

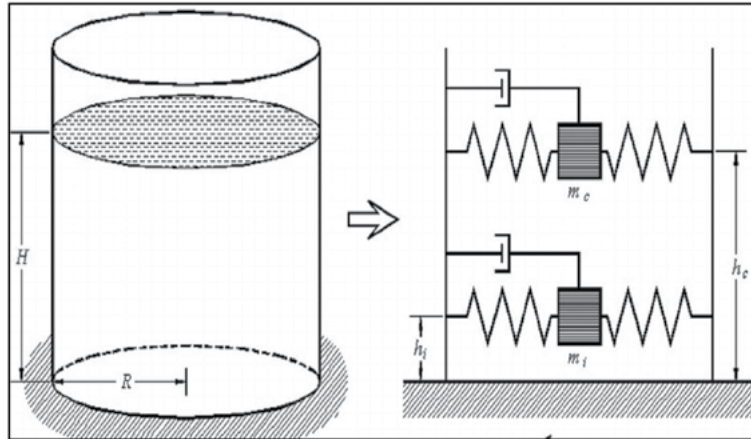
Endüstriyel Yapılarda Yatay Geniş Tanklar ile Dikey Narin Tankların Deprem Esnasındaki Davranışlarının ve Farklı Sismik Yalıtım Sistemleriyle Tasarımlarının İrdelenmesi*

Samet KILIÇ (Gebze Teknik Üniv.), Prof. Dr. Bülent AKBAŞ (Gebze Teknik Üniv.),
Prof. Dr. Eren UÇKAN (Alanya Alaaddin Keykubat Üniv.), Doç. Dr. Ferit ÇAKIR (Gebze Teknik Üniv.)

Giriş

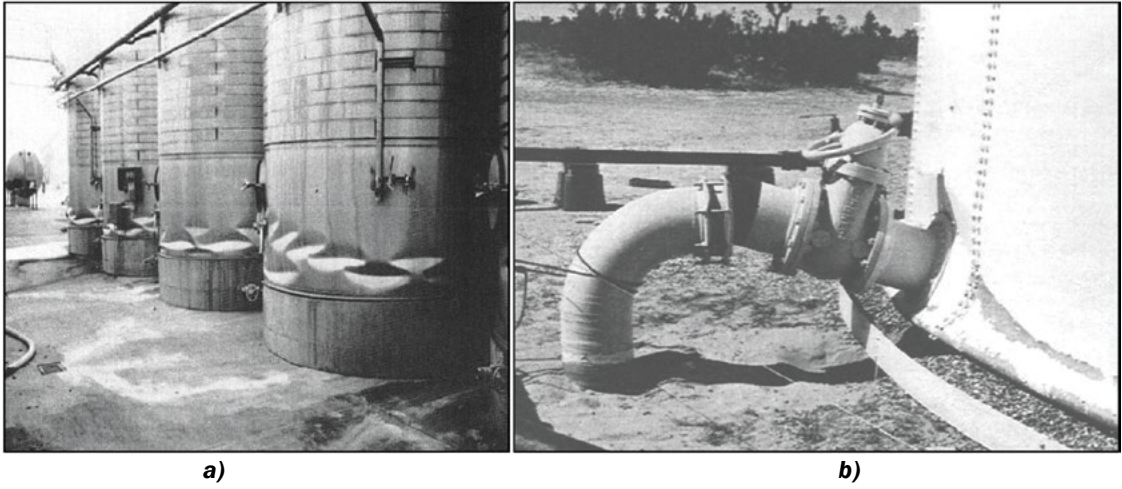
Endüstriyel tanklar taşıyıcı sistemi binalara benzemeyen, tasarımında içerisindeki sıvının hareketinin gözlemlenmesi ve buna bağlı sismik tasarımın özel olarak yapılması gereken yapılardır. Dünyada yaygın olarak kullanılan tank tasarım yönetmelikleri Yeni Zelanda Yönetmeliği (2009) ve API 650 (2007) Yönetmeliğidir. Yönetmeliklerde tank tasarımını daha hızlı ve kolay hale getirmek için bazı varsayımlar yapılmıştır. Atıfta bulunulan varsayımlar sıvı dinamiği ile ilgilidir. Bunlar, sıvının sıkıştırılmaz ve viskoz olmasıdır. Sıvının Newtonian olduğu varsayılır. Yani “Hook” Kanunu geçerlidir; gerilme şekil-değiştirme ile orantılıdır. Bir diğer kabul ise, sıvıda dönme olmamasıdır. Bunların yanında ilgili yönetmelikler, sismik tasarımları kolaylaştırabilmek için tank içerisinde bulunan sıvı kütlesini salınım ve devrim hareketlerine göre ayırmaktadır. Buna göre, sıvı dolu bir tankın dinamik analizi, tankın salınım ve devrim titreşim modlarını temsil eden tek serbestlik dereceli sistem konsepti ile yapılabilir. (Housner, 1963) Devrim modunda sıvının bir kısmının tank duvarıyla hareket ettiği; salınım modunda ise diğer kısmın ise dalgalandığı kabul edilir. (Şekil 1)

Tüm bu kabuller ışığında şekillenen yönetmelikler birbirlerinden farklılık göstermekle beraber, açıkça veya zımnen çeşitli burkulma ve göçme modlarını engelleyici tedbirler içermektedirler. Fakat hiçbir deprem esnasında herhangi hasar meydana gelmeyeceğini garanti etmemektedir. Şekil 2a ve b’de Yeni Zelanda Tank Tasarım Yönetmeliğinden alınmış Landers depreminde (1982) depreminde meydana gelmiş tank hasarları görülmektedir. Özellikle içerisinde bulunan sıvının değerli, toksik, yanıcı olması durumunda, tankların deprem esnasında herhangi bir hasar görmemesi önemli olmaktadır. Bu sebeple deprem yalıtım sistemleri kullanımı önem kazanmaktadır. Ayrıca tanklarda daha kesin sonuçlar elde etmek için gelişmiş sonlu elemanlarla modellemeler, sıvı-yapı etkileşimli çözümlerin yapılması günümüzde gerekli olmaktadır. Bu yayında tankların deprem yalıtımlı ve yalıtımsız performanslarını belirleyebilmek amacıyla, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu analizlerde depremin düşey bileşeni de yatay bileşeni yanında göz önüne alınmış, çekme kuvvetine karşı koyamayan iki eksen de çalışan deprem yalıtım sistemleri yanında, üç eksen de çalışan çekme kuvvetine belirli ölçüde karşı koyabilen deprem yalıtım sistemleri de analiz edilip, sonuçları kıyaslanmıştır.



Şekil 1. Salınım ve Devrim Modları Housner Modeli (Housner, 1963)

* 9. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı’nda sunulmuştur.



Şekil 2. Tanklarda Oluşan Örnek Hasarlar a) “Elmas Şeklinde Burkulma” b) “Rijit Bağlantı Elemanlarında Meydana Gelen Hasar” 1982 Landers Depremi, (Yeni Zelanda Tank Tasarım Yönetmeliği)

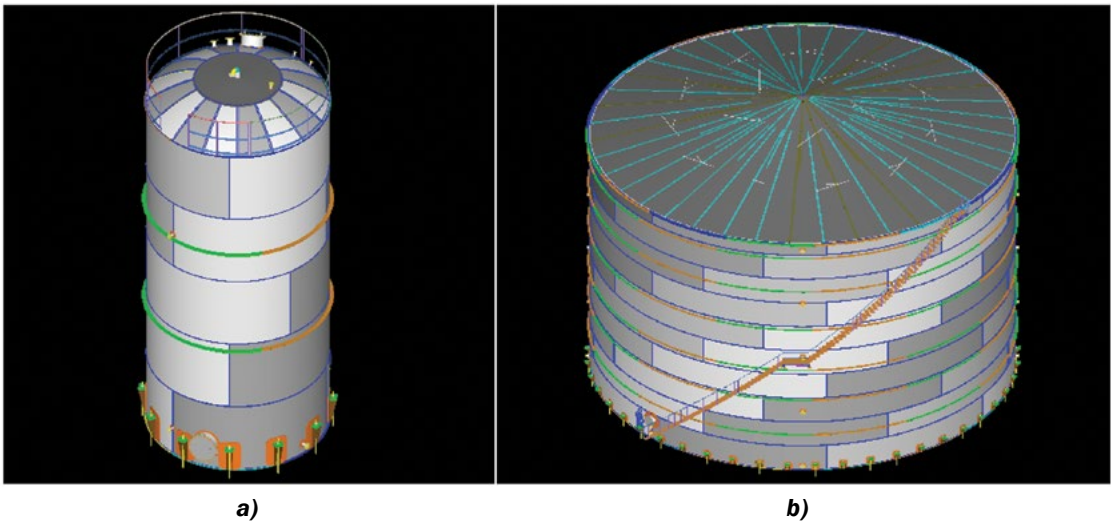
Geniş ve Narin Tankın Tasarımı

Bu bölümde, yere mesnetlenmiş, altında sismik yalıtım birimi bulunmayan narin tank ile geniş tankın modal analizlerde bulunan sonuçlarla kıyaslayabilmek için API 650 (2007) yönetmeliği kullanılarak devinim ve salınım periyotları bulunmuştur ve **tablo 1**'de sunulmuştur. “D” ve “H” sırasıyla tank çapı ve yüksekliğini ifade etmektedir. “H_w” ise tankın dolu yüksekliğini göstermektedir. “T_i” devinim periyodunu, “T_c” ise

salınım periyodunu göstermektedir. Sonrasında bu boyutlardaki tank duvar sac kalınlıkları hesaplanmıştır. Tankın doğrusal tasarımları için deprem bölgesi olarak Gebze Organize Sanayi Bölgesi seçilmiştir. AFAD deprem haritaları üzerinden Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ile uyumlu ZC zemin kabulü ile deprem parametreleri belirlenmiştir. **Şekil 3a**'da doğrusal tasarımda kullanılan narin tank, **şekil 3b**'de ise geniş tank gösterilmiştir.

Tablo 1. Tankların Hâkim Titreşim Periyot Hesapları (API 650)

	D(m)	H(m)	H _w (m)	H/D	T _i (s)	T _c (s)
GENİŞ TANK	20	10	9	0.50	0.15	4.83
NARİN TANK	5	10	9	2.00	0.13	2.33

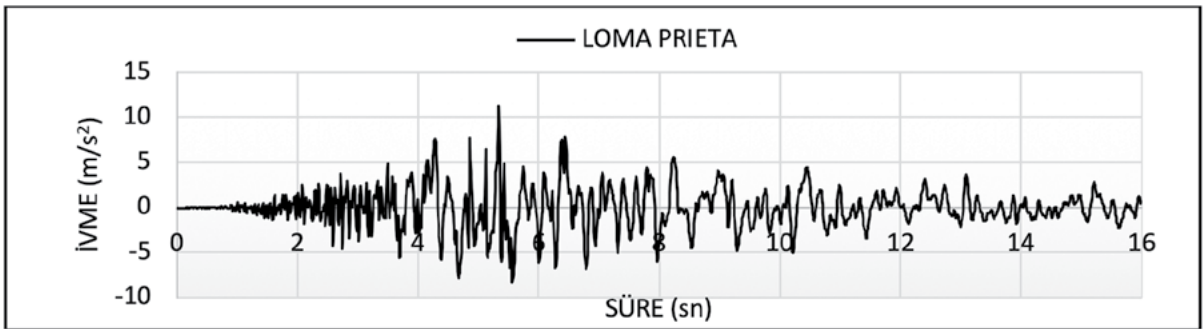


Şekil 3. Tank modelleri (a) Narin tank, (b) Geniş tank

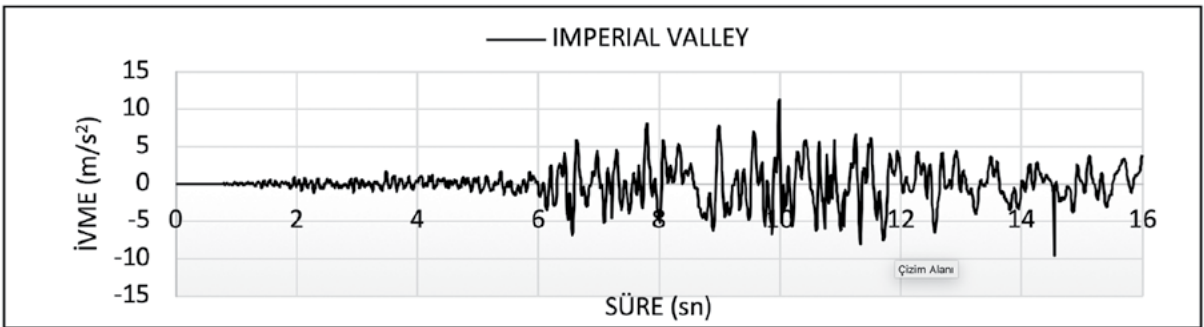
Doğrusal Olmayan Analizler

Bu çalışma kapsamında incelenen tankların doğrusal olmayan davranışlarını incelemek amacıyla, 3 adet deprem yer hareketi PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) veri tabanından seçilmiştir. Yer hareketlerinin etkin süreleri “Arias Yoğunluğu” yöntemiyle belirlenmiş, şekil 4,5 ve 6’da ivme değerleri ve etkin süreleri kayıt isimleri ile sunulmuştur. Seçilen deprem kayıtları, %5 sönümlü DD-1 deprem düzeyi için ölçeklenmiştir. Kayıtlar, zaman tanım alanında spektrumla ile uyumlu hale getirilmiştir.

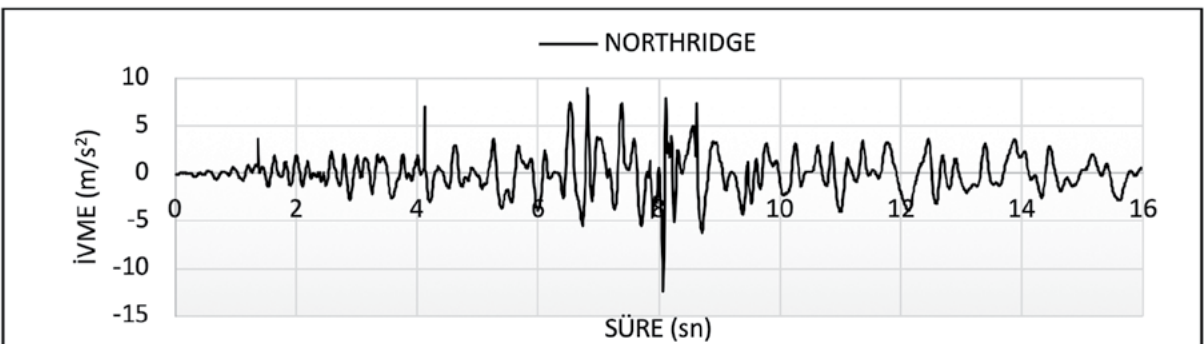
Ölçeklenen Loma Prieta (1989), Northridge (1994) ve Imperial Valley (1940) kayıtları şekil 7’de kullanılan elastik spektrum üzerinde gösterilmiştir. Çalışmanın bu kısmında, tasarlanan tankların deprem yalıtım birimsiz, iki eksen ve üç eksenli çalışan deprem yalıtım sistemleriyle performanslarını belirlemek amacıyla ANSYS Workbench yazılımı ile zaman tanım alanında, doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Tank duvarı ve tabanı kabuk elemanlar olarak, tank içerisinde bulunan su ise sıvı olarak modellenmiştir. Tank duvarı ile sıvı arasındaki temas algoritması olarak “Artırılmış Lagrange Metodu” kullanılmıştır.



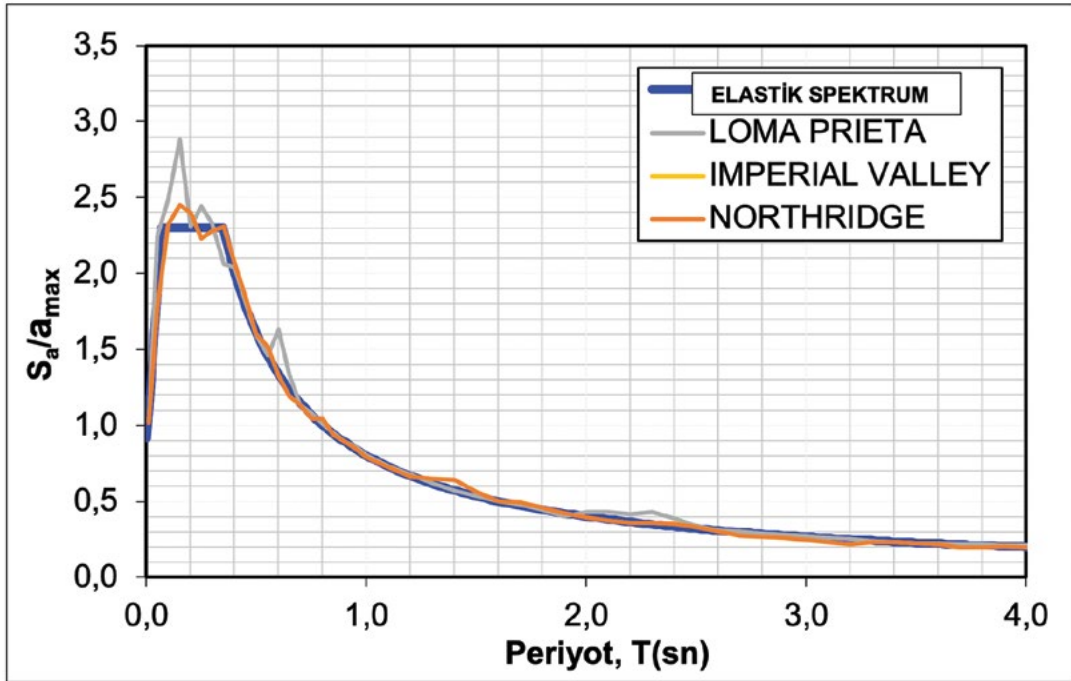
Şekil 4. Loma Prieta (1989) (D-B) Deprem Kaydı Etkili Süreleri & İvme değerleri (PEER)



Şekil 5. Imperial Valley (1940) (D-B) Deprem Kaydı Etkili Süreleri & İvme değerleri (PEER)



Şekil 6. Northridge (1994) (D-B) Deprem Kaydı Etkili Süreleri & İvme değerleri (PEER)



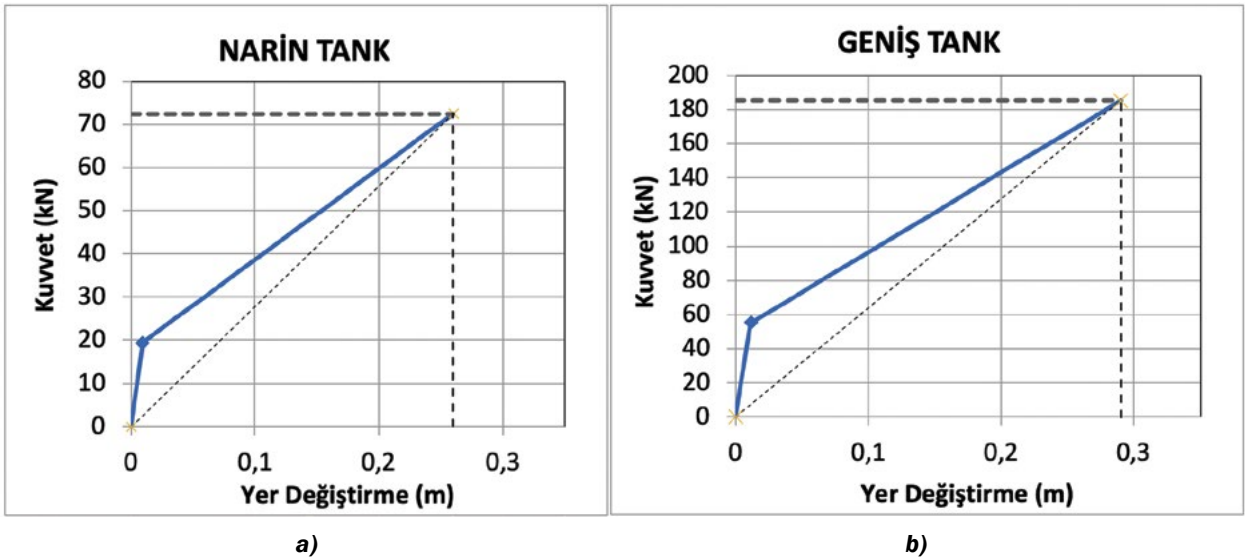
Şekil 7. Deprem Kayıtlarının Elastik Spektrum Üzerinde Gösterimi

Deprem yalıtım sistemlerinin yanal davranışını belirlemek amacıyla tanklara uygun kuvvet-yer değiştirme grafikleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'e göre hesaplanmıştır (**Şekil 8a ve b**). Kullanılacak olan yalıtım sistemi kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimidir. İki eksen ve üç eksen çalışan deprem yalıtım sistemleri için yatay kuvvet-yer değiştirme grafikleri aynı olduğu kabul edilmiştir. Geniş tank altında kurşun çekirdek çapı 25 cm, tüm çapı 60 cm olan 60 adet KÇE yalıtım birimi, narin tank altında ise kurşun çekirdek çapı 16 cm, tüm çapı 40 cm olan 12 adet KÇE yalıtım birimi kullanılmıştır. Bu yalıtım sistemlerini, ANSYS Workbench yazılımına tanıtmak için “COMBIN14” elemanları kullanılmış, doğrusal olmayan davranışı tanıtabilmek için bu elemanlar “COMBIN39”a dönüştürülmüştür. İki eksen çalışan yalıtım sisteminin düşey rijitliği TBDY (2018) ile uyumlu olarak hesaplanmıştır. Çekme ve basınç altında aynı rijitlik olduğu varsayılmış ve düşey eksen doğrusal yaylar ile modellenmiştir. Üç eksen çalışan için, **şekil 9a**'da görünen (Miyagawa et al., 2017) tarafından yapılan çalışmada kullanılan yalıtım birimi kullanılmıştır. Yalıtım biriminin çekme & düşey yer değiştirme özellikleri **şekil 9b**'de gösterilmiştir. Yalıtım birimi KÇE ile konik bir yaydan oluşmaktadır. Konik yayın çekme ve basınçta aynı davranışı gösterdiği varsayılmış ve doğrusal olarak modellenmiştir.

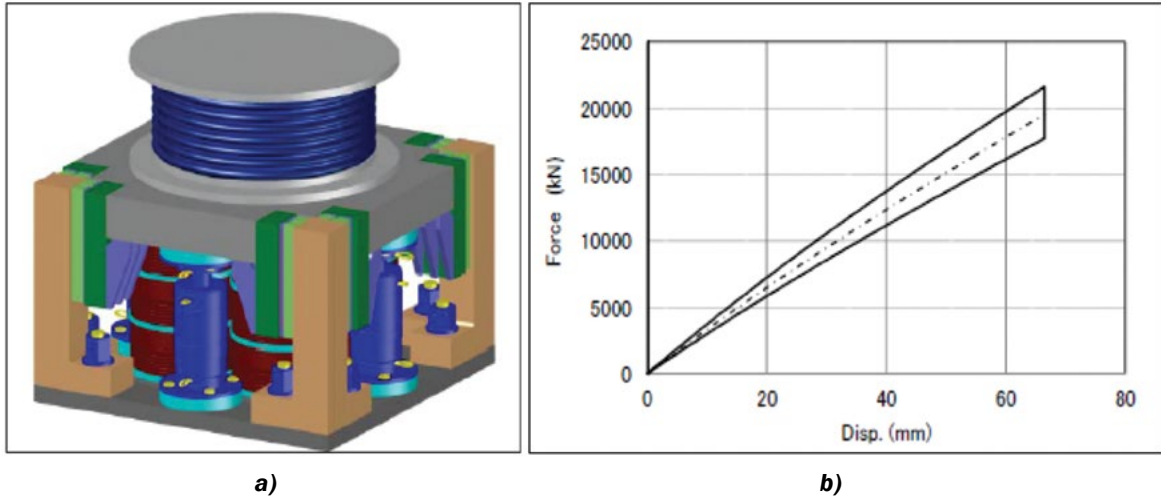
Etkin düşey rijitlik seri iki bağlı yayın toplamı olarak hesaplanmıştır (**Denk. 1**).

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1+k_2} + \frac{1}{k_3} \rightarrow k_e = \frac{(k_1+k_2)k_3}{k_1+k_2+k_3} \quad (1)$$

İlk olarak, ANSYS Workbench yazılımı ile yapılan modal analiz sonuçları **tablo 2**'de sunulmuş ve yorumlanmıştır. Deprem yalıtım sistemi bulunmayan tankların doğrusal tasarım kısmında hesaplanmış devinim periyotları ile ANSYS'te yapılan modal analizden elde edilen devinim periyotları kıyaslanmıştır. Sırasıyla doğrusal tasarımdan elde edilen periyotlar 0,15 s ve 0,13 s'dir. ANSYS'te elde edilen frekanslar sırasıyla 6,9886 Hz, 7,4864 Hz; yani periyotları 0,14 ve 0,13 s'dir. Doğrusal analizlerle yeterli yaklaşıklık göstermelerinden dolayı, modellerin tankların davranışlarını doğru temsil ettiği kabul edilmiştir. Deprem yalıtımlı tanklar için tasarımın başında hedef periyotlar darbesel periyot sınırına yaklaşmayacak şekilde seçilmiştir. Tanklarda, binaların aksine darbesel periyotlar etrafındaki yalıtım sistemi periyotları taban kesme kuvvetini azaltmak yerine bir miktar artırıp, çalkanma dalgasının büyümesine neden olabilmektedir. Elde edilen yalıtım sistemi periyotları makul görünmektedir.



Şekil 8. Deprem Yalıtım Birimi Kuvvet-Yer Değiştirme Grafikleri a) Narin Tank b) Geniş Tank



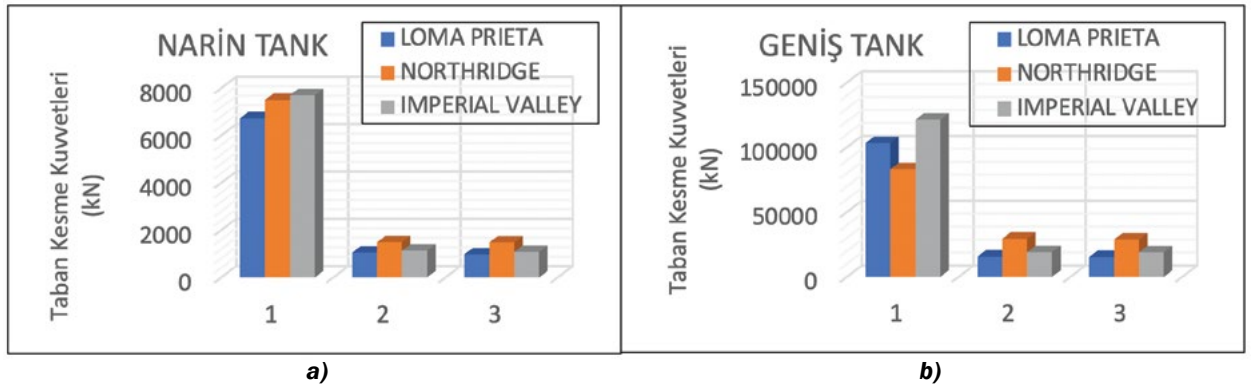
Şekil 9. Üç Eksende Çalışan Yalıtım Sistemi (a) 3B Görünüş, (b) Düşey Yöndeki Çekme Kuvveti & Düşey Yer Değiştirme İstemi Grafiği (Miyagawa et al., 2017)

Tablo 2. Modal Analiz Sonuçları

	f_i (s)	T_i (s)	D(m)	H(m)	H/D
TANK-YALITIMSIZ	7.4864	0.13	20	10	0.50
TANK-2B-YALITIMLI	1.2753	0.78	20	10	0.50
TANK-3B-YALITIMLI	1.2141	0.82	20	10	0.50
TANK-YALITIMSIZ	6.9886	0.14	5	10	2.00
TANK-2B-YALITIMLI	0.7694	1.30	5	10	2.00
TANK-3B-YALITIMLI	0.7303	1.37	5	10	2.00

Tablo 3. Taban Kesme Kuvvetleri Sonuçları

	Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN) (LOMA PRIETA)	Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN) (NORTHRIDGE)	Maks. Taban Kesme Kuvveti (kN) (IMPERIAL VALLEY)
TANK-D20-YALITIMSIZ	103260	83025	121180
TANK-D20-2B-YALITIMLI	15537	29365	18919
TANK-D20-3B-YALITIMLI	15323	28680	18835
TANK-D5-YALITIMSIZ	6726	7501	7699
TANK-D5-2B-YALITIMLI	1044	1484	1126
TANK-D5-3B-YALITIMLI	969	1472	1072



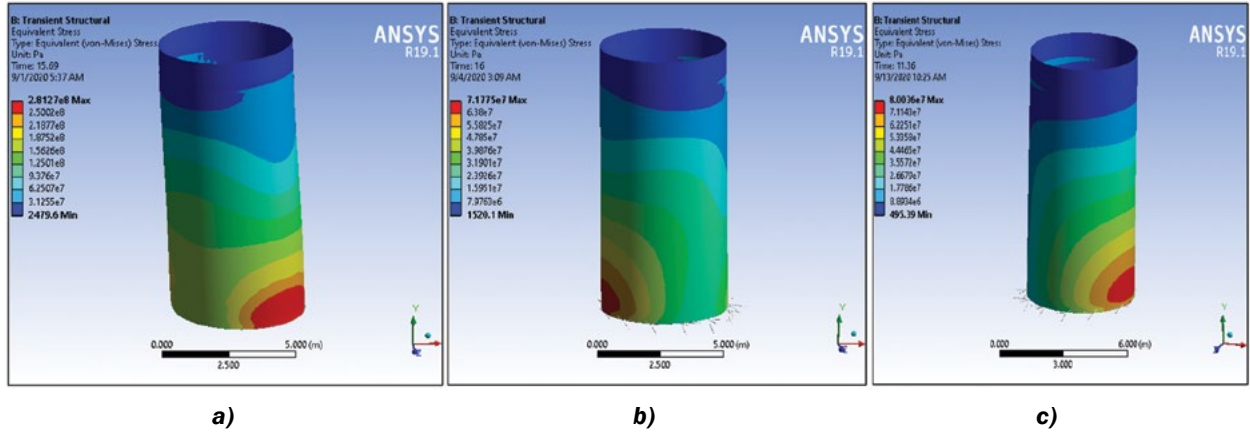
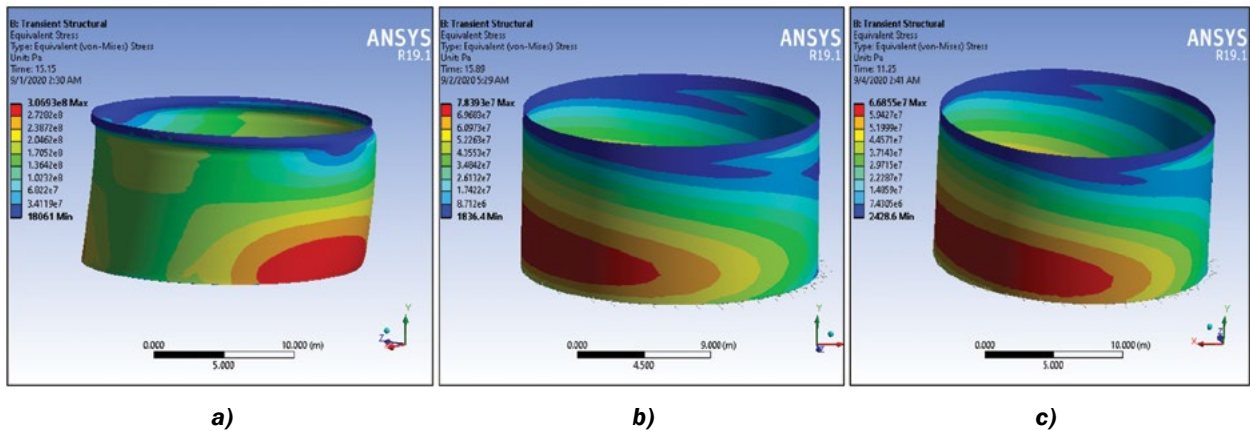
Şekil 10. Taban Kesme Kuvvetleri (a) Narin Tank, (b) Geniş Tank

Tablo 4. Yalıtım Sisteminde Oluşan En Büyük Çekme Kuvvetleri Sonuçları

	Maks. Çekme Kuvveti (kN) (LOMA PRIETA)	Maks. Çekme Kuvveti (kN) (NORTHRIDGE)	Maks. Çekme Kuvveti (kN) (IMPERIAL VALLEY)
TANK-D20-2B-YALITIMLI	233	496	536
TANK-D20-3B-YALITIMLI	343	986	301
TANK-D5-2B-YALITIMLI	339	464	463
TANK-D5-3B-YALITIMLI	355	446	419

Tablo 5. Tank Duvarı Von Mises Gerilme Sonuçları

	Maks. Von Mises Gerilmeleri (MPa) (LOMA PRIETA)	Maks. Von Mises Gerilmeleri (MPa) (NORTH RIDGE)	Maks. Von Mises Gerilmeleri (MPa) (IMPERIAL VALLEY)
TANK-D20-YALITIMSIZ	261	251	307
TANK-D20-2B-YALITIMLI	55	85	78
TANK-D20-3B-YALITIMLI	65	89	69
TANK-D5-YALITIMSIZ	255	259	281
TANK-D5-2B-YALITIMLI	69	80	72
TANK-D5-3B-YALITIMLI	72	69	80


Şekil 11. Narin Tank Hidrodinamik Gerilmeleri (a) Yalıtımsız, (b) 2B Yalıtımlı, (c) 3B Yalıtımlı

Şekil 12. Geniş Tank Hidrodinamik Gerilmeleri (a) Yalıtımsız, (b) 2B Yalıtımlı, (c) 3B Yalıtımlı

Tablo 3'te ANSYS Workbench yazılımında elde edilmiş tanklara ait taban kesme kuvvetleri; **tablo 4**'te yalıtım birimlerinde oluşan en büyük çekme kuvvetleri; **tablo 5**'te tank duvarında oluşan Von Mises gerilmeleri paylaşılmıştır. **Şekil 10a**'da narin tankın zaman tanım alanında analizlerinden elde edilmiş taban kesme kuvveti sonuçları, **şekil 10b**'de ise geniş tankın taban kesme kuvveti sonuçları paylaşılmıştır. Şekillerde sırasıyla 1, 2, 3 yalıtımsız, iki ekseninde çalışan yalıtımlı ve üç ekseninde çalışan yalıtımlı tankları ifade etmektedir. **Şekil 11**'de narin tanka ait hidrodinamik gerilme örneği; **şekil 12**'de ise geniş tanka ait hidrodinamik gerilme örneği sunulmuştur.

Sonuç

Bu verilere göre sismik taban yalıtımlı tankların hâkim titreşim periyotları yalıtımsız tanklara göre daha uzundur. İki ekseninde çalışan yalıtım sistemine sahip tanklar ile üç ekseninde çalışan yalıtım sistemine sahip tankları kıyasladığımızda üç ekseninde çalışan yalıtımlı sistemlerin periyotlarının daha uzun olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, yalıtım birimlerinin düşey rijitlikleri arasındaki farktır. Yığılı Kütleli çubuk model kullanılması durumunda, modal analiz sonuçlarında bu farkı görmek mümkün olmamaktadır. Fakat sıvının modellendiği sonlu eleman modellerinde böyle bir ayırım elde edilebilmektedir. Taban kesme kuvvetlerinde de yalıtımlı sistemlerde önemli düşüşler fark edilmektedir. Geniş tanklarda taban kesme kuvveti düşüşü, iki ekseninde çalışan yalıtımlı modellerde yaklaşık %77, üç ekseninde çalışan yalıtımlı modellerde %78 gibi gözlenmektedir. Narin tanklarda ise iki ekseninde çalışan yalıtımlı modellerde %83, üç ekseninde çalışan yalıtımlı modellerde ise %84 civarında bir düşüş görülmektedir. Üç ekseninde çalışan yalıtım sistemlerinin hâkim titreşim periyotlarının daha büyük olması sebebiyle, iki ekseninde çalışan sistemlere göre taban kesme kuvveti azalışı daha belirgindir. Ayrıca narin tanklarda deprem yalıtım sistemi kullanımı geniş tanklardaki kullanımına göre taban kesme kuvvetini azaltmada daha etkilidir. Bunun temel sebebi deprem yalıtım sisteminin tank cidarıyla beraber hareket eden sıvı olan devinim kütesine etki etmesidir. Devinim kütesinin çalkalanan sıvı salınım kütesine oranı tank çap/yükseklik oranı küçüldükçe artar. Bu da yalıtım sisteminin etkilediği sıvının kütesinin artması, yalıtım sisteminin daha etkili hale gelmesi anlamına gelmektedir. Taban kesme kuvveti azalışı üç ekseninde çalışan yalıtım sistemlerinde daha büyükken, hidrodinamik gerilmelerde aynı durum

söz konusu değildir. **Şekil 11** ve **12** ile **tablo 5** incelendiğinde, üç ekseninde çalışan yalıtımlı tankların duvarlarında oluşan en büyük Von Mises gerilmelerinin iki ekseninde çalışanlara göre bir miktar büyük olduğu fark edilmektedir. Bu sonucun oluşmasında, yalıtım birimlerinin düşey rijitliğinin azalmasının yol açtığı düşey yer değiştirme önemli rol oynamaktadır. Deprem yalıtımlı analiz yapılan tüm modellerde, depremin düşey bileşeni nedeniyle çekme kuvveti olduğu gözlenmekte, KÇE yalıtım birimlerinde yaklaşık 1,4 MPa eksenel çekme gerilmesi sonrasında kavitasyon olduğu bilinmektedir. Üç ekseninde çalışan yalıtım birimlerinde ise, yaklaşık 20000 kN mertebesine kadar çekme kuvveti karşılanabilmektedir. Geniş tank altında, 60 cm çapında, narin tank altında 40 cm çapında KÇE yalıtım birimleri kullanılmıştır. Sırasıyla eksenel alanları 2827 cm² ve 1256 cm²'dir. Yalıtım birimi alanlarıyla taşınabilecek çekme gerilmesi çarpıldığında, çapı 60 cm olan 396 kN, çapı 40 cm olan 175 kN çekme kuvveti taşıyabildiği ortaya çıkmaktadır. Tablo 4 incelendiğinde, iki ekseninde çalışan tüm yalıtım birimlerinde meydana gelen çekme kuvvetlerinin bu sınırları aştığı; üç ekseninde çalışanlarda ise bu sınırların altında kaldığı görülmektedir. Bu da üç ekseninde çalışan yalıtım sistemlerinin özellikle çekme kuvveti oluşan bölgelerde kullanılmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Referanslar

- ANSYS Workbench-version 2018.
- API650 Standard Welded Tanks for Oil Storage Appendix-E, 2007
- Housner G. (1963) "The Dynamic Behaviour of Water Tanks." Bulletin of the Seismological Society of America, 53,381-387.
- <http://tdth.afad.gov.tr>
- Miyagawa T, Watakabe T, Yamamoto T, Fukasawa T and Okamura S, (2017). "Research and Development of Three Dimensional Seismic Isolation System Utilized Coned-Disk Spring with Rubber Bearings" Proceedings the ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference, Waikoloa, Hawaii, 16-20 July, 2017.
- New Zealand Society for Earthquake Engineering Seismic Design of Storage Tanks, (2009)
- PEER, Pasific Earthquake Engineering Research Center Database.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019), Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.