction (FSI) modelling with SPH technique
- \* Seismic performance evaluation of atmospheric tanks

### Acknowledgements

--

### Aim

Evaluate influence of imperfections in fem modelling of seismic performance assessment

### Location

--

### Methods

Fluid-structure interaction (FSI) algorithms with SPH technique

### Results

Influence of imperfection in FEM modelling should be ignore in terms of seismic failure mechanism

### Supporting Institutions

--

### Manuscript

Research Article

Received: 27.09.2021

Revised: 10.11.2021

Accepted: 11.11.2021

Printed: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.1001504

### Corresponding Author

Kayahan Akgul

Email: kayahanakgul@gmail.com

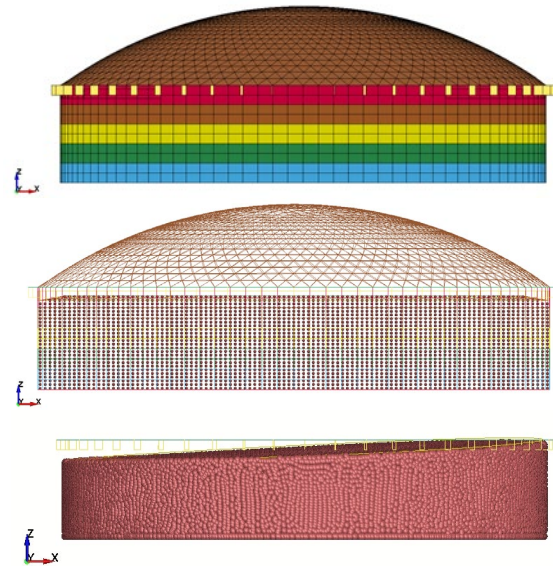


Figure  
Fluid-Structure Interaction of FEM

### How to cite

Akgul K., Sari A., Alhan C., 2021. Influence of Imperfections in FEM Modelling of Seismic Performance Assessment, Turk. J. Earthq. Res. 3 (2), 110-124, <https://doi.org/10.46464/tdad.1001504>



## Sonlu Elemanlar Modeli Anomaliliklerinin Sıvı Depolama Tanklarının Sismik Performans Değerlendirmesine Etkisi

Kayahan Akgül<sup>1</sup>, Ali Sarı<sup>2</sup> ve Cenk Alhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ORCID: 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276, 0000-0002-6649-8409

### ÖZET

Tank-sıvı etkileşiminin doğrusal olmayan (nonlineer) davranış kaynaklarını göz önüne alabilen sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak, sıvı ihtiva eden üç boyutlu atmosferik tankların deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Sayısal analiz modeli hem tasarım çizim verileri hem de üç boyutlu (3D) Lazer Tarama sonucu elde edilen nokta bulut verileri ile hazırlanmıştır. Sismik performans değerlendirmesi her iki farklı model tipi için üç doğrultulu zaman tanım alanı analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Yapı-sıvı etkileşimi SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) metodu tekniği ile modellenmiştir. Sismik analizlerde deprem yer hareketleri fay mesafelerinin yakınlığı ve kayıt frekans muhtevasına göre seçilmiştir. İki farklı modelleme yaklaşımının karşılaştırılması sismik hasar mekanizmaları üzerinden değerlendirilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Atmosferik Tank, 3D Lazer Taraması, Sonlu Elemanlar Metodu, Yapı-Sıvı Etkileşimi, SPH Modelleme

### Öne Çıkanlar

- \* Geometri anomalilerinin sonlu elemanlar modeline yansıtılması
- \* Yapı-sıvı etkileşiminin SPH tekniği ile modellenmesi
- \* Atmosferik tankların sismik performans değerlendirilmesi

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.09.2021

Düzeltilme: 10.11.2021

Kabul: 11.11.2021

Basım: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.1001504

### Sorumlu yazar

Kayahan Akgül

Eposta:

kayahanakgul@gmail.com

## Effect of Imperfections in FEM Modelling on the Seismic Performance Assessment of Liquid Storage Tanks

Kayahan Akgül<sup>1</sup>, Ali Sarı<sup>2</sup> and Cenk Alhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Istanbul University-Cerrahpasa, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Istanbul, Turkey

ORCID: 0000-0001-7116-529X, 0000-0002-6888-1276, 0000-0002-6649-8409

### ABSTRACT

Fluid-structure interaction (FSI) algorithms of the finite element method (FEM) is employed to evaluate the seismic response of three dimensional (3D) atmospheric tanks containing fluid under seismic loading by taking into account sources of nonlinearity of tanks. Numerical analysis model was generated both design drawing data and point cloud data obtained from 3D Laser Scan Process. All FEA Model was analysed and evaluated by performing dynamic time-history analysis under multi-dimensional. Fluid-structure interaction (FSI) was modelled with SPH technique. 5 pairs of horizontal ground motion time history components (two horizontal components for each ground motion record orthogonal to each other and vertical ground motion) was selected complying with near fault distance and frequency content of motion. Influence of imperfection in FEM modelling was evaluated in terms of seismic failure mechanism.

### Keywords

Atmospheric Tank, 3D Laser Scan, Finite Element Method, Fluid-Structure Interaction, SPH Modelling

### Highlights

- \* Influence of geometrical imperfection in Finite Element Method (FEM) modelling
- \* Fluid-Structure Interaction (FSI) modelling with SPH technique
- \* Seismic performance evaluation of atmospheric tanks

### Manuscript

Research Article

Received: 27.09.2021

Revised: 10.11.2021

Accepted: 11.11.2021

Printed: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.1001504

### Corresponding Author

Kayahan Akgül

Email:

kayahanakgul@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Türkiye gibi sismik aktivitesi yüksek olan bölgelerde en önemli tehlikelerden bir tanesi depremdir. Deprem etkisi göz önüne alınmamış tesisler için yapılan her risk analizi eksik veya yanlış olacaktır. Geçmişte gözlenen büyük depremler esnasında, sıvı ihtiva eden tanklarda, rezervuarlarda, su alma kulelerinde ve nükleer yapılarda büyük hasarların oluşması, tankların deprem performanslarının değerlendirilmesini yeniden gündeme getirmiştir. Kuvvetli yer hareketi esnasında atmosferik tanklarda sıklıkla görülen hasar mekanizmaları aşağıda sıralanmıştır:

- Fil ayağı burkulması
- Elmas şekil burkulması
- Sıvı serbest yüzeyinde büyük genlikli çalkalanmaların oluşması (sloshing effect)
- Boru bağlantı hasarları
- Tank cidarının burkulması ve büyük genlikli şekil değiştirmesi
- Çatı hasarları
- Kaynak / civata bağlantılarının kopması
- Korozyon
- Tank temelinde oluşan farklı oturmalarından kaynaklı oluşan hasarlar
- Tank içeriğindeki ani boşalma sonucunda oluşan negatif basınç ve patlama

Sıvı ihtiva eden tankların dinamik yüklemeler (tekrarlı) altındaki davranışlarının incelenmesi pek çok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Yapı-sıvı etkileşimi konusunda yapılan ilk çalışma Westergaard (1931) tarafından barajlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Housner (1954; 1957; 1963) değişik geometrilere sahip tanklarda, yatay yükler altında oluşan hidrodinamik etkileri incelemek için kısmi diferansiyel denklemler ve seriler içermeyen yaklaşık bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Tankların sismik analizi için hazırlanan API 650 (2018) şartnamesinin temeli, Housner'in 1954 yılında gerçek sıvı akış davranışını basitleştirerek oluşturduğu bu hesaplama işlemine dayanmaktadır. Sismik performans değerlendirme yönteminin temellerinin oluşturulmasının ardından birçok araştırmacı konu üzerinde çalışmıştır (Yang ve Veletsos 1977, Haroun ve Housner 1981, Malhotra ve diğ. 2000, Ozdemir, 2010).

Bu çalışmada tank-sıvı etkileşiminin doğrusal olmayan (nonlinear) davranış kaynaklarını göz önüne alabilen sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak sıvı ihtiva eden üç boyutlu atmosferik tankların, deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analiz modeli hazırlanırken ideal geometri için tasarıma esas olan çizim verileri kullanılabilir. Ancak diğer taraftan tesis içerisinde kullanıma devam eden mevcut tank geometrisinde; tank duvarındaki deformasyonlar, tank yuvarlaklığının bozulması (out-of-roundness effects) ve kalıcı deformasyonlar gibi etkenlerden dolayı anomaliler oluşabilir. Sonlu elemanlar modeline tüm bu etkilerin yansıtılması üç boyutlu (3D) Lazer Taraması ile mümkündür. Sayısal analiz modeline, işlenmiş nokta bulut verileri kullanılarak mevcut geometrinin tüm anomalileri aktarılabilir.

3D lazer tarama, objelerin özel ışık yardımıyla nokta bulutları oluşturularak dijitalleştirilmesi teknolojisidir. Fiziksel bir objenin tüm geometrik özelliklerinin üç boyutlu olarak bilgisayara ortamına aktarılması işlemlerini kapsamaktadır (3D Lazer Scan Process). Tarama işlemi sonucu obje (atmosferik tank) bilgisayar ortamında milyonlarca nokta bulutu olarak kaydedilmektedir. Atmosferik tank nokta bulutu, ilk olarak herhangi bir kayıt hatasına karşı modelleme doğruluğunu etkilememesi için kontrol edilir. Verilerin kalitesi ve doğruluğu onaylandıktan sonra, örtüşen noktaları engellemek ve birçok nokta yerine tek bir nokta bulutu oluşturmak için işlenir. Birleştirilmiş veriler üzerinden belirli yüzeydeki tüm deformasyonları

temsil eden eşdeğer ağ modeli ile katı model hazırlanır. Ardından bu model, sonlu elemanlar ağında bölünerek sayısal analiz modeli oluşturulur.

Atmosferik tanklar çatı türlerine göre sabit veya koni çatılı tank, üstü açık içte yüzen çatılı tank ve üstü sabit çatılı içte yüzen çatılı tank olarak gruplandırılabilir. Yanıcı sıvılar genelde büyük konik çatılı tanklarda, daha düşük basınçlı, düşey veya yatay tanklarda veya yer altı tanklarında depolanır. Bu çalışma kapsamında içte yüzen tavana (floating roof) sahip sabit çatılı sistem kullanılmıştır.

## 2. YÖNTEM

LS-Dyna R11.0 (2017), yapı-sıvı ve yapı-zemin etkileşimleri de dâhil olmak üzere, çeşitli türdeki dinamik mühendislik problemleri için başarıyla kullanılabilen dolaylı (explicit) sonlu elemanlar yazılımıdır. Bu çalışmada, yüksek derecedeki esnekliği ve doğrusal elastik olmayan davranışlarının modellenenime başarısından ötürü LS-Dyna, sayısal analiz platformu olarak seçilmiştir. Ayrıca, mevcut malzeme modellerinin çeşitliliği ve sıvı, yapı malzemelerinin şekil değiştirme oranı hassaslığı (strain rate sensitivity) da modellenenilmektedir. Yapı-sıvı etkileşimi problemlerinin çözümü için, Lagrange, Euler, ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) ve SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) yöntemleri bulunmaktadır. Diğer yöntemlere olan üstünlüklerinden ötürü, bu çalışmada, tankların sismik performans analizlerinde SPH metodu tercih edilmiştir.

SPH metodu, sonlu elemanlar analizinde katı-sıvı etkileşiminde kullanılan metotlardan birisidir. Bu metot esas olarak 1977 yılında astrofizik problemleri çözmek için geliştirilmiştir. SPH yöntemi, 90'lı yılların ortalarından itibaren (Monaghan 1994) serbest su yüzeyli akış problemlerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Yöntem, Kernel fonksiyonu kullanarak akışkanın fiziksel davranışını bir interpolasyon üzerinden tanımlamaktadır. Her bir parçacığın fiziksel özellikleri (yoğunluk, basınç, hız, vb.) her zaman adımında güncellenmekte ve böylece her bir parçacığın fiziksel özelliklerinin zamana göre değişimi anlık olarak takip edilebilmektedir (Özbulut 2019).

SPH metodu, sonlu elemanlar ağına sahip olmayan (meshless) bir metottur. Sonlu elemanlar ağında tanımlı ve düğüm noktalarıyla birbirine bağlanmış elemanlar yoktur. Model nokta bulut sistemini temsil eden partiküllerden teşkil edilmektedir. SPH metodunun en önemli dezavantajı ise analiz süresinin yüksek olmasıdır. Bu çalışma kapsamında yapı-sıvı etkileşimi SPH metodu ile modellenip yapısal sistem performansı değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında (Akgül 2021) endüstriyel tesis içerisinde aktif faaliyet gösteren bir atmosferik tankın sismik performans analizi yapılmıştır. Sayısal analiz modeli hem tasarım çizim verileri (Ideal Perfect Model) hem de 3D Lazer Tarama verileri ile hazırlanmıştır. İki farklı modelleme yaklaşımının karşılaştırılması sismik hasar mekanizmaları üzerinden değerlendirilmiştir.

## 3. VERİ

Tank-sıvı etkileşiminin bütün doğrusal olmayan davranış kaynaklarını göz önüne alabilen sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanan LS-Dyna yazılımı ile sıvı ihtiva eden üç boyutlu atmosferik tankların, deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Tank ve sıvının malzeme özellikleri için gerçek değerler kullanılmıştır.

### 3.1) Tank Geometrilerinin Hazırlanması

Çalışma kapsamında kullanılan analiz modeli için; geçmişteki büyük depremlerin etkisi altında hasar mekanizmaları gözlemlenen tank tipleri (tank yüksekliği, çapı ve çatı tipi) incelenmiştir (NIST GCR 97-720, D'Amico ve Buratti 2019). Seçilen tank geometrisine ait özellikler aşağıda sunulmuştur:

- Yükseklik : 10.50 m
- Çap : 52.50 m
- Doluluk Oranı: %90
- Çatı Tipi : İçte Yüzer Tavan + Sabit Çatı

API 650 (2018) yönetmeliği ile uyumlu olarak kullanılan duvar kalınlıkları Tablo 1'de sunulmuştur. Tank duvarı, yüksekliği boyunca 5 farklı donamdan teşkil edilmiştir. Kuvvetli yer hareketi altında atmosferik tanklarda sıklıkla görülen hasar mekanizmalarının çoğunluğu; tank duvarında oluşan korozyon etkisiyle kalınlığın azalmasından veya geçmiş yönetmeliklerdeki duvar kalınlık koşullarının sismik tasarım açısından yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm bu etkilerin analiz modeline yansıtılabilmesi için 3 farklı kalınlık tasarımı dikkate alınmıştır (Tablo 1).

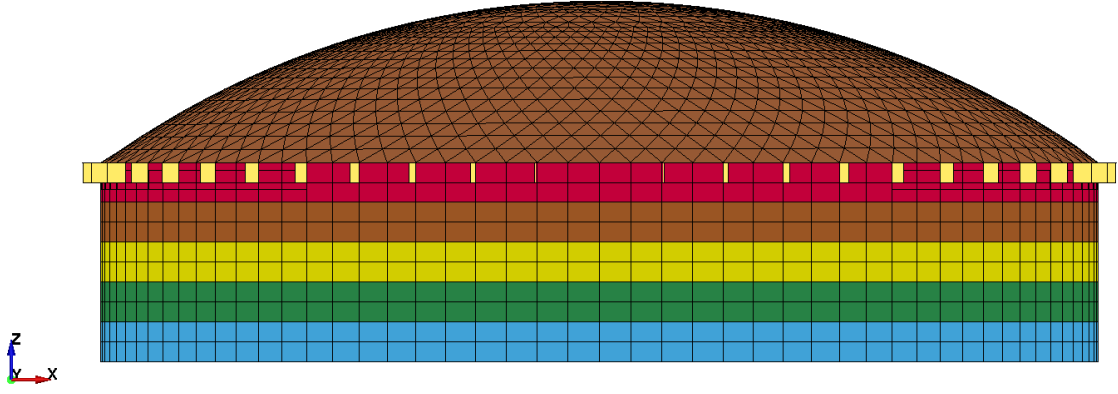
Tablo 1: Tank Duvar Kalınlıkları

Eleman Tipi	Kalınlık-A [mm]	Kalınlık-B [mm]	Kalınlık-C [mm]
1. Donam	20.0	17.0	14.0
2. Donam	17.5	14.9	12.3
3. Donam	15.0	12.8	10.5
4. Donam	10.0	8.5	7.0
5. Donam	8.0	6.8	5.6

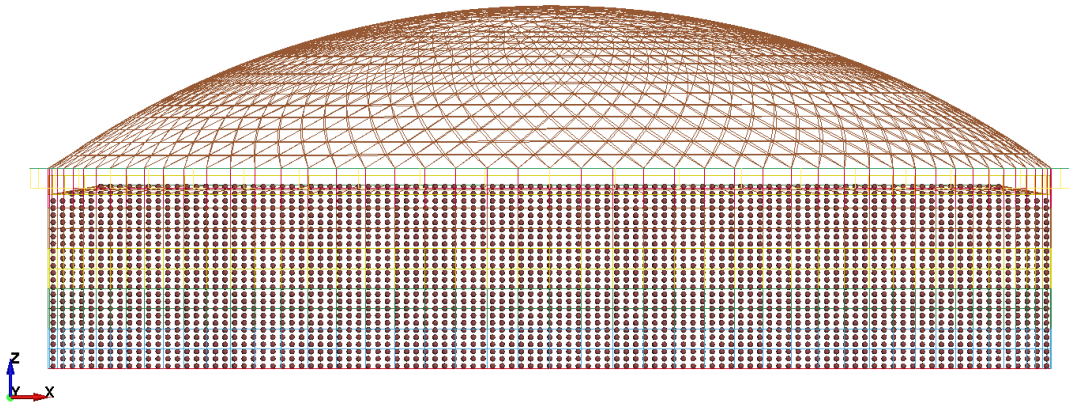
LS-Dyna ortamında çizim verileri kullanılarak hazırlanan sonlu elemanlar modeli Şekil 1'de sunulmuştur. Yapı-sıvı etkileşiminde kullanılan SPH partikülleri Şekil 2'de sunulmaktadır. Sayısal analiz modelinden tüm doğrusal olmayan etkileri yakalayabilmek adına sıvı modeli için 223172 adet SPH partikül kullanılmıştır. Benzer şekilde LS-Dyna ortamında 3D Lazer Tarama nokta bulut verileri kullanılarak diğer sonlu elemanlar modeli hazırlanmıştır. Tablo 2, sonlu elemanlar sistemi içerisinde yer alan elemanların boyutunu göstermektedir.

Tablo 2: Analiz Modeli Sonlu Eleman Boyutları

Eleman Tipi	Maksimum Boyut [m]	Minimum Boyut [m]
Tank Tabanı	2.97	1.00
Tank Duvarı	1.65	1.05
Yüzer Çatı	2.97	1.00
Sabit Çatı	1.93	0.60

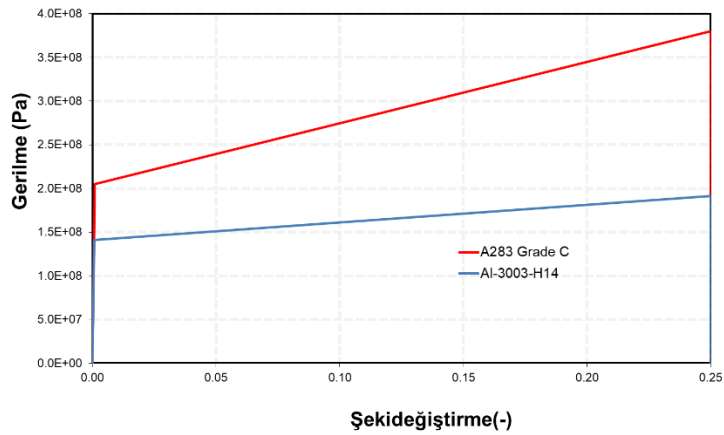


Şekil 1: Sayısal Analiz Modeli



Şekil 2: Sayısal Analiz Modeli Yapı-Sıvı Etkileşimi

Sonlu elemanlar ağı içerisinde yer alan kabuk (shell) elemanlar için doğrusal olmayan malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model LS-Dyna ortamında \*Mat\_Piecewise\_Plasticity kartı aracılığıyla kullanılmıştır. Tank sisteminde tüm çelik elemanlar için A283 Grade C kullanılırken çatı sistemi için alüminyum malzeme kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi

Bu çalışma kapsamında kullanılan sayısal analiz modelleri Tablo 3'te özetlenmiştir. 3 farklı kalınlık tasarımı ve 2 farklı geometrik model referansı olmak üzere 6 farklı model incelenmiştir.

Tablo 3: Sayısal Analiz Modelleri

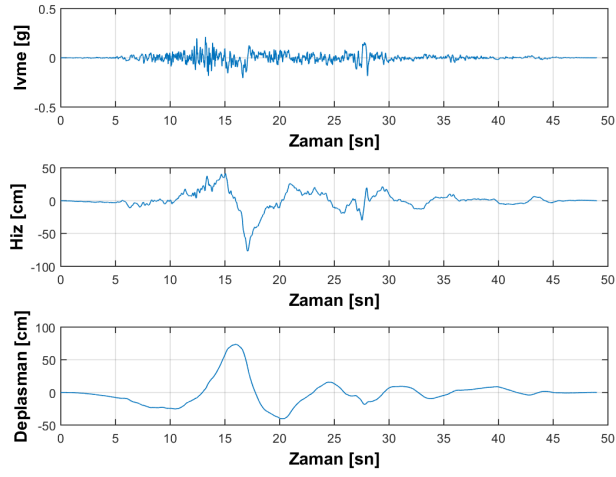
Model Adı	Geometri	Kalınlık Kategorisi
M1-KA	İdeal	A
M1-KB	İdeal	B
M1-KC	İdeal	C
M2-KA	3D Lazer	A
M2-KB	3D Lazer	B
M2-KC	3D Lazer	C

### 3.2) Deprem Yer Hareketlerinin Seçimi

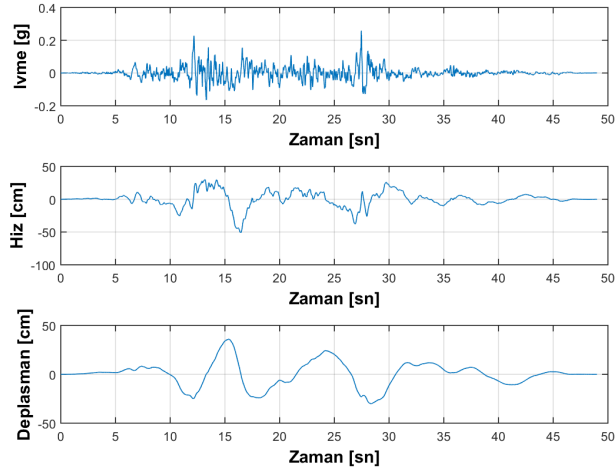
Zaman tanım alanı analizlerinde kullanılan deprem yer hareketlerinin seçimi; depremlerin büyüklükleri, fay mesafeleri ve kaynak mekanizmaları dikkate alınarak yapılmıştır (Tablo 4). Faya yakın mesafelerde elde edilen kayıtlarda büyük bir genliğe ve periyoda sahip ani sıçrama (yakın fay etkisi) tepkisi gözlenmektedir. Üç doğrultulu zaman tanım alanı analizlerinde, toplam beş farklı kuvvetli yer hareketi seçilmiştir (her kayıt için birbirine dik iki yatay bileşen (X, Y) ve düşey bileşen (Z)). Yakın saha karakteristiği gösteren kayıtlar için Gazi ve Alhan (2019) çalışmasından yararlanılmıştır. Kuvvetli yer hareketleri için herhangi bir ölçeklendirme prosedürü uygulanmamıştır. Atmosferik tankların sismik performansları; farklı PGA (en büyük yer ivmesi),  $M_w$  ve frekans muhtevasına sahip deprem yer hareketleri etkisi altında hasar mekanizmaları incelenerek değerlendirilmiştir. Şekil 4'te örnek olarak verilen deprem bileşenlerinden hız-zaman grafiği incelendiğinde ani sıçrama (pulse) görülmektedir. Deprem yer hareketlerine ait spektral ivme grafikleri üç doğrultu için Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 4: Deprem Yer Hareketi (PGA: En büyük yer ivmesi değeri, PGV: En yüksek hız değeri, PGD: En büyük yer değiştirme değeri)

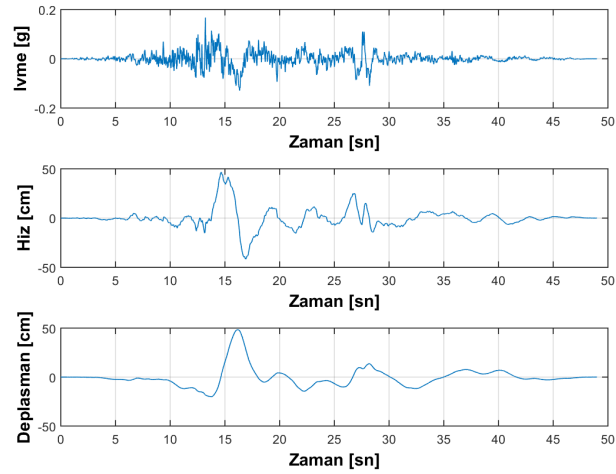
Analiz Adı	Deprem Adı	İstasyon	Yıl	$M_w$	r [km]	Fay Tipi	Bileşen	PGA [g]	PGV [cm/sn]	PGD [cm]
EQ01	ChiChi	TCU101	1999	7.62	2.11	Reverse Oblique	X	0.21	76.81	73.51
							Y	0.26	50.98	35.95
							Z	0.17	46.70	48.37
EQ02	Kocaeli	Gebze	1999	7.51	10.92	Strike Slip	X	0.26	44.67	41.41
							Y	0.14	32.61	29.91
							Z	0.19	14.11	5.65
EQ03	Kocaeli	Duzce	1999	7.51	15.37	Strike Slip	X	0.31	58.87	44.14
							Y	0.36	55.65	24.87
							Z	0.21	21.12	14.17
EQ04	Japonya	Iwate	208	6.9	6.02	Reverse	X	1.07	42.91	18.47
							Y	0.90	58.44	20.84
							Z	0.95	27.71	11.87
EQ05	San Fernando	Pacoima Dam	1971	6.61	1.81	Reverse	X	1.24	57.42	12.79
							Y	1.22	114.51	39.00
							Z	0.69	59.39	29.32



(X)



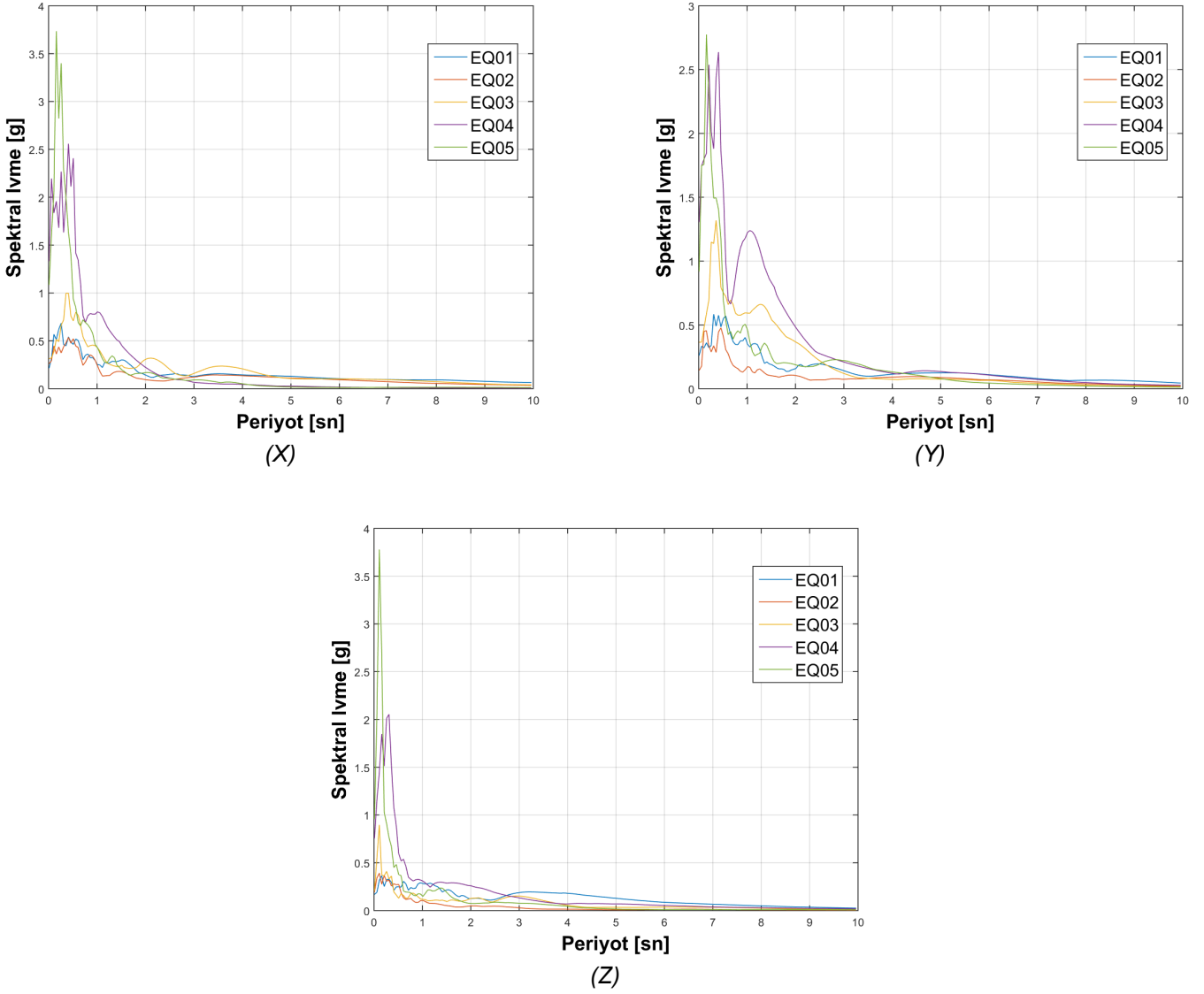
(Y)



(Z)

Şekil 4: Deprem Yer Hareketi Bileşenleri-EQ01



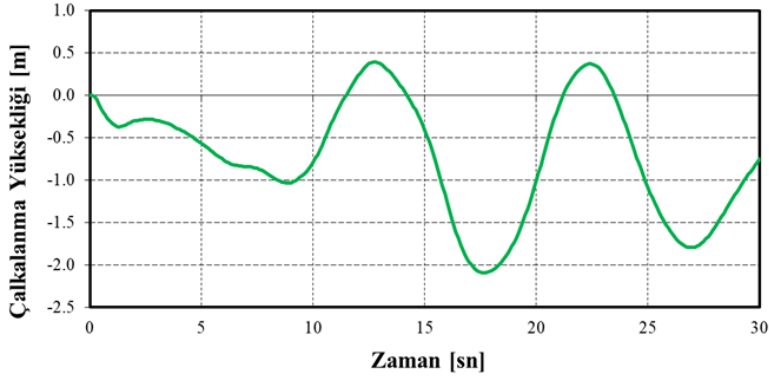


Şekil 5: Deprem Yer Hareketleri için Spektral İvme Grafikleri

#### 4. BULGULAR

Atmosferik tankların, tank-sıvı etkileşiminin doğrusal olmayan davranış kaynaklarını SPH tekniği ile göz önüne alabilen sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak sismik yükler altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir. Yerçekimi yükleri ve bu yüklerin tank duvarına oluşturduğu hidrostatik basınçların tank sistemine uygulanmasının ardından sonlu eleman modeline zaman tanım alanında sismik yükler uygulanmıştır.

Tank-sıvı etkileşimi içerisinde; büyük deformasyona sahip serbest sıvı yüzeyindeki çalkalanma hareketinin doğru bir şekilde yakalanması en büyük zorluklardandır. SPH tekniği ile çalkalanma hareketi sorununun önüne geçilmektedir. Şekil 6, M1-KA tank tipi için serbest sıvı yüzeyindeki düşey yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimini göstermektedir.



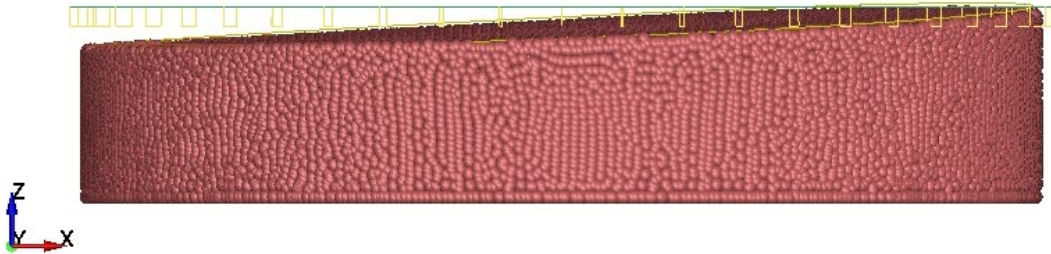
Şekil 6: M1-KA Modeli Sıvı Serbest Yüzey Hareketi-EQ01

Tablo 5, farklı yönetmeliklerde yer alan bağıntılara göre hesaplanan çalkalanma periyotlarını (convective period) göstermektedir. Çalkalanma hareketi periyodunun verilen analitik bağıntılar yardımıyla elde edilen değerler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5: Çalkalanma Periyotları ( $T_c$ )

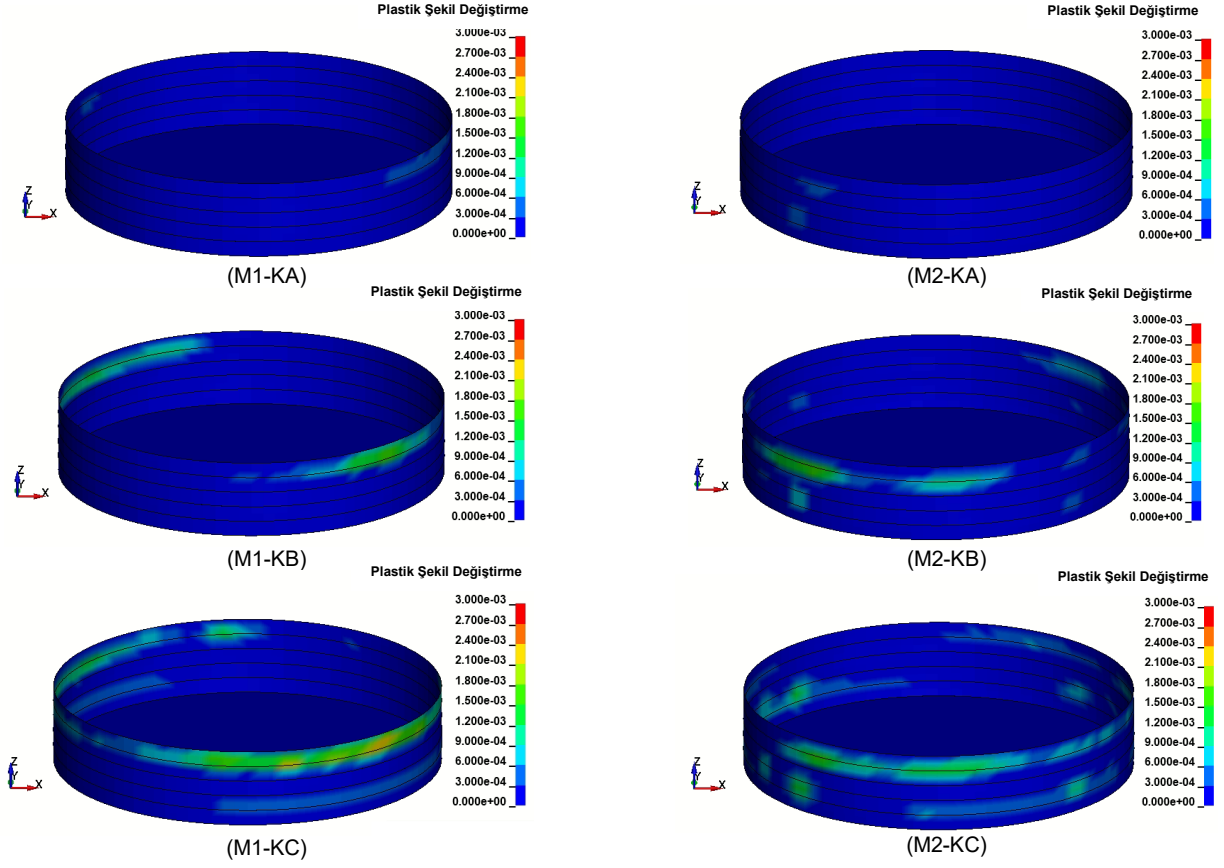
Yönetmelik	$T_c$ [sn]
API-650	9.89
Eurocode 8 (Yang ve Veletsos 1977)	9.94
Eurocode 8 (Malhotra ve diğ. 2000)	9.22
<b>Ortalama</b>	9.69
<b>Sayısal Model</b>	9.625

İncelenen atmosferik tank tipleri için çalkalanma fenomeninden kaynaklı önemli bir seviyede yapısal hasar ve sıvı çıkışı oluşmamaktadır. Çalkalanma hareketi farklı M1-KA tank modeli için sunulmuştur. Tüm performans analizleri incelendiğinde; tank deprem performansı çalkalanma hareketi ve sıvı çıkış kontrolleri açısından kabul edilebilir seviyede yer almaktadır.

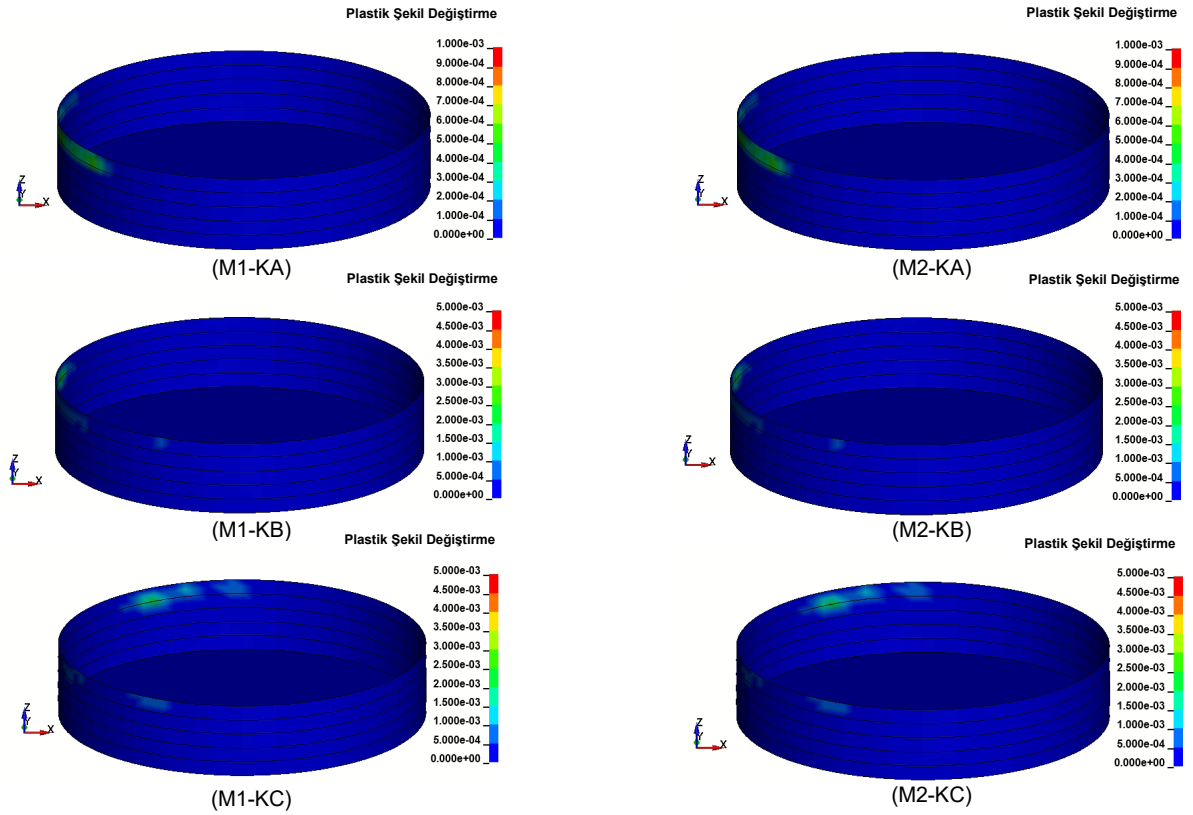


Şekil 7: M1-KA modeli çalkalanma hareketi-EQ01-12.80sn.

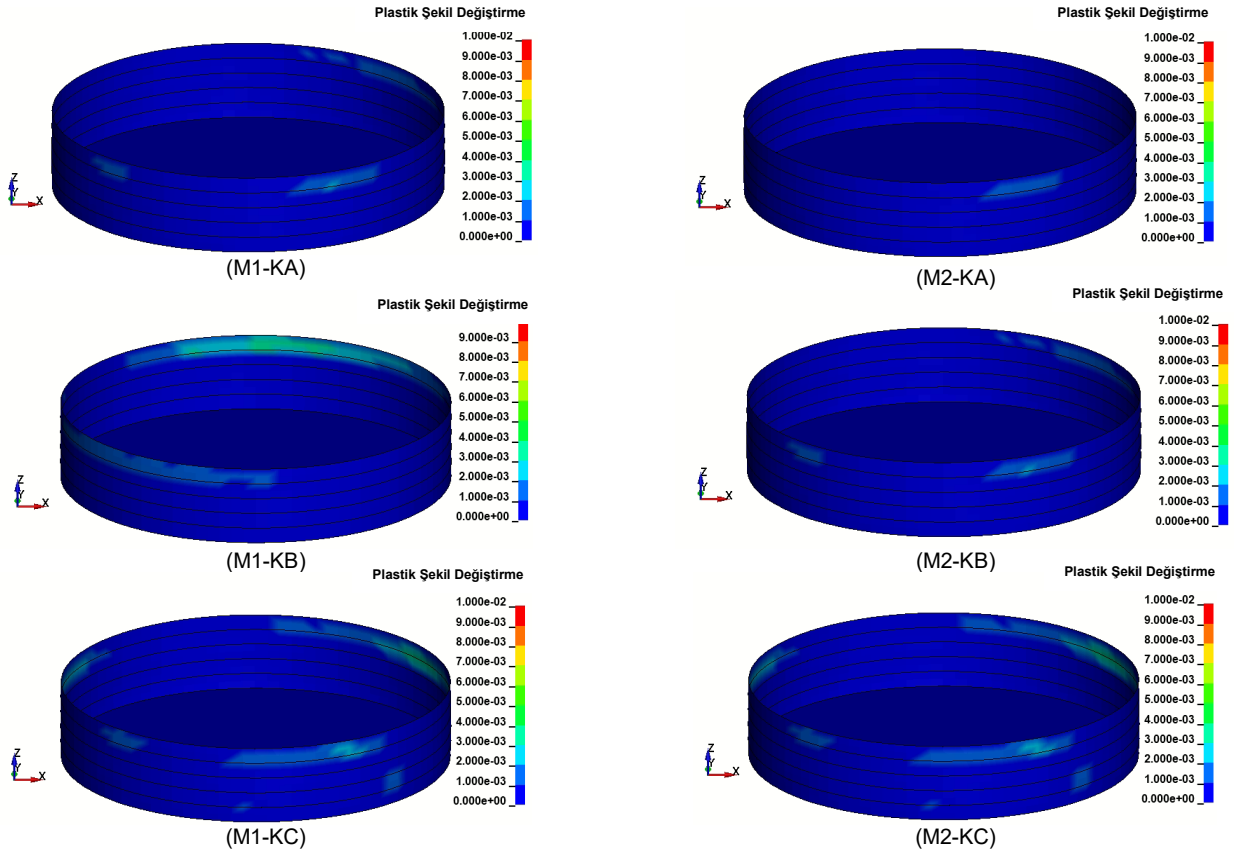
Tankların deprem performansları plastik şekil değiştirmeler açısından Şekil 8 ile Şekil 12 arasında incelenmiştir. Tank duvarı hasar şekil değiştirme (Failure Strain) limiti %20 olarak kabul edilmiştir. Tüm performans analizleri incelendiğinde; tank deprem performansı plastik şekil değiştirmeleri açısından kabul edilebilir seviyede yer almaktadır.



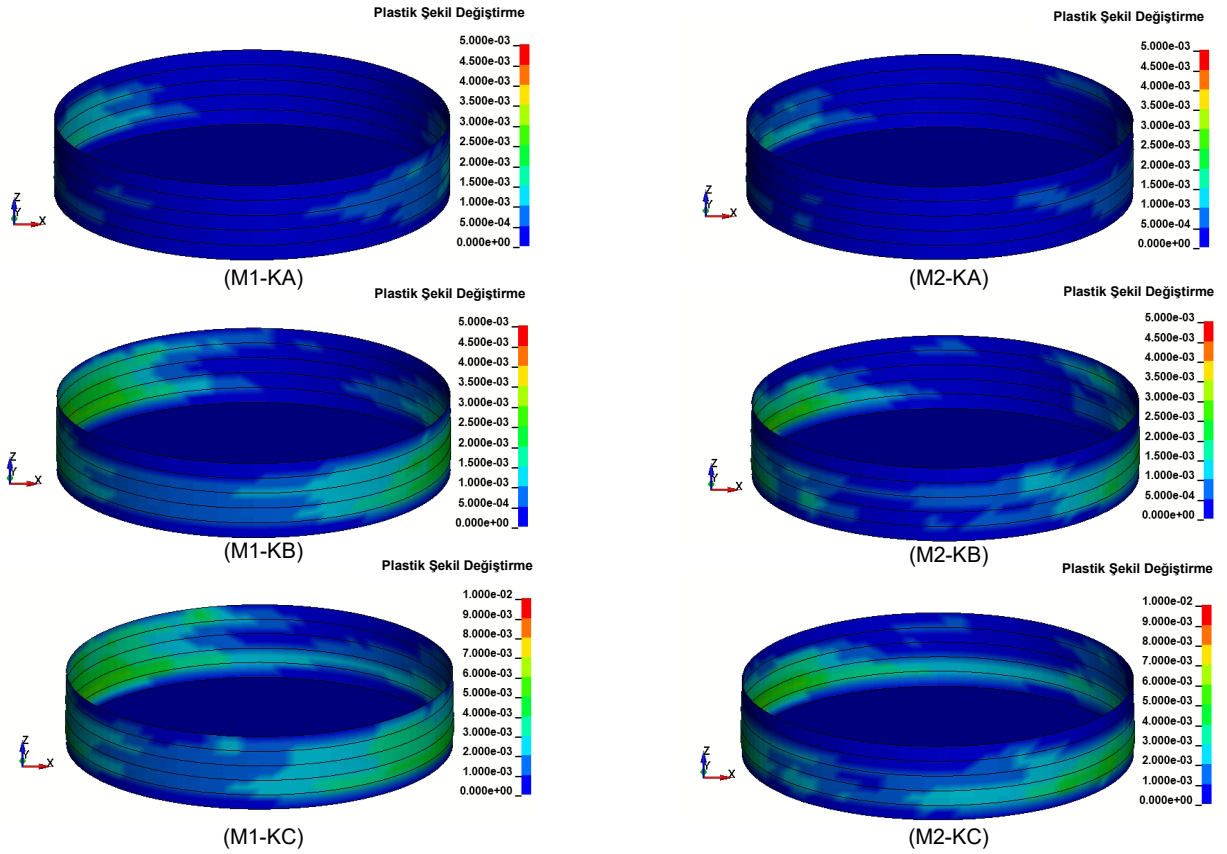
Şekil 8: Plastik Şekil Değişirme Dağılımları-EQ01



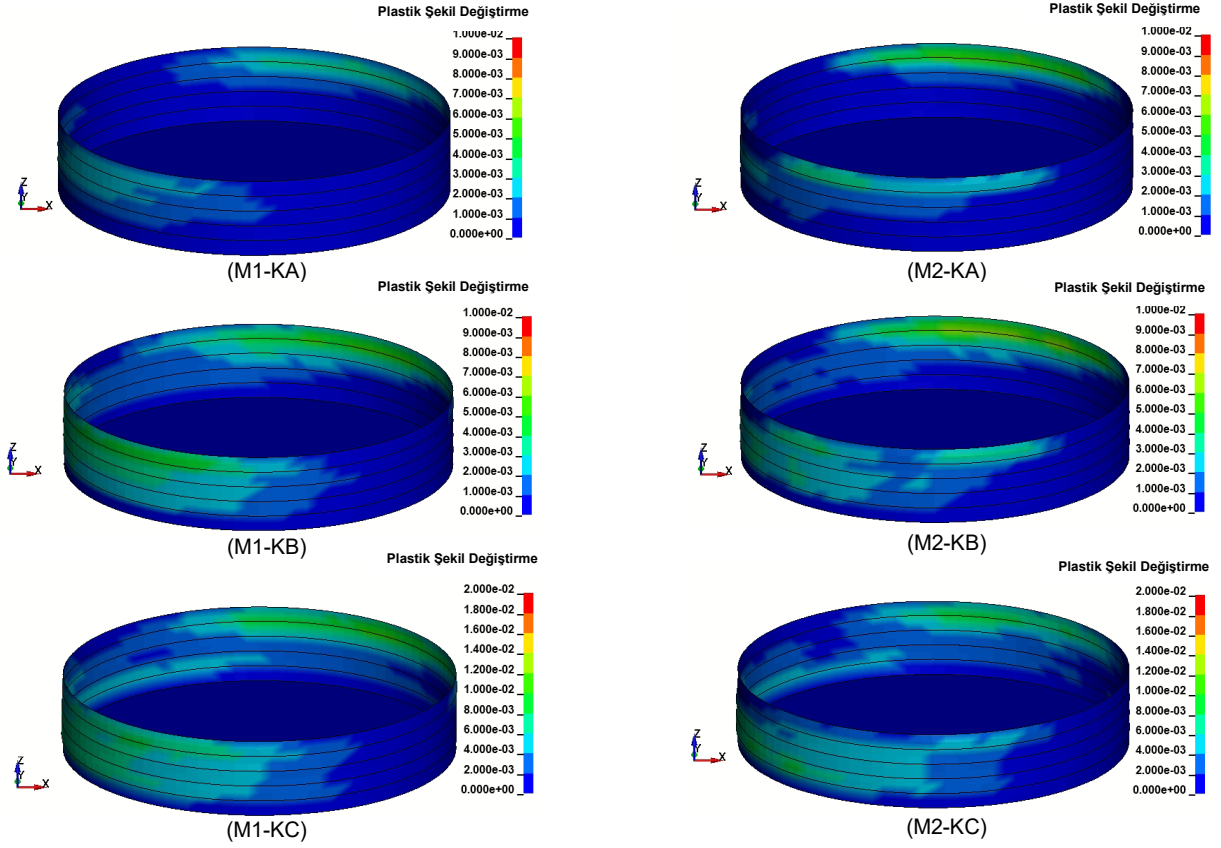
Şekil 9: Plastik Şekil Değişirme Dağılımları-EQ02



Şekil 10: Plastik Şekil Değişirme Dağılımları-EQ03

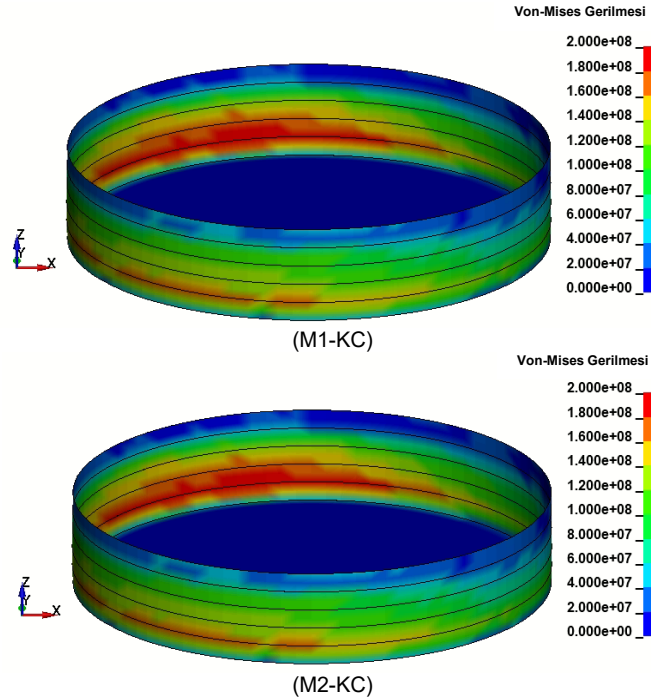


Şekil 11: Plastik Şekil Değişirme Dağılımları-EQ04



Şekil 12: Plastik Şekil Değişirme Dağılımları-EQ05

İki farklı modelleme yaklaşımı için de sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Sismik hasar mekanizmaları birbirine yakın olduğundan, von-mises gerilme dağılımları örnek bir model üzerinde incelenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13: Von-Mises Gerilme Dağılımları-EQ01

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında tank-sıvı etkileşiminin doğrusal olmayan davranış kaynaklarını göz önüne alabilen sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak sıvı ihtiva eden üç boyutlu atmosferik tankların, deprem yükleri altında doğrusal olmayan davranışları incelenmiştir.

Endüstriyel tesis içerisinde aktif faaliyet gösteren atmosferik tankın sismik performans analizi beş farklı yakın-fay deprem yer hareketleri etkisi altında gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz modeli hem tasarım çizim verileri hem de 3D Lazer Tarama verileri ile hazırlanmıştır. Kuvvetli yer hareketi atmosferik tanklarda sıklıkla görülen hasar mekanizmalarının çoğunluğu; tank duvarında oluşan korozyon etkisiyle kalınlığın azalmasından veya geçmiş yönetmeliklerdeki duvar kalınlık koşullarının sismik tasarım açısından yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm bu etkilerin incelenmesi için 3 farklı kalınlık tasarımı dikkate alınmıştır. Ayrıca, 2 farklı geometrik model referansı da dikkate alınarak toplam 6 farklı model incelenmiştir. Geometrik model referansı açısından sayısal analiz modeli hem tasarım çizim verileri hem de üç boyutlu (3D) Lazer Tarama sonucu elde edilen nokta bulut verileri ile hazırlanmıştır.

Sismik performans değerlendirmesi, her üç doğrultulu doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri (time-history analysis) ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde deprem yer hareketleri fay mesafelerinin yakınlığı ve kayıt frekans muhtevasına göre seçilmiştir. Tank duvarı hasar şekil değiştirme limiti ise %20 olarak kabul edilmiştir

İki farklı modelleme yaklaşımı karşılaştırıldığında, incelenen tank tipi için sismik hasar mekanizmalarının birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Tüm performans analizleri incelendiğinde; tank deprem performansı plastik şekil değiştirmeleri açısından kabul edilebilir seviyede yer almaktadır. Tank duvarında ciddi seviyede bir dinamik burkulma oluşmamıştır. Çalkalanma sorunundan kaynaklı herhangi bir yapısal hasar gözlemlenmemiştir. Ayrıca, yapı-sıvı etkileşiminde kullanılan SPH yaklaşımı, büyük genlikli çalkalanma hareketi ve yüksek deformasyonlar ile başa çıkabildiği tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Akgül K., 2021. Atmosferik Tankların Yapısal Risk Değerlendirmesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Doktora tezi (sürmekte)

API 650, 2018. Welded Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute, 12th Ed., Mar. 2013; (Addendum 3 - Aug. 2018) 449 p.

D'Amico M, Buratti N., 2019. Observational Seismic Fragility Curves for Steel Cylindrical Tanks, *J. Press. Vess-T. ASME* 141 (1), 1-14

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 4: Silos, tanks and pipelines, prEN 1998-4: (2003), 83 p.

Gazi H., Alhan C., 2019. Reliability of elastomeric-isolated buildings under historical earthquakes with/without forward-directivity effects, *Engineering Structures* 195, 490-507

Haroun M.A., Housner G.W., 1981. Seismic Design of Liquid Storage Tanks, *Journal of the Technical Councils of ASCE* 107 (1), 191-207

Housner G.W., 1954. Earthquake Pressures on Fluid Containers, The Eighth Technical Report under Office of Naval Research, California Institute of Technology Pasadena, California, 42 p.

Housner G.W., 1957. Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers, *Bulletin of the Seismological Society of America* 47 (1), 15-35

Housner G.W., 1963. The Dynamic Behaviour of Water Tanks, *Bulletin of the Seismological Society of America* 53 (2), 381-387

LS-DYNA R11.0., 2017. Keyword User's Manual Volume I-II, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California, 4805 p.

Malhotra P.K., Wenk T., Weiland M., 2000. Simple Procedure of Seismic Analysis of Liquid Storage Tanks, *Structural Engineering International* 10 (3), 197-201

Monaghan J.J., 1994. Simulating free surface flow with SPH, *Journal of Computational Physics* 110 (1034), 399-406

NIST GCR 97-720, 1995. A Study of the Performance of Petroleum Storage Tanks During Earthquakes, United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, 118 p.

Ozdemir Z., 2010. Nonlinear Fluid-Structure Interaction for Multi-Dimensional Seismic Analyses of Liquid Storage Tanks, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 237 s.

Özbulut M, 2019. Düzenli Dalgalar Üreten Bir Sayısal Dalga Tankının SPH Yöntemi ile Modellenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 24 (2) , 551-570

Westergaard H. M., 1931. Water Pressures on Dams during Earthquakes, ASCE Transactions, pp. 418-433, November 1931.

Yang J.Y, Veletsos A.S, 1977, Earthquake Response of Liquid Storage Tanks, Advances in Civil Engineering through Engineering Mechanics, 1-24 May 1977, North Caroline, 1-24

## ARAŞTIRMA VERİSİ

--

## ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI

Katkı Türü	Yazarlar
Çalışmanın tasarlanması	K.A.
Literatür araştırma	K.A.
Saha çalışması, veri temini/derleme	K.A.
Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi	K.A.
Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması	K.A.
Bulguların yorumlanması	K.A.
Makale yazımı, düzenleme, kontrol	K.A.