MEVCUT BİR SU DEPOSUNUN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM KAYITLARI İLE BELİRLENMESİ

Ö. Sabuncu[1], S. Kaçın[2], G. Gürsoy[3] ve M.C. Geneş[4]

[1] *İnşaat Mühendisi, MMK Demir Çelik Fabrikası, Payas*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü,Mustafa Kemal Üniversitesi, İskenderun*
[3] *Yüksek İnşaat Müendisi, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları, İskenderun*
[4] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Zirve Üniversitesi, Gaziantep*
Email: skacin@mku.edu.tr

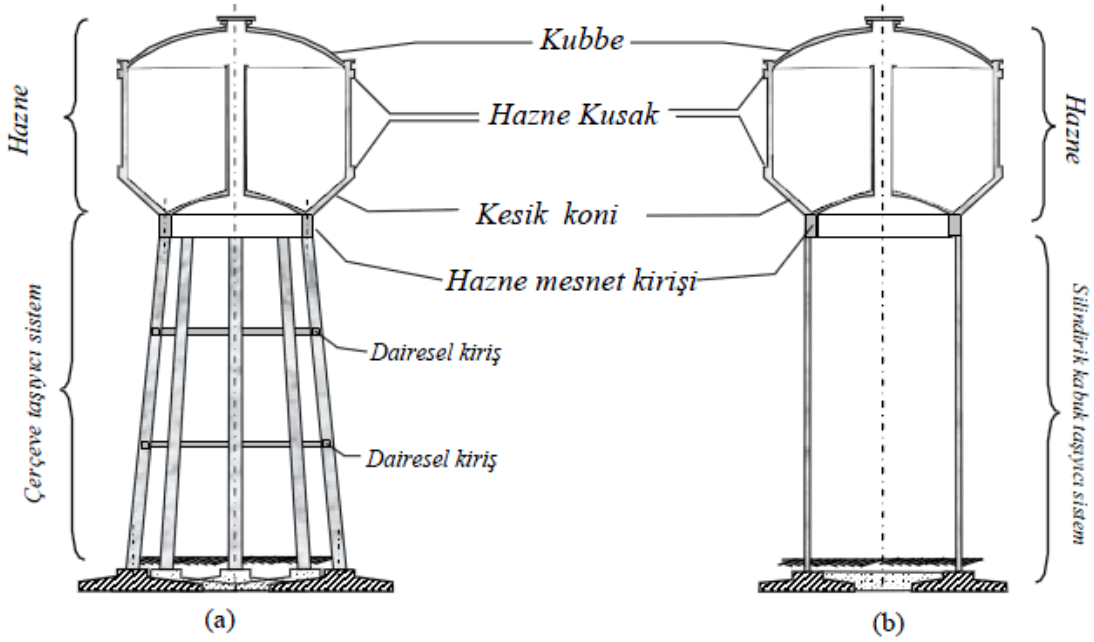
ÖZET:

Bu çalışmada MMK Demir Çelik Fabrika sahasında yer alan betonarme bir su kulesinin dinamik karakteristik özelliklerinin titreşim ölçümleri ile bulunacaktır. Betonarme su kulesi 43 metre yüksekliğe sahiptir. Su kulesi fabrikanın acil su ihtiyacı duyduğu durumda kullanılmak üzere 4 yıl önce inşa edilmiştir. Su kulesinin temelinde fore kazık sistemi yer almaktadır. Yüksekliği boyutları ve temel yapısı ile oldukça özel bir yapıdır. Bu yapının dinamik bazı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla titreşim ölçüm deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sırasında su kulesinin en üst noktasına, orta seviyelerdeki iki farklı noktaya ve en alt noktasına yani farklı yükseklikteki üç noktaya toplam altı hızölçer sensörler yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda da su kulesinin periyodunun, mod şeklinin ve sönüm oranının bulunması amaçlanmaktadır. Titreşim kayıtlarının elde edilmesi amacıyla hızölçerler su kulesi üzerine yerleştirildikten sonra yaklaşık iki saat boyunca kayıt alınmıştır. Titreşim kayıtlarından yapının periyot ve sönüm oranı tespit edilmiştir. Ayrıca su deposu yapı analiz programlarında da projesine uygun olarak modellenerek çözüm yapılmıştır. Proje verileri ile elde edilen analiz sonuçları ile titreşim kayıtlarından elde edilen dinamik özelliklerin karşılaştırılmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Ortam titreşim kayıtları, dinamik analiz, dinamik periyot, su deposu.

1. SIVI DEPOLARI

Büyük su depoları genellikle kaynaktan alınan suyun debisi ile kullanılan su debisi arasında bir denge sağlamak amacıyla yapılmaktadırlar. Ancak özellikle büyük sanayi tesislerinde işletmelerin özel ihtiyaçları içinde özel olarak su depoları imal edilmektedir. Bu depolar genel olarak çerçeve ayaklı depolar ve silindirik kabuk taşıyıcılı depolar olarak iki guruba ayrılabilirler. Bunun yanı sıra deponun kullanım amacı, kullanılan malzeme, zemindeki konumu gibi çok farklı parametrelere göre sınıflandırılmaları mümkündür (Doğangün 1989). Ayaklı depolar kolon kiriş taşıyıcı sistem üzerinde depo haznesinin bulunduğu yapılardır. Bazı özel depolarda ise silindirik kabuk taşıyıcı sistem üzerinde yine betonarme silindirik kabuktan su haznesi yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. a) Betonarme çerçeve ayaklı su deposu; b) silindirik kabuk taşıyıcı sisteme sahip su deposu

Su depolarının statik ve dinamik analizleri konusunda uzun yıllardan bu yana oldukça detaylı çalışmalar yapılmıştır. Sıvı tutucu depoların depremler sırasında hasar görmesi ve kullanılamaması sonucunda içme ve kullanım suyu ihtiyacı karşılanamamıştır. Buda özellikle büyük depremler sonrası ortaya çıkan kaos ortamında çok ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Yangınlara müdahale amacıyla yapılan depoların hasar görmesi sonucunda ise deprem sonrası ortaya çıkan yangınlar kontrol altına alınamamıştır. Ayrıca tehlikeli sıvıların depolandığı yapılarda oluşan hasarlarda çevreye büyük zararlar vermiştir. Depremlerden sonra sıvı depo yapılarında görülen bu hasarların oldukça ciddi sonuçlar doğurması sebebiyle bu konuda bilim insanları oldukça yoğun bir şekilde çalışmışlardır. Ayaklı su depolarının deprem hasarlarını inceleyen bazı çalışmalar Steinbrugge, Rodrigo 1963, Jain, Sameeer 1993 ve Haroun, Ellithy 1985 olarak sayılabilir. Ayaklı depoların dinamik davranışına yönelik çalışmalarda daha çok hazne içerisindeki sıvının davranışı ve taşıyıcı sistem ayrı ayrı incelenmiştir (Dieterman 1988, Doğangün 1989, Doğangün 1995). Depoların analitik çözümleri oldukça eskiye dayanmaktadır (Chandrasekaran, Krisha 1954, Ramiah, Gupta 1966). Bir serbestlik dereceli, modellerin gerçek davranıştan uzak olması sebebiyle sıvı dinamik davranışını da dikkate alan iki serbestlik dereceli modeller geliştirilmiştir (Housner 1963, Sonobe 1969, Shepherd 1972). Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise depo-sıvı etkileşimi ve depo-sıvı-zemin etkileşimi de gözönüne alınarak genellikle sonlu elemanlar modeline dayalı çözümler geliştirilmiştir (Dieterman 1993, Dutta 2004, Livaoğlu 2005). Bazı ülkelerde de sıvı depolarının statik ve dinamik analizleri konusunda yönetmelikler bile hazırlanmıştır. Yani Zellanda (Priestly vd. 1986), ABD (ACI371R-98,ACI 350.3) ve Eurocod-8 ,Part 4, bu yönetmeliklerden bazılarıdır.

Yapı izleme sistemleri kullanılarak yapıların dinamik bazı parametrelerinin belirlenmesi oldukça eskiye dayanmaktadır (Rea vd. 1968). Son yıllarda özellikle Japonya ve ABD pek çok yapıda bu sistemler kullanılmaktadır. Yapı izleme sistemleri kullanılarak yapıların mevcut titreşimler (ambient vibration) etkisi altındaki tepkileri kayıt altına alınabildiği gibi (Ivanovic 2000); yapıya uygulanacak bir titreşim etkisi altında (force vibration) da tepkiler ölçülebilmektedir (Bradford 2004, Kohler 2005). Bir başka yol ise yapının bulunduğu bölgede meydana gelen depremler etkisi altında yapı davranışı incelemektir. Tüm bu yöntemler ile elde edilen kayıtların uygun analizleri ile yapının periyodu, sönüm oranı ve mod şekli elde edilebilmektedir. Bu parametrelerde yapının dinamik davranışını belirleyen parametrelerdir. Binalar, köprüler, barajlar gibi pek çok yapıda yapı izleme sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcut iken su depolarında yapı izleme sistemlerinin kullanıldığı çalışmalara literatürde oldukça kısıtlı olarak rastlanmıştır (Livaoğlu 2010). Çoğu bina için kritik olmayan yapı-zemin etkileşimi sıvı depoları gibi

yapılarda oldukça önemlidir. Yapı-zemin etkileşimi ve yapı-zemin-sıvı etkileşimi sıvı depolarının dinamik davranışlarında oldukça önemli parametrelerdir.

2. MMK DEMİR ÇELİK FABRİKASI SU DEPOSU

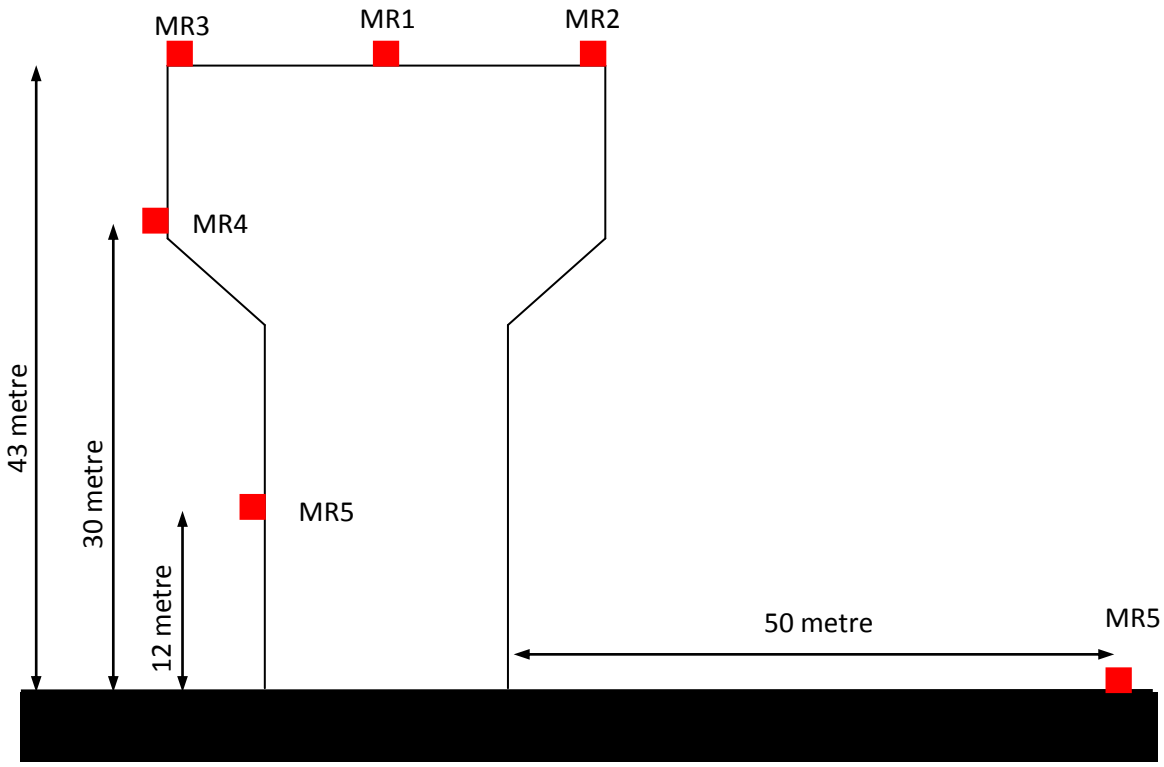
Bu çalışmada incelenecek olan su deposu MMK (Magnitogorsk Iron and Steel Works) Demir Çelik Fabrikalarında acil durumlarda kullanılacak olan suyun depolanması amacıyla yapılmıştır. Silindirik kabuk şeklinde alt kısımdaki taşıyıcı ve yine silindirik betonarme kabuk şeklinde üst depolama haznesine sahiptir. Su deposunun yerden yüksekliği 43 metre olup 2009 yılında inşaatı tamamlanarak kullanımına başlanmıştır (Şekil 2). Deponun hem alt kısmında hem de yukarıdaki taşıyıcı haznede su depolanmaktadır.

2.1. Su Deposundan Alınan Titreşim Kayıtları

Su deposunun dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ortam titreşimleri etkisi altında yapının tepkisi kayıt altına alınmıştır. Bu amaçla 5 adet her üç koordinat ekseni yönünde de kayıt alabilen hızölçer sensörler kullanılmıştır (Şekil 3).

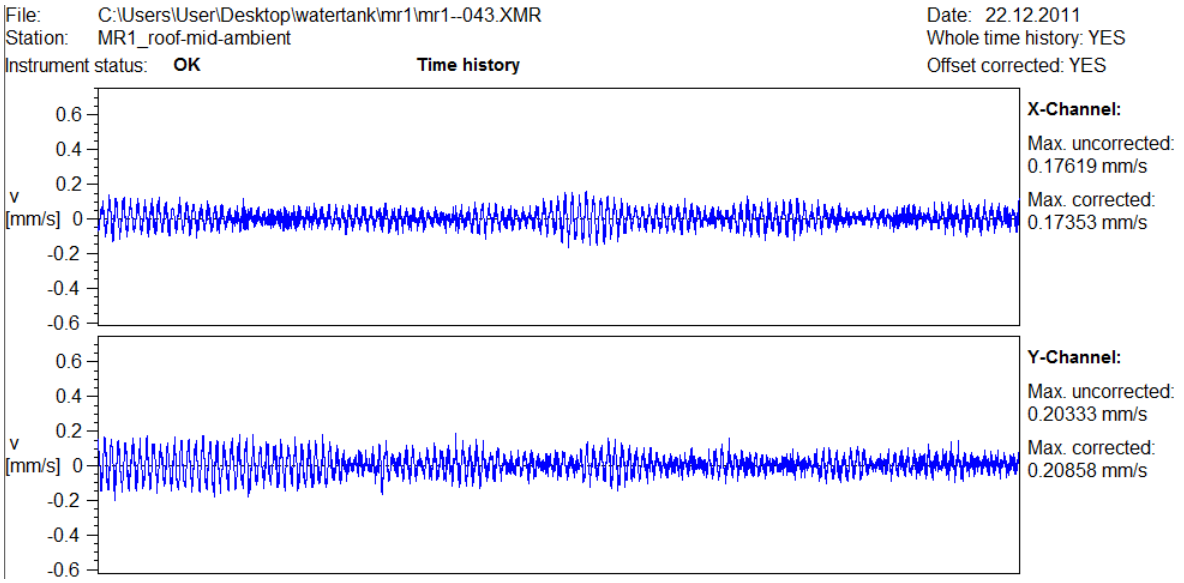
Şekil 3. Kayıtlarda kullanılan sensörler

Su deposunun en üst noktasında sensörler çelik çatı kaplamasının üzerine yerleştirilmiştir. Su deposunun farklı yükseklikteki noktalarından kayıt almak içinse merdivenler için sağlam şekilde depoya ankre edilen çelik kirişlerden yararlanılmıştır. Bu çelik profiller üzerinde depoya en yakın noktaya sensörler yerleştirilmeye çalışılmıştır. Çelik çatı kaplamada bir adet orta noktaya ve iki adet uç noktalara olmak üzere toplam üç adet, 12. metreye bir adet ve 30. metreye bir adet olamk üzere deponun üzerine beş adet sensör yerleştirilmiştir. Bir adet sensörde serbest alan ölçümleri (free field) yapmak üzere yapıdan yaklaşık 50 metre uzağa yerleştirilmiştir. Toplam 6 adet sensörden yaklaşık iki saat boyunca kayıt alınmıştır. Sensörlerin su deposu üzerinde yerleştirildiği noktalar Şekil 4' te görülmektedir.



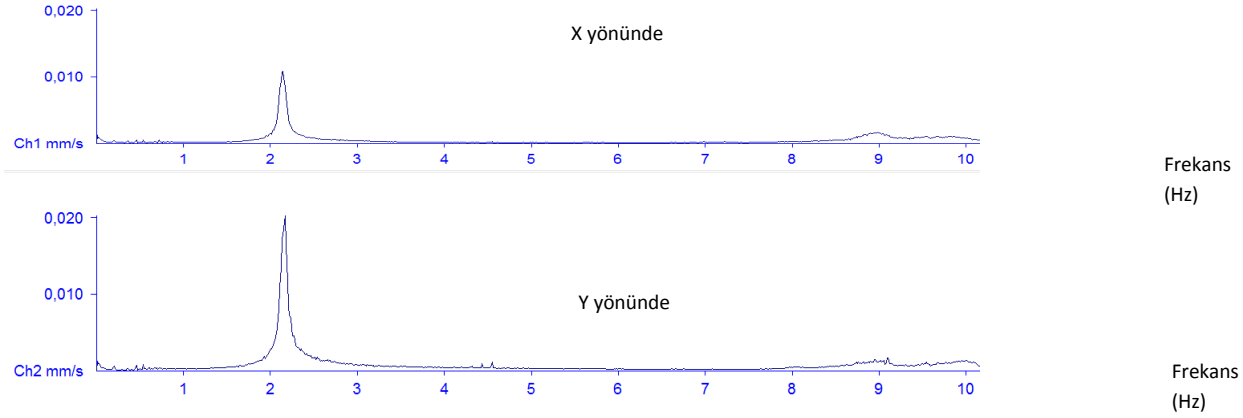
Şekil 4. Su deposu üzerinde sensörlerin yerleşim planı

Bu sensör yerleşim planı kullanılarak yaklaşık 75 dakika boyunca yapının ortam titreşimleri etkisi altındaki tepkileri kayıt altına alınmıştır. Yaklaşık birer dakikalık uzunlukta kayıt dosyaları oluşmuştur. Bir sensörde bu dosyalardan örnek bir tanesini Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Yaklaşık bir dakika uzunluğunda tipik bir sensör kaydı

Sensör kayıtlarının bilgisayar programları analizleri yapılarak su deposunun dinamik parametreleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Her bir sensörden elde edilen kayıt dosyalarının birleştirilerek Fourier dönüşüm uygulanması durumunda her bir sensörden yapının periyot değeri hesaplanabilmektedir. Şekil 6'da deponun en üst noktasındaki MR1 sensörlerinden elde edilen kaydın Fourier dönüşüm grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Birinci sensörden elde edilen Fourier dönüşüm grafiği

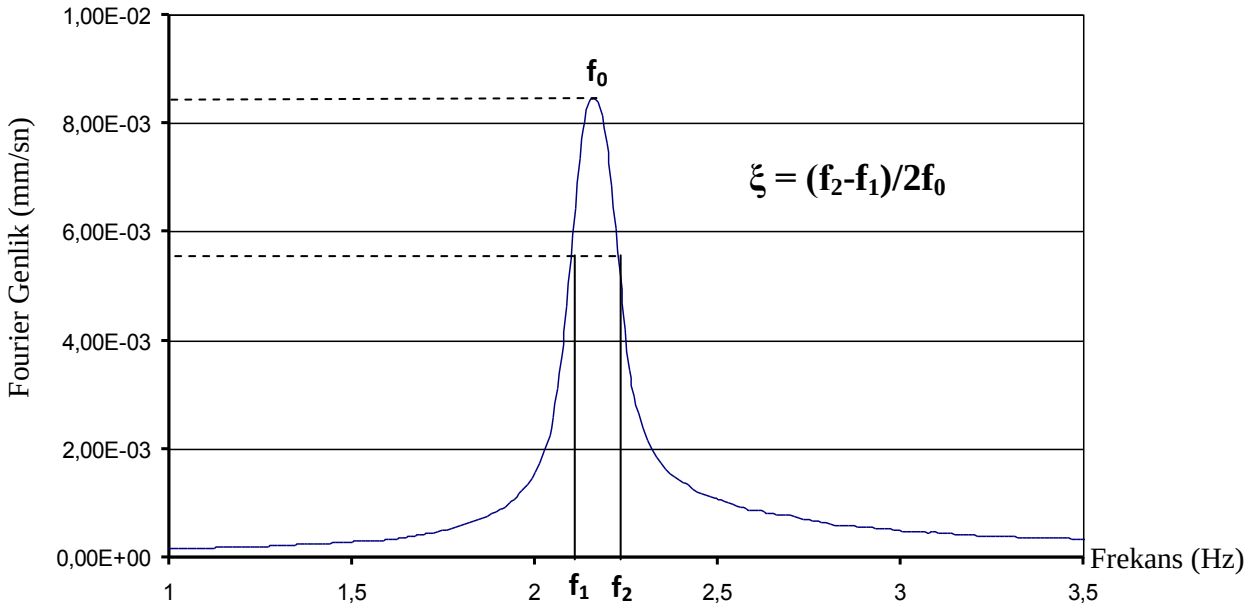
Şekilde görüldüğü gibi yapının hakim frekans değeri açıkca görülmektedir. Diğer sensörlerden elde edilen kayıtlarında benzer şekilde analizlerinin yapılması ile yapının hakim frekansları ve dolayısı ile periyodu hesaplanabilmektedir. Su deposu üzerine yerleştirilen 5 sensörden de elde edilen değerlerin aynı olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Tablo1. Titreşim kayıtlarından elde edilen frekans ve periyot değerleri

Frekans (Hz)	Periyot (1/Hz)
2.148 (x yönünde)	0.466
2.173 (y yönünde)	0.460
8.889	0.112

Yapı tamamen simetrik olduğundan x ve y yönündeki ilk iki periyodun değerlerinin aynı çıkması beklenmektedir. Ancak tabloda görüldüğü gibi çok küçük bir fark gözlenmiştir. Bu farkın yapının üzerinde yer alan ve yapıya oldukça rijit bir şekilde çelik profillerle bağlanan büyük merdivenin sebep olduğu düşünülmektedir.

Ortam titreşim kayıtlarının analizi ile yapının sönüm oranının tespiti de mümkündür bu amaçla Chopra 1995'de önerilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde Fourier dönüşüm frekans grafiğinde genlik değerinin belirli bir oranda (√2) altında yer alan eksende tespit edilen frekans değerleri kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulandığı tipik bir örnek grafik Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 7. Sönüm oranı hesapları için bir örnek

Bu yöntemde Fourier dönüşüm frekans grafiğinde genlik değerine karşılık gelen frekans f_0 ile gösterilirken, genlik değerinin (√2) oranında altında yer alan değerlere karşılık gelen frekanslar f_2 ve f_1 ile gösterilmektedir.

Bu yöntem ile farklı sensörlerde hesaplanan sönüm oranı değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Sensörlerden hesaplanan sönüm oranı değerleri

Sönüm Oranları	X yönünde (%)	Y yönünde (%)
MR1 kayıtlarından	2,64	2,72
MR2 kayıtlarından	2,67	2,68
MR3 kayıtlarından	2,64	2,69
MR4 kayıtlarından	2,67	2,71
MR5 kayıtlarından	2,64	2,71

Sönüm oranının x yönünde ortalama % 2.65, y yönünde ise ortalama 2.70 olarak kabul edilebilir.

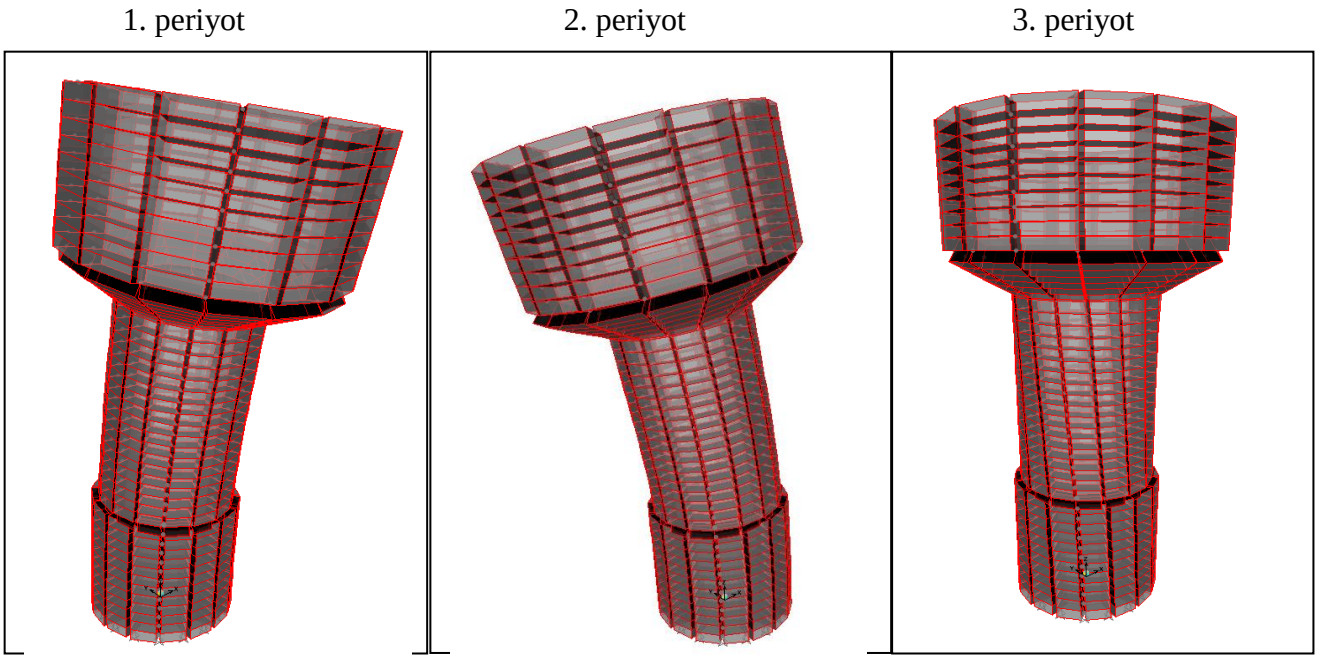
2.2. Yapı Analiz Programı İle Su Deposunun Dinamik Analizi

Su deposunun dinamik analizi için proje verilerine uygun olarak yapı analiz programı kullanılarak model oluşturulmuştur. Bu amaçla SAP2000 programı kullanılmıştır. Model oluşturulurken yapının zemin ile bağlantı noktası ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Gerçekte yapının temelinde çok sayıda fore kazık bulunmaktadır. Ayrıca yapının yan tarafında bulunan merdivende modelde kullanılmamıştır. Su deposu önce tamamen boş olarak modellenmiş ve içerisindeki su dikkate alınmamıştır. Daha sonrada içerisinin tamamen dolu olması durumu modellenmiştir. Ancak bu durumda da yapı sıvı etkileşimi hesaplara dahil edilmemiştir. Depolanan su farklı yüksekliklerde kütle olarak modele eklenmiştir. Bu kabuller ile oluşturulan modelin çözümü sonucunda yapının periyodu ve frekans değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Yapı analiz programları ile hesaplanan frekans ve periyot değerleri

Su deposu tamamen boş iken		Su deposu tam dolu iken	
Frekans (Hz)	Periyot (1/Hz)	Frekans (Hz)	Periyot (1/Hz)
2.758 (x yönünde)	0.362	2.586 (x yönünde)	0.387
2.758 (y yönünde)	0.362	2.586 (y yönünde)	0.387
3.559 (burulma)	0.281	5.912 (burulma)	0.169

İlk üç mod için SAP2000 programı ile elde edilen mod şekilleri aşağıda sunulmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Su deposunun SAP2000 ile elde edilen ilk üç mod şekli

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Hatay ili Payas ilçesinde kurulu bulunan MMK Demir Çelik Fabrikaları bünyesinde yer alan 43 metre yüksekliğindeki su deposunun dinamik parametrelerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla ortam titreşimleri etkisi altında yapıdan elde edilen tepkilerin analizi sonucunda elde edilen periyot değerleri ile SAP2000 yapı analiz programı ile elde edilen periyot değerleri aşağıda sunulmaktadır (Tablo 4). Yapı Analzi programları ile çözüm yapılırken su deposu tamamen boş ve tamamen dolu olarak iki farklı şekilde modellenmiştir. Yapı sıvı dinamik etkileşimi hesaplarda göz önüne alınmamıştır.

Tablo 4. Titreşim kayıtları ve SAP2000 sonuçlarının karşılaştırılması

Titreşim Kayıtlarından	Su deposu tamamen boş iken	Su deposu tam dolu iken
Periyot (1/Hz)	Periyot (1/Hz)	Periyot (1/Hz)
0.466	0.362	0.387
0.460	0.362	0.387
0.112	0.281	0.169

Yapı analiz programı ile elde edilen sonuçlar ile titreşim kayıtları ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde belirgin bir fark olduğu görülmektedir. Yapının dinamik analizi için oluşturulan modelin kalibrasyona ihtiyacı olduğu görülmektedir. Ayrıca yapıda yapı-zemin-sıvı etkileşiminin hesaplarda göz önüne alınması ile daha yakın sonuçların çıkması beklenmektedir. Deponun içerisinde su kütlesinin hesaplarda kullanılması durumunda periyot değerleri titreşim kayıtlarından elde edilen değerlere yaklaşmaktadır buda beklenen bir sonuçtur. Titreşim kayıtlarından yapının sönüm oranı da hesaplanabilmektedir. X yönünde yapının sönüm oranı ortalama % 2.65, y yönünde sönüm oranı ise ortalama % 2.70 olarak hesaplanmıştır. X ve Y yönünde sönüm oranlarının aynı çıkması beklenmekteyken ortaya çıkan bu çok küçük farkın su deposuna rijit bağlı çelik merdivenden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonunca desteklenen 110Y0116 kodlu "Mevcut Bir Su Deposunun Dinamik Özelliklerinin Titreşim Kayıtları İle Belirlenmesi" adlı proje çerçevesinde yapılmıştır. Mustafa Kemal Üniversitesi'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca titreşim kayıtlarının alınmasında ve fabrika sahasında çalışma yapmamız konusunda bize destek veren Payas MMK Demir Çelik Fabrikaları yönetimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ACI 371R-98, 1998. American Concrete Institude (ACI), Guide to the Analysis Design and Constructionn of Concrete-Pedestal Water Tower., MCP-2002.

ACI 350.3-01, 2001, Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (ACI 350.3R-01), MCP-2002.

Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., and Heaton, T. H., "Results of Millikan Library Forced Vibration Testing," Report No. EERL 2004-03, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, California, 2004

Chandrasekaran, A. R., Krishna, J., 1954. Water Towers in Seismic Zones, Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, IV, 161-171.

Chopra, A. K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1995.

Dieterman, H. A., 1988. Dynamics of Tower, Liquid-Structure Interaction, PhD Thesis, TU Delft, Netherlands.

Dieterman, H. A., 1993. Liquid-Structure Foundation Interaction of Slender Water Towers, Archive of Applied Mechanics, v:63, No:3, 176-188.

Doğangün, A., 1989. Betonarme Sıvı Depoları ve Projelendirme İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Doğangün, A., 1995. Dikdörtgen Kesitli Su Depolarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Depo-Sıvı-Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Analitik Yöntemlerle Karşılaştırılmalı Deprem Hesabı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Dutta, S., Mandal, A., Dutta, S. C., 2004. Soil Structure Interaction In Dynamic Behavior of Elevated Tanks With Alternate Frame Staging Configurations, Journal of Sound and Vibration, V. 277, Issues 7-8, 654-664.

Housner, W. G., 1963. Dynamic Behavior of Water Tanks, Bulletin of the Seismological Society of the America, 53, 381-387.

Haroun, M. A., Ellaithy, M. H., 1985. Seismically Induced Fluid Forces on Elevated Tanks, Journal of Technical Topics in Civil Engineering, 111(1), 1-15.

IvanovicÂ, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A., Todorovska, M.I., "Ambient vibration tests of a seven-story reinforced concrete building in Van Nuys, California, damaged by the 1994 Northridge earthquake," Soil Dynamics and Earthquake Engineering 19 (2000) 391-411, Accepted 11 May 2000.

Jain, S. K., Sameer, U. S., 1993. A rewiev of Requirements In Indian Codes for a Seismic Design of Elevated Water Tanks, Bridge and Structure Engineering, 23(1), 1-16.

Kohler, M.D., Davis, M.P., and Şafak, E., "Earthquake and Ambient Vibration Monitoring of the Steel-Frame UCLA Factor Building," Earthquake Spectra, olume 21, No. 3, pages 715–736, August 2005.

Livaoğlu, R., 2005, Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi. K. T. Ü. Mühendislik Fakültesi – Doktora Tezi 282 sayfa.

Livaoğlu, R., Dogangün, A., 2010. An Example of Ambient and Forced Vibration Tests for Understanding of Structural Performance of Elevated Liquid Tanks, 14.th Europian Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia.

Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., "Dynamic Properties of McKinley School Buildings," Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, California, 1968.

Sonobe, Y., Nishikawa, T., 1969. Study on the EarthquakeProof Design of Elevated Tanks, Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Chile, 11-24.

Shepherd, R., 1972. Two Mass Representation of a Water Tower Structure, Journal of Sound and Vibration, 24(4), 391-396.

Steinbrugge , K. V., Rodrigo, F. A., 1963. The Chilean Earthquakes of May 1960: A Structural Engineering Viewpoint, Bulletin of the Seismological of America, V. 53, No:2, 225-307.