014

Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yıl:2008 Cilt:19-5

YAPILARIN TİTREŞİM GENLİĞİNE GÖRE DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ*

Investigation of the changes of dynamic caractiristics of the structures under amplitude of vibration

Bahman MOSTAFAZADEH
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

BEYTULLAH TEMEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Özet

Bu makalede yapı sisteminin titreşim anındaki davranışı yapının rijitlik ve kütle merkezlerinin pozisyonlarına bağlı olarak incelenmiştir. Binaların dinamik özelliklerinin küçük ve büyük çaplı titreşimlere karşı bazı sebeplerden dolayı değişmesine vurgu yapılarak bazı ünlü binalar üzerinde uygulanan dinamik deney sonuçları ve deprem kayıtları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Özellikleri, Küçük çaplı titreşimler, Büyük çaplı titreşimler, Deprem

Abstract

in this particular, the behavior of the structural system has been studied considering position of center of rigidity and center of mass. The results of the ambient vibration test and the records of earthquake which are applied on various buildings are compared by emphasizing the changing of the dynamic properties in low and high-amplitude vibrations due to some reasons.

Key Words: Dynamic property, low-amplitude vibrations, High-amplitude vibrations, Earthquake

Giriş

Yapıların 3 önemli dinamik özelliği vardır. periyot, sönüm ve mod şekil vektörleri. Yapının periyot ve sönümü yapıya gelen yatay yük düzeyine bağlıdır. Yapının periyodu ve sönümünde deprem sırasında olan değişmeler yapının deprem davranışı ve deprem hasarını açıklamakta kullanılabilir. Bu makalede yapının rijitlik ve kütle merkezlerinin pozisyonlarına bağlı olarak binanın titreşim anındaki davranışına değinerek yapıların küçük ve büyük çaplı titreşimlerde, farklı dinamik özellikleri gösterdiği incelenmiştir.

Yapı Sisteminin Davranış Özellikleri

Binada Kütle ve Rijitlik Merkezlerinin durumuna göre Serbest Titreşim

- Kütle ve rijitlik merkezleri çakışarak bir dikey doğru üzerinde

Eğer bütün katların kütle ve rijitlik merkezleri üst üste gelerek bir dikey doğru üzerinde ise, binanın titreşim modlarının doğrultusu hemde serbest titreşim doğrultusu, binanın asal eksenleri doğrultusuyla aynıdır. Eğer böyle bir bina asal

* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

eksenleri doğrultusunda veya burulma ekseni etrafında harekete zorlanırsa, (başlangıç yer değiştirme veya ani yükle) o zaman binanın serbest titreşimi, yalnız harekete zorlanan yönde gerçekleşecek ve kayma modlarıda düzlem üzerinde olup, binanın burulma modlarıda, rijitlik merkezlerinden geçen bir dikey ekseni etrafında, burulma serbest titreşimleri şeklinde ortaya çıkacaktır. Böyle bir binada bu eksen, binanın burulma ekseni olarak düşünüle bilir Çünkü bütün döşemelerin dönme eksenidir.

- Kütle ve rijitlik merkezleri çakışmamakta ve katlarda sabit pozisyonlari var .

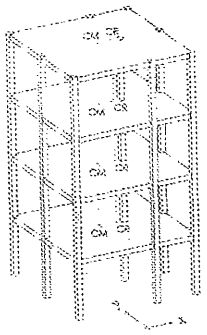
Şekil1.1'de görüldüğü gibi tüm katların rijitlik merkezleri bir doğrultuda ama kütle merkezleri başka doğrultudadır ve iki doğru üst üste gelmemektedir Bu durumda elastik ve atalet kuvvetlerinden dolayı sistemde burulma momenti oluşur. Elastik kuvvet rijitlik merkezini ve atalet küveti kütle merkezini etkiler. Eğer bina asal bir ekseni doğrultusunda (örneğin y yönde) harekete zorlanırsa, binanın titreşimi yalnız harekete zorlanan yönde sınırlı kalmaz belki ilave olarak binanın dikey eksen etrafında (burulma titreşimler) ya da 3 yönde(burulma yönü ve asal iki eksen yönleri) titreşim yapar. Bir veya iki asal ekseni doğrultusunda, kütle ekseninin rijitlik eksenine göre sapması aşağıdaki durumları ortaya çıkarabilir.

-Bir Doğrultuda

Şekil 1.1'de eğer bina y doğrultusunda titreşime zorlanırsa, sistemin kütle merkezini etkiyen atalet kuvvetlerinden dolayı döşemeler, dikey eksen etrafında dönmeye başlar. Bundan dolayı, y doğrultuda sistemin serbest titreşimi burulma bileşene sahip olacaktır. Eğer sistem x doğrultuda titreşime zorlanırsa, serbest titreşim diğer iki yönden bağımsız olarak ortaya çıkar. Aslında dışmerkezlik y doğrultuda olmadığından dolayı hareketler girişimli olmamıştır. Bu durumda ilk 3 titreşim modundan biri yalnız x doğrultusunda ve diğer iki modu ise hem y doğrultuda (kayma) ve hem burulma yönde bileşenleri vardır. İki veya üç doğrultuda bileşenleri olan modlara girişimli modlar ve bu durumada Modal Girişim (Modal Coupling) denilir.

-Dışmerkezlik İki Doğrultuda

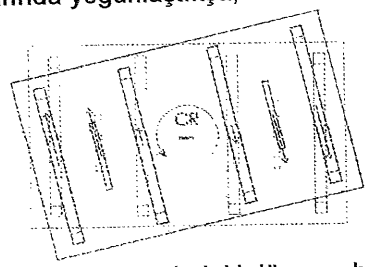
Böyle bir sistemin tüm titreşim modlari 3 boyutlu olarak her üç yönde bileşenleri bulunur. Bu durumda eğer bina asal eksenler doğrultusunda veya burulma ekseni etrafında titreşime zorlanırsa, sistemin serbest titreşim sadece titreşime zorlanan yönde sınırlı kalmaz.



Şekil 1.1. Binanın perspektifi –kütle ve rijitlik merkezleri çakışmayan dikey doğrular üzerinde dışmerkezlık x doğrutusunda

Yapı Sisteminde Burulma

Yanal deformasyonlara karşı binanın buruluma mukavemeti çerçeveler ve duvarların gösterdiği mukavemetten kaynaklanır. Şekil 1.2'da burulma mukavemetinin oluşum nedeni çerçeve ve duvarların elastik kuvvetinin yanal bileşenlerinin rijitlik merkezinden geçen eksen etrafındaki burulmaya karşı koyduğu momenttir. Yanal takviye elemanların burulma ekseninden uzaklaştıkça, binanın burulma mukavemeti artar. O haldeki yanal takviye elemanlarının yer değiştirmesi yanal takviyede değişime neden olmaz. Bundan dolayı binanın kayma mod periyodunun burulma mod periyoduna göre oranı, bina planındaki yanal takviye elemanlarının dağılım indeksi olarak bilinmektedir (Li, 1997). Genelde burulma modların periyodu, kayma modların periyodundan kısadır. Bundan dolayı bu oran değeri genelde birden büyüktür. Bu oran değeri yanal takviye elemanlarının binanın rijitlik merkezi etrafında yoğunlaştıkça, azalır.



Şekil 1.2. Yapı sistemindeki döşeme burulması

Çevresel Titreşimler Deneyi Yöntemi

Bu yöntem basit, ucuz ve güvenli olduğundan dolayı yapı dinamik deneylerde sıkça kullanılır. Çeşitli yapıların dinamik özelliklerini küçük titreşim sınırları içerisinde (yapının elastik sınırları) inceleyerek bu yöntemin kullanımıyla sağlam sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu yöntemde, bina doğal dış yüklerle titreşime zorlanır ve belli cihazlarla (sensor, amplifler, bilgisayar) sinyaller alınır ve üzerinde analiz yapıldıktan sonra binanın doğal periyotları elde edilir. Binayı etkiyen kuvvetler, binanın var olduğu ortamdan kaynaklandığı için binanın bu

yüklere karşı tepkisi, binanın çevresel titreşimleri olarak adlandırılır. Bu titreşimlerin kaynağı belli olmayan çevresel titreşimlerdir . Bu yüklerin kaynağı çeşitli etkenler, örneğin rüzgar, binanın oturduğu zeminden meydana gelen küçük titreşimler , bina içindeki etkenler örneğin insanlar ve makinelerdir (Ward,1996).

Metot

Çevresel Titreşimler Yöntemiyle Binların Dinamik Özelliklerini Değişiminin İncelenmesi

Bu incelemede teorik olarak toplam 107 adet betonarme ve çelik bina üzerinde yapılan çevresel titreşimler yöntemiyle, bunların arasından 74 binanın güvenilir sonuçlara sahip olduğundan dolayı dikkate alınmıştır. Betonarme binaların kat sayısı 5-17, ortalama yüksekliği 37.4 metre ve çelik binaların kat sayısı 5-27, ortalama yüksekliği 30.5 metredir. Çizelge 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6'da binalar üzerinde yapılan deney sonuçları toplanmıştır (Milani, 2003. 83-89). Bu bölümde Çizelgelerdeki veriler üzerinde yapılan analiz ve karşılaştırmalar yapıların dinamik özelliklerinin titreşimlere göre değişimini göstermektedir. Çizelgelerdeki bilgiler grafiklerde veriler olarak, X doğrultusunda binaların yükseklik değerleri ve Y yönünde doğal titreşim periyotları olarak gösterilmektedir. Bilindiği gibi yükseklik faktörü binaların doğal titreşim periyodunun ölçümünde en önemli etkenlerden biri olarak bilinmektedir. Binaların doğal titreşim periyodu BOCA-87 ATC3-06 ve UBC-97 şartnamelerine göre $T = \alpha H^{\beta}$ formülden elde edilmiştir (Goel,1997).

T : Doğal titreşim periyodu ; H = Bina yüksekliği .

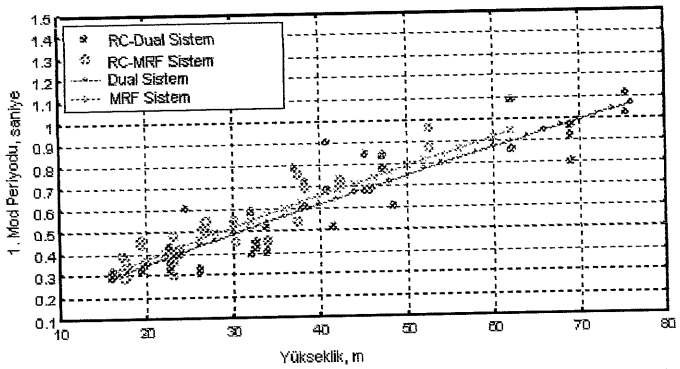
Deneylerden elde edilen veriler için $T = \alpha H^{\beta}$ bağıntısı, doğru denklemine dönüştürülerek lineer regresyon yöntemiyle incelenmelidir. Bundan dolayı: $\mathrm{Log}(T) = \log(\alpha) + \beta \log(H)$ α ve β veriler üzerinde yapılan regresyon analiz sonuçlardan elde edilmiştir. α ve β değerleri aşağıdaki Çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Regresyon analizinin özeti

Bina Çişidi	Yanal Takviye Sistemi	Veri Nokta Sayısı	Oto korelasyon	Regresyon analizinden elde edilen değerler	
				α	β
Betonarme	ikili	40	0.90	0.028	0.84
	eğilme çerçeve	28	0.90	0.032	0.82
Çelik	ikili	18	0.89	0.014	1.06
	eğilme çerçeve	10	0.87	0.020	1.02
	çapraz takviye	27	0.42	0.044	0.72

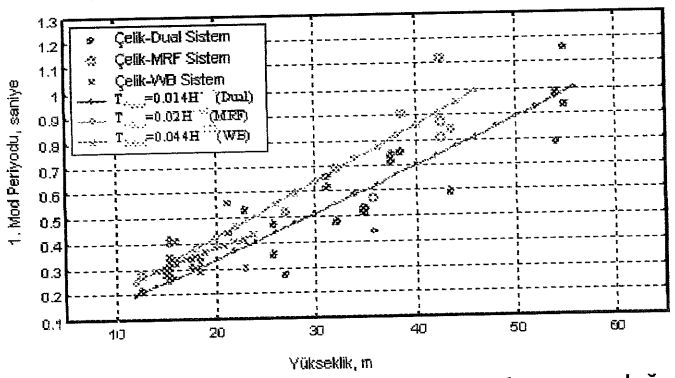
Grafiklerde Kullanılan Terimler

RC: Betonarme binalar; Steel: Çelik binalar; Dual: İkili yanal takviyeli sistem (eğilme çerçeve ve kesme duvar veya eğilme çerçeve ve çapraz)
MRF: Moment Rsisting Frames: Eğilme Çerçeve Sistemler
WB: Wind Bracings: Çapraz sistemler

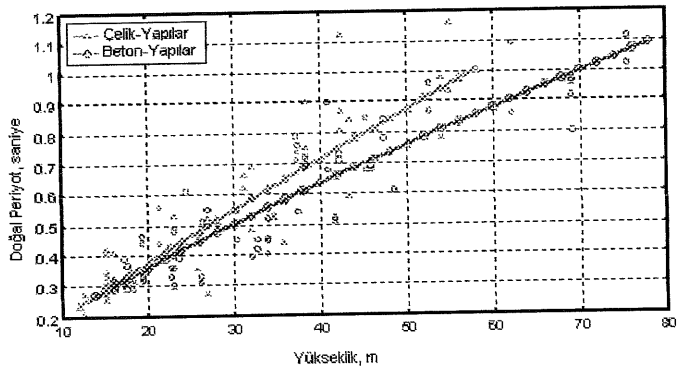


Şekil 1.3. Tüm betonarme binaların yüksekliğe göre doğal periyotları

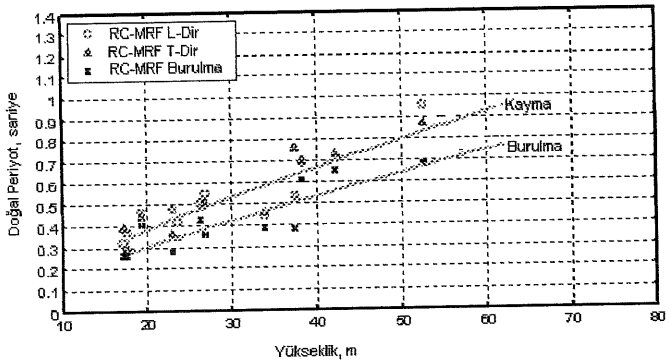
görüldüğü gibi betonarme binalarda eğilme çerçeve sistemli binaların eğrisi, az olsa da ikili sistemli binaların eğrisinin üstündedir. Eğer binanın yapımında Dolgu Duvarlar kullanılmazsa, ya da dolgu duvarlar, çerçeveden ayrı tutulsa, o zaman her iki sistemle yapılan binaların titreşim periyotları daha da uzun olacaktı. Dolgu duvarlar, çerçeveli sistemlerin rijitliğini kesme duvarlı sistemlere göre daha da artırır.



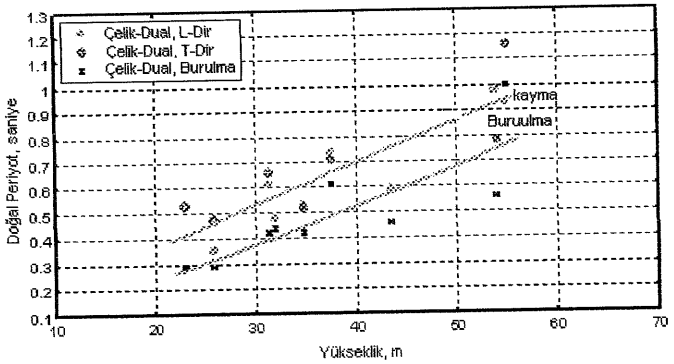
Şekil 1.4. Tüm çelik binaların kayma modlarının tanınmış doğal periyotları



Şekil 1.5. Tüm çelik ve betonarme binaların kayma modlarının tanınmış doğal periyotları

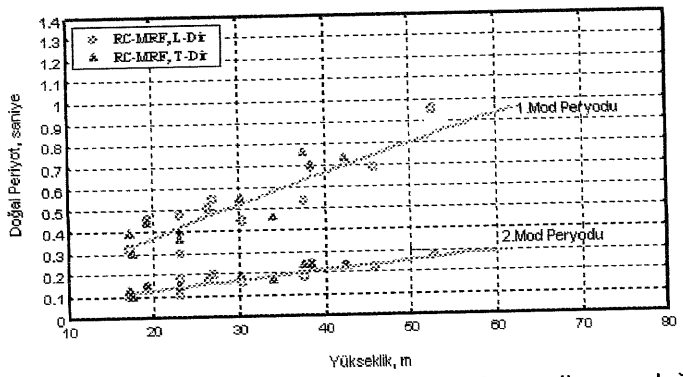


Şekil 1.6. Betonarme binalarda burulma ve kayma mod periyotlarının yüksekliğe göre değişimi

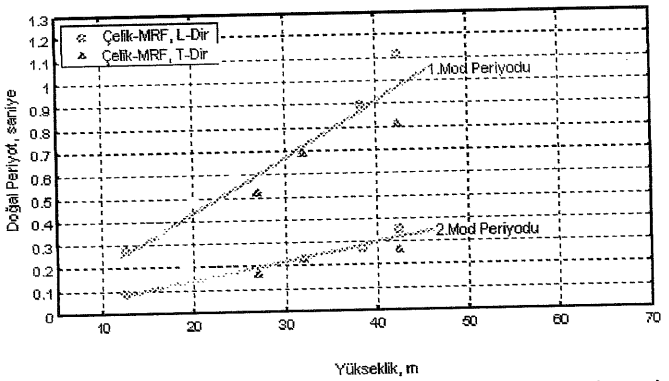


Şekil 1.7. Çelik binalarda burulma ve kayma modlarının periyotlarıyüksekliğe göre grafiği

Görüldüğü gibi hem betonarme ve hemde çelik binalarda, burulma periyotlarına ait eğri, kayma periyotlarinin eğrisi altında yer almaktadır. Genelde binaların burulma modunun periyodu, yanal yönlerin periyoduna göre dahada kısadır. Genellikle merkez rijit çekirdek sistemli binalarda veya rijit merkeze yakın kesme duvarlı binalarda burulma modun periyodu, kayma modların periyodundan daha da uzundur. Binalarda kayma modun, burulma moda göre oranı, önemli parametlereden biri olarak bilinmektedir. Çünkü kayma ve burulma modlalrın miktarları birbirine yakın olması bina titreşimlerinde burulma-kayma girişimler (kuplajlar) için gereken potansiyeli sağlar. Bu parametre hemde bina planında yanal takviye elemanlarının dağılımı konusunda bir gösterge olarak kullanılı



Şekil 1.8. Betonarme binaların yanal yönlerdeki 1. ve 2. modlarının doğal periyotlarının, binanın yüksekliğine göre değişimler



Şekil 1.9. Çelik binaların yanal yönlerdeki 1. ve 2. modlarının doğal periyotlarının, binanın yüksekliğine göre değişimleri

1. Modun periyodunun 2. Modun periyoduna göre oran miktari, binanın kesme ya

da eğilme konsol gibi davranıp-davranmadığının bir göstergesi olarak dikkate alınır.

Büyük çaplı titreşimlerde Binlarin Dinamik Özelliklerinin Değişiminin incelenmesi

Genel olarak şiddetli titreşimlerde, yapının periyodu ve sönüm oranı küçük çaplı titreşimlere göre oran olarak daha da büyüktür. Bu fark aşağıdaki nedenlerden dolayı kaynaklanmaktadır.

- Şiddetli titreşimlerde zemin yapı etkileşiminin küçük çaplı titreşimlere göre daha da büyük olması.
- Çelik elemanların birleştiği noktalarda olası kaymalar.
-Yapısal elemanlar ve yapısal olmayan elemanların etkileşimi, özellikle şiddetli titreşimlerde.
- Yapının rijitliğinde meydana gelen değişim.(Chopra, 1995)

Karşılaştırma

Bu bölümde, bazı ünlü binalar üzerinde yapılan dinamik deneyler ve deprem kayıtları sonuçları karşılaştırılmıştır. Amaç binaların küçük ve büyük çaplı titreşimlerdeki dinamik özellikleri arasında bağlantı kurmaktır. Bu bağlantı $R = \frac{T_{Earthquake}}{T_{Low-Amplitiude}}$ olarak dikkate alınmıştır (Razegi, 2005; www.quake.ca.gov).

Çizelge 1.2. Binaların istatistik sonuçları

Oranların Standart Sapması	Oranların Ortalaması	En Büyük Oran	En Az Oran	Veri Sayısı	Bina Çeşidi
0.13	1.27	1.55	1.04	39	Tüm binalar
0.05	1.49	1.55	1.43	8	Betonarme Bina
0.07	1.23	1.37	1.12	17	Çelik Bina

Görüldüğü gibi betonarme binaların oran ortalaması çelik binaların oran ortalamasından daha da büyüktür. (Razegi, 2005). Bu karşılaştırmalardan anlaşılıyor ki binanın titireşim periyodu, titreşim genliği artışına bağlı olarak farklı değerler kazanır. Çevresel titreşimlerden elde edilen titreşim periyotları aslında bu

değerlerin en küçüğü olarak kabul edilir. Marshal ve arkadaşları (1994), 5 betonarme ve çelik binaya ait çevresel titreşimler yöntemiyle elde edinen sonuçlar ile Lomaperita depreminin kayıtları arasında yapıtıkları karşılaştırmada şu sonucu vardılar ki, binanın deprem anındaki periyodunun tahmin edilmesi için çevresel titreşimlerden elde edinen periyotların, 1.11-1.25'te çarpılması gerekir.

Sonuçlar ve Oneriler

İncelenen sonuçlar gösteriyor ki, binanın yüksekliği ve binada kullanıla yanal takviye sistemleri (çerçeve, kesme duvar ve çapraz sistem) binanın titreşimlere göre periyodunu etkilemektedir. Bu durum binanın çeşidine ve takviye sistemine göre değişir. Genel olarak çelik binalara ait periyot -yükseklik eğrisi, betonarme binalara ait eğrinin üstünde yer alır. Hem çelik hem de betonarme binalarda, burulma periyotlarına ait eğri, kayma periyotlarının eğrisi altında yer alır. Binalarda kayma modunun, burulma moduna göre oranı, önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir. Çünkü kayma ve burulma modlarının miktarları birbirine yakın olması bina titreşimlerinde burulma-kayma girişimler için gereken potansiyeli sağlar. Öte yandan bu parametre bina planında yanal takviye elemanlarının dağılımı konusunda bir gösterge olarak dikkate alınabilir. 1. mod periyodunun 2. mod periyoduna göre oran değeri, binanın kesme yada eğilme konsol gibi davranıp davranmadığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilire . Geçmişteki deprem tecrübeleri gösteriyor ki, yapının dinamik özellikleri yapının titreşim genliğine göre değişir. Halbuki basit modeller üzerinde yapılan analizlerde periyot ve sönüm, titreşim genliğinden bağımsız olarak ele alınmaktadır. Gerçek bir yapıda, yapının periyodu ve sönümü sistemin titreşim genliğinin artmasıyla değişir. Bu değişim zemin-yapı etkileşimi, çelik elemanların birleştiği noktalarda olası kaymalar, yapısal elemanlar ve yapısal olmayan elemanların etkileşimi, yapının rijitliğinden meydana gelen değişim, dolgu duvarların tesiri gibi nedenlerden kaynaklanır. Bundan dolayı küçük çaplı titreşimlerden elde edilen sonuçları direk olarak büyük çaplı titreşimler analizinde kullanılması hatalı sonuçlara yol açmaktadır.

Kaynaklar

Lİ, Y., MA, S. T., (1997)."Learning from recorded earthquake motion of buildings". *Journal of Strıctural Engneering* ., ASCE,123(1), 62-66.

CHOPRA, A. K., (1995). "Dynamics of Structures: Theory an Applications To Earthquake Engineering". Prentice-hall, Englewood Cliffs;N.J.

WARD, H. S., CRAWFORD, R.(1996). "wind-induced ribrations and building modes".Bulletin of siesmological society of America 56(4),793-813

MİLANİ, SALİM. A., (2003), Determine of Dynamic properties of structures applied Measurement amplitude of Vibrations. Tabriz University, Master's Thesis

GOEL, R. K.. CHOPRA, A. K. (1997). "Period formulas for moment-resisting

RAZEGİ, D. M. (2005)" Investigation of the changes of dynamic properties of the buildings to amplitude of vibrations.Tabriz University, Master's Thesis.

MARSHALL, R, D., PHAN, L. T., ÇELEBİ, M. (1994). Full-scale measurment of building response to ambient vibration and the Loma Prieta Earthquake .