

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ YERLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK  
MİNARELERİN DİNAMİK ANALİZİ**

**Gökçe AKBULUT TAŞ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2015**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ YERLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK  
MİNARELERİN DİNAMİK ANALİZİ**

**Gökçe AKBULUT TAŞ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2015**

Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ danışmanlığında, Gökçe AKBULUT TAŞ'ın hazırladığı "**Ayarlı Kütle Sönümleyici Yerleştirilmiş Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi**" konulu bu çalışma 20/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ .....

Üye : Prof. Dr. M. Arif GÜREL .....

Üye : Doç. Dr. Ersin AYDIN .....

**Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
**Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
2.1. Yapıların Kontrol Sistemleri ve Sınıflandırılması .....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	9
3.1. Örnek Minare ve Onun Ayarlı Kütle Yerleştirilmiş Eşleniği .....	9
3.1.1. Seçilen Normal Minare ve Aynı Minarenin AKS Uygulanmış Durumu İçin Geometrik ve Malzeme Özellikleri .....	9
3.2. ÇSDS için AKS Teorisi .....	11
3.2.1. Sönümlü Yapı ve Sönümlü AKS .....	11
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	15
4.1. Aks'nin Optimum Parametreleri Kullanılarak Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Örnek Minareye Uygulanması .....	15
4.1.1. NM Modelinin Modal Analizi .....	16
4.2. Rüzgar Yükünün Belirlenmesi .....	20
4.2.1. Rita Kasırgasına Ait Temel Hız Değerlerinin Belirlenmesi .....	20
4.2.2. Rüzgar Hızının Zamana Bağlı Olarak Belirlenmesi .....	21
4.2.3. Rüzgar Hızının Basıncının Belirlenmesi .....	25
4.2.4. Tasarım Rüzgar Kuvvetini Belirlenmesi .....	26
4.2.5. NM ve AKSM Modellerinin Rüzgar Yükleme Altında Dinamik Davranışlarının İncelenmesi .....	28
4.3. Harmonik Hareketin İncelenmesi .....	29
4.4. Deprem Etkisinin İncelenmesi .....	30
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	34
KAYNAKLAR .....	35
ÖZGEÇMİŞ .....	36

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ YERLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MİNARELERİN DİNAMİK ANALİZİ

Gökçe AKBULUT TAŞ

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ  
Yıl:2015, Sayfa: 44

Dünyanın birçok farklı bölgesinde şiddetli rüzgârlar ve depremler nedeniyle minareler yıkılmakta, buna bağlı olarak can ve mal kayıpları oluşmaktadır. Bu çalışmada seçilen yüksek betonarme bir minare ile bu minarenin ayarlı kütle sönümleyicisi (AKS) yerleştirilmiş halinin, Rita kasırgasından elde edilen rüzgâr kuvvetleri, harmonik hareket ve seçilen deprem hareketleri etkisi altında dinamik davranışları araştırılmıştır. Seçilen minare ve ayarlı kütle yerleştirilmiş eşleniği için zaman tanım alanında analizler yapılarak, Rita kasırgası için AKS yerleştirilmiş minaredeki yapısal sönüm artışı, harmonik ve deprem hareketleri için yatay tepe yer değiştirmeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar yüksek minarelere ayarlı kütle sönümleyicisi yerleştirilmesinin kasırgaların oluşturduğu rastgele titreşimlerde minarenin sönümünü yaklaşık olarak 2 kat artırarak tepkiyi büyük ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Sonuçlar ayrıca, ayarlı kütle sönümleyicilerin minarelerin hakim frekansına yakın frekanslardaki harmonik ve harmonik harekete yakın yer hareketlerinde oluşan en büyük genliği azaltmada da çok etkili olduklarını ve bu etkilerinin rezonans frekansından uzaklaştıkça azaldığını göstermiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Yüksek minareler, kasırga, deprem, ayarlı kütle sönümleyicisi.

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **DYNAMIC ANALYSIS OF HIGH MINARETS ON WHICH TUNED MASS DAMPER IS PLACED**

**Gökçe AKBULUT TAŞ**

**Harran University  
Graduate School of Natural And Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ  
Year: 2015, Page: 44**

Minarets are collapsing at many different locations of the world due to winds and earthquakes, and as a consequence loss of lives and properties is occurring. In this study, the dynamic behavior of a high concrete minaret and a form of this minaret on which Tuned Mass Damper (TMD) is placed had been researched under the effect of wind forces obtained from Rita Hurricane, harmonic motion and selected earthquake motions. Time history analyses had been made for the selected minaret and for its counterpart in which tuned mass damper is placed, and the structural damping increase of the minaret on which TMD had been placed and horizontal peak displacements for harmonic and earthquake motions had been determined for the Rita Hurricane. The obtained results had revealed that the placement of Tuned Mass Damper at high minarets increase the damping of minaret at random vibrations generated by the hurricanes by about 2 times and significantly decreases the reaction. The results had also indicated that the (TMD) are very effective in decreasing the largest amplitude composed at harmonic and nearly harmonic ground motions at frequencies close to the prevailing frequency of the minarets, and that their effect decreases as departing from the resonance frequency.

**KEYWORDS:** High minarets, hurricane, earthquake, tuned mass damper.

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın hazırlanması sırasında akademik bilgi birikimiyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ'e en derin teőekkürlerimi sunarım.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 1.1. Yüksek minarelere sahip bazı camiler .....	2
Şekil 1.2. Fas'taki II. Hasan Camisi .....	3
Şekil 1.3. Ataşehir Mimar Sinan Cami .....	4
Şekil 1.4. Kırıkkale Nur Caminin panoromik görünümü .....	4
Şekil 1.5. Kırıkkale Nur Cami inşaatından bir görüntü .....	4
Şekil 1.6. Rüzgâr etkisiyle yıkılan bazı minareler .....	5
Şekil 2.1. Atatürk Havaalanı dış hatlar binasında kurulu olan AKS .....	7
Şekil 2.2. Taipei 101'de kurulu olan AKS .....	7
Şekil 3.1. Normal minare (NM) boy ve bazı en kesitleri .....	10
Şekil 3.2. Tek serbeslik dereceli sistemle birleştirilmiş sönümlü ayarlı kütle sönümleyicisi .....	11
Şekil 3.3. Ayarlı kütle sönümleyicisinin optimal parametrelerinin belirlenmesi .....	13
Şekil 4.1. Ayarlı kütle sönümleyicisinin minarenin külâh kısmında oluşturulması .....	15
Şekil 4.2. Normal minarenin iki analiz modeli .....	16
Şekil 4.3. 2D toplu kütleli modelin ilk iki moduna ait mod şekilleri .....	18
Şekil 4.4. Rita kasırgasına ait hız-zaman grafiği .....	20
Şekil 4.5. Örnek minarenin 16 parçaya bölünmüş durumu .....	23
Şekil 4.6. 1. (2.56 kotu) ve 16. (76.28 kotu) düğüm noktalarına eti eden tasarım rüzgâr hızı ve rüzgâr kuvveti değişimi .....	27
Şekil 4.7. NM ve AKSM modelleri için ivme güç spektrum eğrileri .....	29
Şekil 4.8. Harmonik hareket etkisinde NM ve AKSM'nin davranışlarının karşılaştırılması .....	30
Şekil 4.9. Analizlerde kullanılan depremlere ait ivme kayıtları .....	31
Şekil 4.10. NM ve AKSM'nin seçilen deprem kayıtları etkisinde oluşan yerdeğiştirme grafikleri .....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
Çizelge 4.1. 3D ve 2D modellerine ait ilk birkaç moda ait periot değerleri.....	17
Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri.....	32

## SİMGELER DİZİNİ

AKS	Ayarlı Kütle Sönümleyicisi
ÇSDS	Çok Serbestlik Dereceli Sistem
TSDS	Tek Serbestlik Dereceli Sistem
NM	Normal Minare
AKSM	Ayarlı Kütle Sönümleyicili Minare
$m_d$	Sönümleyicinin kütlesi
$c_d$	Sönümleyicinin sönümü
$u_d$	Sönümleyici kütlede oluşan yer değiştirme miktarı
$a_g$	Zemin ivmesi
$p$	Ana yapıya dışarıdan uygulanan dış kuvvet
$k$	Ana yapının rijitliği
$\rho$	Harmonik dış kuvvetin açısal frekansının, ana yapının açısal frekansına oranı
$f$	Sönümleyicinin açısal frekansının, ana yapının açısal frekansına oranı
$f_{opt}$	Sönümleyicinin açısal frekansının, ana yapının açısal frekansına optimal oranı
$\xi$	Ana yapının sönüm oranı
$\bar{m}$	Sönümleyicinin kütlesinin, ana yapının kütlesine oranı
$\bar{m}_{opt}$	Sönümleyicinin kütlesinin, ana yapının kütlesine optimal oranı
$\xi_{dopt}$	Ayarlı kütle sönümleyicisinin, optimal sönüm oranı
$n$	Dinamik serbestlik derecesi
$\delta_j$	$j$ . düğüm noktasına ait esneklik katsayısı
$\Psi_{n \times n}$	Esneklik (fleksibilite) matrisi
$M$	Sistem kütle matrisi
$K$	Sistem rijitlik matrisi
$C$	Sistem sönüm matrisi
$u$	Yapının yer değiştirme vektörü
$\dot{u}$	Yapının hız vektörü
$\ddot{u}$	Yapının ivme vektörü
$U$	Modal vektör
$\tilde{m}_i$	Modal kütle
$\tilde{k}_i$	Modal rijitlik
$\tilde{c}_i$	Modal sönüm
$\bar{V}(\bar{z}, t)$	Toplam rüzgâr hızı
$\hat{V}(\bar{z}, t)$	Dalgalanma rüzgâr hızı
$V$	Temel rüzgâr hızı
$\bar{z}$	Yerden olan yükseklik
$\bar{a}, \bar{b}$	Konum sabitleri
$\eta_1$	Ana yapının birinci doğal frekansı
$G_f$	Dinamik etki faktörü
$L_{\bar{z}}$	Türbülans uzunluğu
$N_1$	Normalize edilmiş boyutsuz frekans
$R_n$	Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu
$h$	Yapının toplam yüksekliği
$L$	Yapının rüzgâr yönüne paralel ölçülen boyutu
$B$	Yapının rüzgâr yönüne dik ölçülen boyutu
$R$	Rezonans faktörü
$I_{\bar{z}}$	Referans yüksekliğindeki türbülans şiddeti

$Q$	Korelasyon faktörü
$q_z$	Rüzgâr hız basıncı
$K_{\bar{z}}$	Konum basınç hızı katsayısı
$K_{z_i}$	Topografik katsayı
$K_d$	Rüzgâr yönü katsayısı
$F$	Tasarım rüzgâr kuvveti
$C_f$	Rüzgâr kuvvet katsayısı
$A_f$	Rüzgârın etkiye yönüne dik alan
$f_1, f_2$	Güç spektrumu eğrisinde özel frekanslar
$M_s$	Yüzey dalgası büyüklüğü

## 1. GİRİŞ

Kule, baca ve yüksek yapıların aşırı titreşimlerini azaltmak için önerilen Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin (AKS) kullanımı, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında etkili bir yol olarak görülmektedir. Yapıya yerleştirilen ikinci kütle için doğal frekansı, yaklaşık olarak yapının birinci doğal frekansına yakındır bu nedenle yapıyla ikinci kütle arasında rezonans anında büyük göreceli yer değiştirmeler oluşur. Bu yer değiştirmeler nedeniyle oluşan sönüm etkisiyle yapıda oluşan mekanik enerji harcanarak titreşim sönümlenir (Frahm, 1911).

Kütle sönümleyicisi kullanılarak titreşim kontrol kavramı 1909 yılından önce Frahm isimli bilim adamının dinamik titreşim sönümleyicisi olarak adlandırdığı titreşim kontrol aletini keşfetmesine dayanır. Kütle sönümleyicisi araştırmalarına olan ilgi geçtiğimiz yıllarda yeniden canlanmıştır. Günümüzde rüzgâr ve orta büyüklükteki depremlere karşı ayarlı kütle sönümleyicilerin farklı çeşitlerinin yerleştirilmediği hiç bir yüksek yapı kalmamıştır (Leung ve Zhang, 2009). Vickery ve Davenport Sydney Kulesinde kütle sönümleyicili ve sönümleyicisiz aero elastik model deneyleri yapmıştır. Onlar iki serbestlik dereceli sisteme eşdeğer olarak modellenmiş büyük kütle sönümleyiciler için beyaz gürültü etkisi altında çalışarak parametrik bir metot sundular (Vickery ve Davenport, 1970). Isyumov ve arkadaşları Citicorp Center binası için kütle sönümleyicili ve sönümleyicisiz aero elastik model deneylerini gerçekleştirdiler (Isyumov ve ark., 1975). McNamara (1977), Luft (1979) ve Wiesner (1979) Citicorp Center ve John Hancock Kulelerine ayarlı kütle sönümleyicisinin optimal parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalıştılar. Beyaz gürültü veya sinüzoidal hareket etkisindeki modeller üzerine parametrik çalışmalar devam etmiştir. Tanaka ve Mak (1983) rastgele hareketin özelliklerinin kütle sönümleyicilerin performansına etkisini fark ettiler ve sınırlandırılmış beyaz gürültü hareketini rüzgâr hareketine uyarlayarak AKS nin parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalıştılar. Sladek ve Klinger (1983) El Centro depremi etkisi altında AKS nin çok serbestlik dereceli bir sistemin (ÇSDS) davranışına olan etkisini incelemiş ve AKS nin yapının tepkisini önemli ölçüde azaltmadığını bulmuştur. AKS yerleştirilmesinin, ana yapının en büyük yer değiştirmesinin azaltılmasında çok

küçük bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Villaverde ve Koyama AKS yerleştirilmiş yapıyı rezonansa getiren zemin hareketlerinde tepkinin büyük ölçüde azaldığını ve zemin hareketinin hakim frekansının AKS yerleştirilmiş yapının doğal frekansından uzaklaştıkça, etkinin de azaldığını gösterdiler (Villaverde ve Koyama, 1993). Sadek ve arkadaşları çok serbestlik dereceli bir sistemin (ÇSDS) özel bir modunu kontrol etmek için yapının tek serbestlik dereceli sistem (TSDS) gibi ele alınabileceğini ve AKS'nin optimum parametrelerinin bu sisteme göre belirlenebileceğini önerdiler (Sadek ve ark., 1997).

Minareler eskiden beri camilerin yanlarında inşa edilen ve Müezzin tarafından ezan vasıtasıyla insanları ibadete çağırmak için kullanılan kule tipi yapılardır (Doğangün ve ark., 2006). Günümüzde ses sistemlerinin kullanılması nedeniyle minareler uzun zamandan beri bu amaçla kullanılmamaktadır, fakat camilerin çok çarpıcı bir parçası olarak yapılmaya devam edilmektedir (Pekgökgöz ve ark., 2013).

Günümüzde minareler dünyanın birçok bölgesinde farklı yüksekliklerde betonarme ve yığma malzemeler kullanılarak inşa edilmektedir. Özellikle görkemli ve büyük camilerle birlikte yüksek betonarme minarelerin inşası devam etmektedir. Şekil 1.1'de bu minarelerden bazı örnekler gösterilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 1.1. Yüksek minarelere sahip bazı camiler: (a) II. Hasan camii, Casablanca, Fas; (b) Ataşehir Mimar Sinan Camii, İstanbul, Türkiye; (c) Nur Camii, Kırıkkale, Türkiye

Dünyanın en yüksek minaresi, 210 m yüksekliği ile Fasın Casablanca ilinde yer alan ve 1988 yılında tamamlanan II. Hasan camisine ait minaredir. Fransız mimar Michel Pinseau tarafından tasarlanan ve Bouygues tarafından inşa edilen

camii, Atlantik kıyısında denizin doldurulması ile elde edilen bir alan üzerine inşa edilmiştir. Aynı anda 25.000 kişinin cami içinde 80.000 kişinin avluda namaz kılmasına olanak verecek derecede geniş olan caminin minaresi, 210 metrelik uzunluğu ile dünyanın en uzun minaresidir. II. Hasan camisinin farklı açılardan çekilmiş fotoğrafları Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.2. Fas’taki II. Hasan Camisi

Şekil 1.3’de İstanbul’da Mimar Sinan anısına yaptırılan ve 2012 yılında tamamlanan Ataşehir Mimar Sinan Camii görülmektedir. Mimar Sinan Camisinde toplamda 35 adet kubbe, 184 adet kemer, 293 adet pencere ve 12 adet kapı bulunmaktadır. Ana kubbe yüksekliği 42 metre çapı 27 metredir. 4 adet minareli caminin toplam cemaat kapasitesi 10.000 kişidir.

Ayrıca Mimar Sinan’ın "ustalık eseri" olan Edirne’deki Selimiye Camii’nin mimarisi örnek alınarak Kırıkkale’de 4 yıl önce inşasına başlanan Nur Camisinin minareleri de yüksek olarak inşaa edilmiştir. Minare yüksekliği yaklaşık 80 metre olup 3 şerefeli minarelerden 4 adet yer almaktadır. Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’de Nur Camisinden görüntüler yer almaktadır.



Şekil 1.3. Ataşehir Mimar Sinan Cami

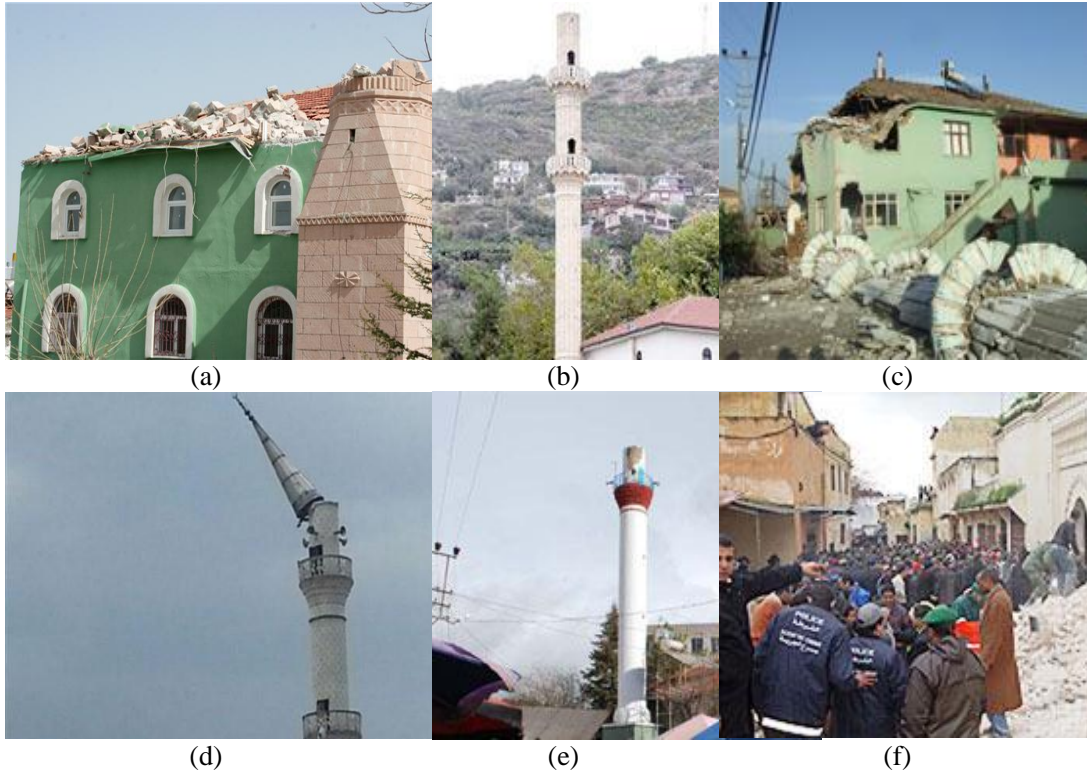


Şekil 1.4. Kırıkkale Nur Caminin panoramik görünümü



Şekil 1.5. Kırıkkale Nur Cami inşaatından bir görüntü

Narin yapılar olan minareler, yüksek bacalar ve kuleler; deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklere karşı oldukça zayıf bir dayanım gösterirler. Dünyada ve Türkiye’de birçok minarenin, depremlerde ve kasırgalarda yıkıldığı ve bu nedenle can ve mal kayıpları yaşandığı bilinmektedir. Şekil 1.6’da şiddetli rüzgâr etkisiyle yıkılmış bazı minarelerin fotoğrafları gösterilmiştir. Hasar resimlerinin incelenmesinden, minarelerin kısmen veya tamamen yıkıldığı ve kullanılamaz hale geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 1.6. Rüzgâr etkisiyle yıkılan bazı minareler a) Aksaray 13 Mart 2013 b) Alanya 21 Ekim 2012 c) Samsun (Bafra) 18 Aralık 2010 d) Aydın (Cine) 17 Temmuz 2013 e) Yozgat (Sarıkaya) 01 Ekim 2010 f) Morocco Fas 20 Şubat 2010

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Yapıların Kontrol Sistemleri ve Sınıflandırılması

Günümüze kadar yapı tasarımları birçok aşamadan geçmiştir. Deprem doğal afet ve acil durumlarda öncelikli kullanılması gerektirilen yapılar için birçok çözümler geliştirilmiştir. Gelişen teknoloji ve yapılan çalışmaların birikimleri doğrultusunda bu çalışmalar klasik ve modern dönem olarak isimlendirilebilir. Klasik dönemde sadece statik kuvvetler dikkate alınmış, modern dönem de ise dinamik yükler de dikkate alınarak bir etki altında yapının dayanımı hedeflenmiştir.

Bu evre post modern dönemini de yapısal kontrol sistemlerini yapılara uygulamaya başladığında tamamlamıştır. Yapısal kontrol sistemleri uygulandığı yapıda dışarıdan maruz kaldığı etkiye karşı dirençli davranışı ve iç donanımlarının korunmasını sağlar. Yapısal kontrol sistemleri 4 bölümde incelenebilir.

- Aktif kontrol sistemleri
- Pasif kontrol sistemleri
- Yarı aktif kontrol sistemleri
- Karma sistemler

Yapısal kontrol sistemleri ülkemizde ve dünyada birçok yapıda farklı çeşitleri ile uygulanmıştır. Şekil 2.1’de Atatürk Uluslararası Havaalanında kolonlar ile uzay kafes sistem arasına yerleştirilerek üst kısmın izolasyonunu sağlayan sürtünmeli sarkaç taşıyıcıların bir örneği aynı şekilde Şekil 2.2’de dünyanın en büyük ayarlı kütle sönümleyicisi kurulu olan Taipei 101 binasından bir resim görülmektedir.



Şekil 2.1. Atatürk Havaalanı dış hatlar binasında kurulu olan izolatör



Şekil 2.2. Taipei 101'de kurulu olan AKS

Yüksek yapılara yerleştirilen ayarlı kütle sönülmeyicilerin (AKS) yerleştirildikleri yapılarda sönümü artırarak, rüzgâr gibi yatay yüklerden oluşan yerdeğiştirmeleri azalttığı bilinmektedir. Bu durum dinamik davranışları, yüksek

yapılara benzeyen yüksek minarelerin rüzgâra karşı daha dayanıklı yapılabileceği fikrini ortaya koymuştur. Yapılan literatür incelenmesi sonucu, minarelere AKS'lerin yerleştirilmesiyle ilgili mevcut bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu sonuç yüksek minarelere AKS yerleştirerek, minarelerin şiddetli rüzgârlara karşı dinamik davranışlarının iyileştirilebileceği ve dayanımlarının artırılabilirliği düşüncesiyle böyle bir araştırmanın yapılmasının gerekli olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmada fırtına ve deprem yükleri etkisi altındaki yüksek minarelere AKS yerleştirmesinin, minarenin dinamik davranışına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda öncelikle yüksek minareleri temsil edecek bir minare seçilmiş ve bu minarenin geometrik ve malzeme özellikleri sunulmuştur. Normal minare (NM) ve eşdeğeri AKS yerleştirilmiş minarenin (Ayarlı Kütle Sönümleyicili Minare: AKSM) sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bu modeller için modal analiz gerçekleştirilerek, minarelerin doğal periyotları ve bunlara karşı gelen mod şekilleri belirlenmiştir. Daha sonra her iki modelin dinamik davranışları, harmonik zemin hareketi, iki farklı deprem hareketi ve bir fırtınaya ait hız verileri kullanılarak zaman tanım alanında lineer dinamik inceleme yapılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sunulmuştur.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Örnek Minare ve Onun AKS Yerleştirilmiş Eşleniği

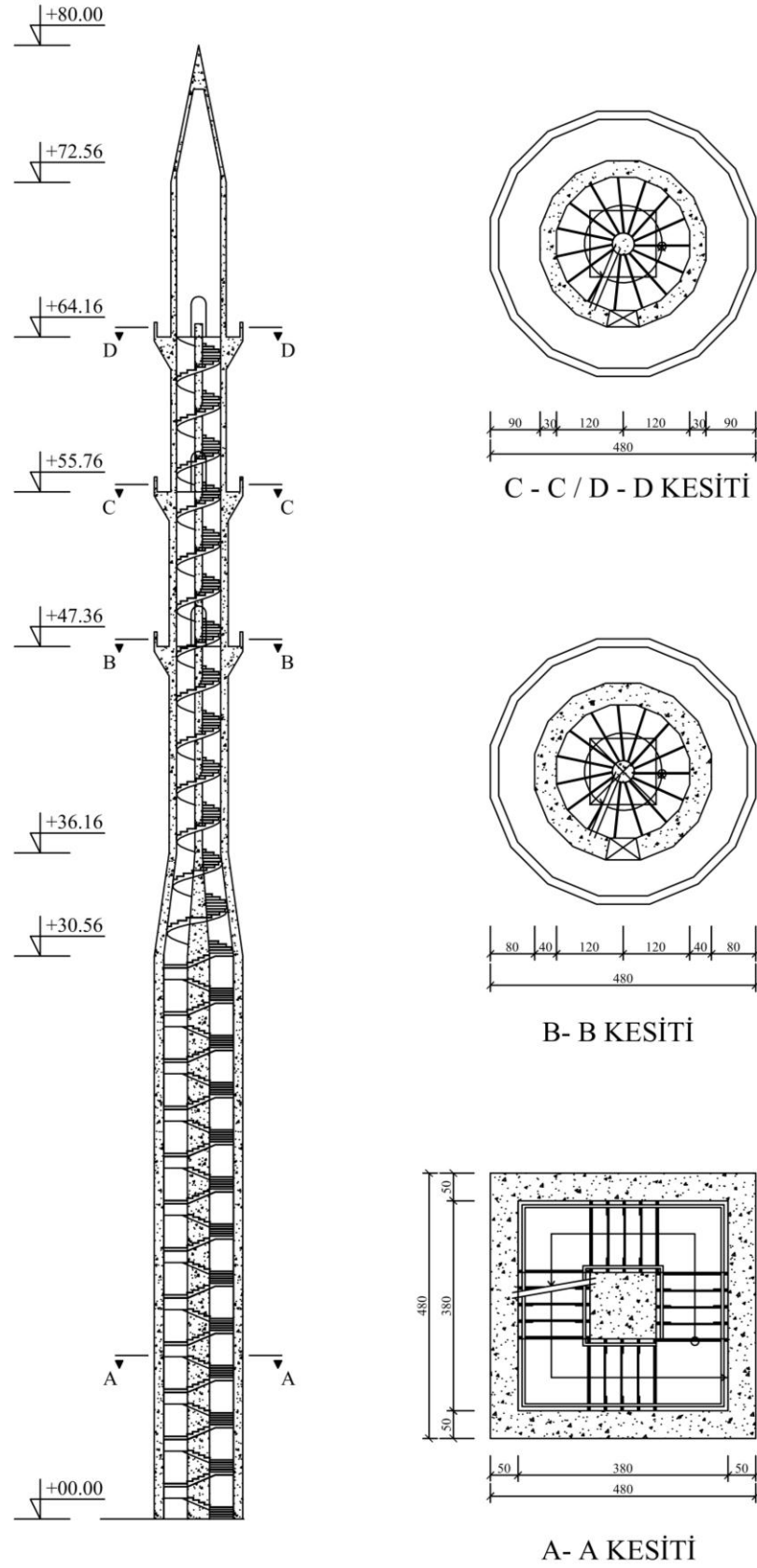
##### 3.1.1. Seçilen normal minare ve aynı minarenin AKS uygulanmış durumu için geometrik ve malzeme özellikleri

Yüksek minare ifadesinden en az üç şerefeye sahip ve yüksekliği 60 m den daha fazla olan minareler kastedilmektedir. Bu çalışmada yüksek minareleri temsil edecek üç şerefeli, yüksekliği 80 m olan bir betonarme minare seçilmiştir. Şekil 3.1'de seçilen minarenin bazı boy kesit ve en kesiti görünüşleri verilmiştir. Minarenin temelden geçiş kesitine kadar olan bölümü kare plana sahiptir ve üst gövdesi 16 kenarlı düzgün poligon şeklindedir. Geçiş kesiti, ana gövdeyle üst gövde arasında yer almaktadır. Minare, ortasında yer alan çekirdek kesit etrafında dönerek yükselen konik bir merdivene sahiptir.

Çalışmanın amacı AKS yerleştirilmesinin yüksek minarelerin dinamik davranışına olan etkisini incelemek olduğundan, modellerin dinamik davranışlarını basitleştirmek ve zaman tanım alanında doğrusal analiz (lineer time history analiz) yapabilmek için betonarme malzeme hem çekmede, hem de basınçta aynı davranışa sahip lineer elastik davranış gösteren malzeme olarak kabul edilmiştir. Betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı 30 MPa, elastisite modülü  $32 \times 10^3$  MPa, poisson oranı 0.2 ve birim hacim ağırlığı  $24 \text{ kN/m}^3$  olarak alınmıştır.

#### 3.2. ÇSDS İçin AKS Teorisi

Ayarlı kütle sönümleyicisi (AKS) yapının dinamik davranışını iyileştirmek amacıyla, kütle, yay ve sönümleyiciden meydana gelmiş bir mekanizmanın, yapı ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Connor (2003) kitabının 4. bölümünde AKS'nin teorisini ve tasarımını tek serbestlik dereceli bir sistemin (TSDS) harmonik kuvvet, harmonik zemin hareketi etkisinde incelenmesini anlatarak başlamıştır.

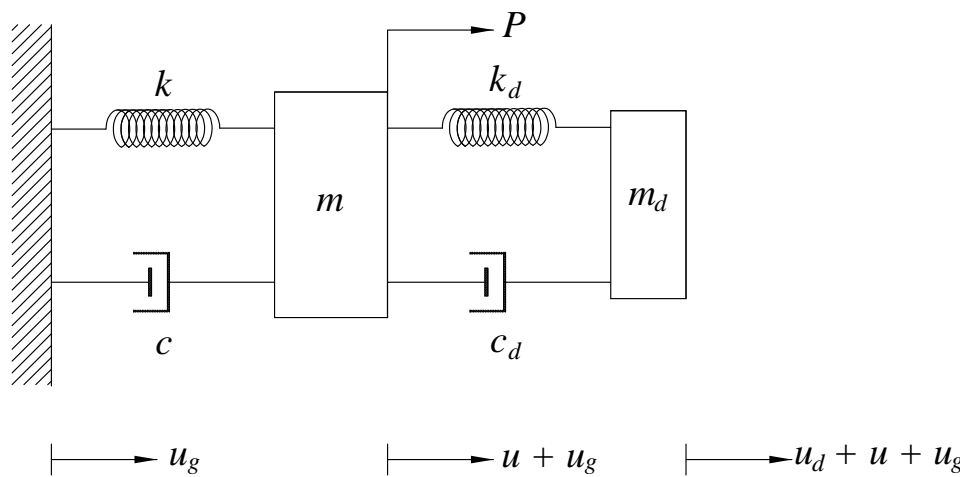


Şekil 3.1. Normal minare (NM) boy ve bazı en kesitleri (boyutlar boy kesitte m, enkesitlerde ise cm cinsindedir)

Dördüncü bölümün sonraki kısımlarında, sönümsüz AKS ile sönümsüz TSDS, sönümlü AKS ile sönümsüz TSDS, sönümlü AKS ile sönümlü TSDS sistemleri incelemiştir. Dördüncü bölümün son kısmında ise time history analizi yaparak TSDS sistemin optimal uyumlu durumu için belirlenen AKS ile harmonik ve sismik hareket etkisini incelenmiştir. Daha sonra bu teori AKS nin özel bir moddaki titreşimi kullanılarak çok serbestlik dereceli sistemlere (ÇSDS) uyarlanmıştır. Bu çalışmada AKSM nin optimal parametrelerinin belirlenmesinde Connor (2003)'ün kaynak eserinin ilgili bölümlerinden yararlanılmıştır. Yazar bu konuda ayrıntılı bilgi edinmek isteyen araştırmacıların yukarıda bahsedilen kaynak esere başvurmalarını tavsiye etmektedir.

### 3.2.1. Sönümlü yapı ve sönümlü AKS

Bütün yapılar bir miktar sönüm içerirler. Ana yapıya yerleştirilecek AKS'nin tasarımında önemli olan optimal uyumun belirlenmesi için ana yapının sönümünün belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 3.2'de gösterilen ana yapı, kütle  $m$ , rijitliği  $k$  olan bir yay ve viskoz sönümleyiciden  $c$  oluşmaktadır. AKS sisteminde ise kütle  $m_d$ , rijitlik  $k_d$  ve viskoz sönümleyici  $c_d$  mevcuttur. Sisteme dışarıdan dış kuvvet ve zemin hareketi etki etmektedir. Bu şartlar altında sistemin hareket denklemlerini aşağıdaki gibi yazabiliriz.



Şekil 3.2. Tek serbestlik dereceli sistemle birleştirilmiş sönümlü ayarlı kütle sönümleyicisi

$$m_d \ddot{u}_d + c_d \dot{u}_d + k_d u_d + m_d \ddot{u} = -m_d a_g \quad (3.1)$$

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u - c_d \dot{u}_d - k_d u_d = -m a_g + p \quad (3.2)$$

Dış kuvvetin ve yer hareketinin periyodik olması durumu için sistemin çözümü,

$$\bar{u} = \frac{\hat{p}}{k} H_5 e^{i\delta_5} - \frac{\hat{a}_g m}{k} H_6 e^{i\delta_6} \quad (3.3)$$

$$\bar{u}_d = \frac{\hat{p}}{k} H_7 e^{-i\delta_7} - \frac{\hat{a}_g m}{k} H_8 e^{i\delta_8} \quad (3.4)$$

şeklindedir.  $\rho = \frac{\Omega}{\omega}$  ve  $f = \frac{\omega_d}{\omega}$  olmak üzere, denklem (3.3) ve (3.4)' de yer alan  $H$

ve  $\delta$  değerleri ve onlarla ilgili çeşitli parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Connor, 2003):

$$H_5 = \frac{\sqrt{[f^2 - \rho^2]^2 + [2\xi_d \rho f]^2}}{|D_3|} \quad (3.5)$$

$$H_6 = \frac{\sqrt{[(1+\bar{m})f^2 - \rho^2]^2 + [2\xi_d \rho f(1+\bar{m})]^2}}{|D_3|} \quad (3.6)$$

$$H_7 = \frac{\rho^2}{|D_3|} \quad (3.7)$$

$$H_8 = \frac{\sqrt{1 + (2\xi \rho)^2}}{|D_3|} \quad (3.8)$$

$$|D_3| = \left\{ -f^2 \rho^2 \bar{m} + (1 - \rho^2)(f^2 - \rho^2) - 4\xi \xi_d f \rho^2 \right\}^2 + 4 \left\{ \xi \rho (f^2 - \rho^2) + \xi_d f \rho (1 - \rho^2 (1 + \bar{m})) \right\}^2 \quad (3.9)$$

$$\delta_5 = \alpha_1 - \delta_7 \quad (3.10)$$

$$\delta_6 = \alpha_2 - \delta_7 \quad (3.11)$$

$$\delta_8 = \alpha_3 - \delta_7 \quad (3.12)$$

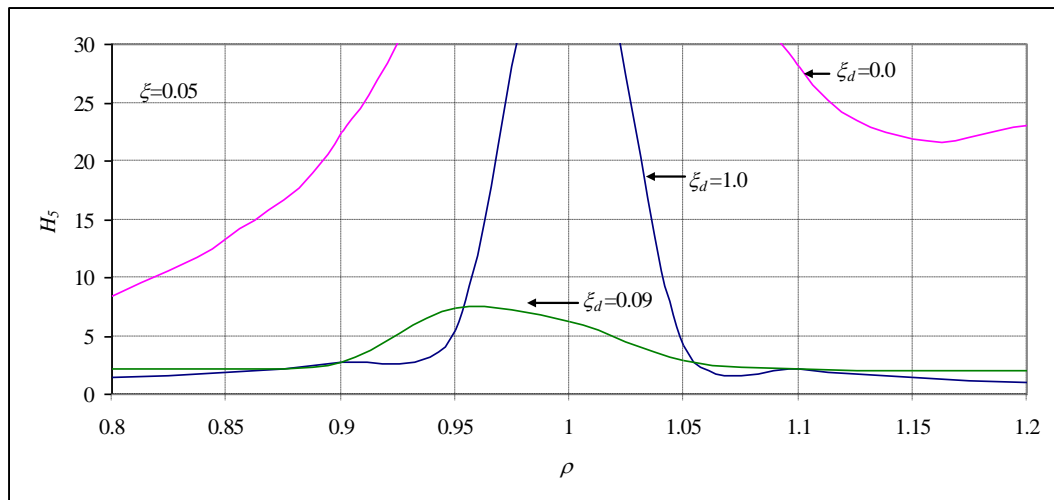
$$\tan \delta_7 = 2 \frac{\xi \rho (f^2 - \rho^2) + \xi_d f \rho (1 - \rho^2 (1 + \bar{m}))}{-f^2 \rho^2 \bar{m} + (1 - \rho^2)(f^2 - \rho^2) - 4\xi \xi_d f \rho^2} \quad (3.13)$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{2\xi_d \rho f}{f^2 - \rho^2} \quad (3.14)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{2\xi_d \rho f (1 + \bar{m})}{(1 + \bar{m}) f^2 - \rho^2} \quad (3.15)$$

$$\tan \alpha_3 = 2\xi \rho \quad (3.16)$$

Birincil kütleye dışarıdan bir kuvvet uygulandığı kabul edilsin.  $|D_3|$  denkleminde  $\xi$  terimi bulunduğundan, analitik olarak kütle oranı içeren optimal uyum frekansı ve optimal sönüm oranı hesaplanamaz. Bu değişkenler  $\xi$ 'ye bağlıdır. Bu durumda,  $\rho$  nun belirli değerlerini kullanarak ( $\rho = 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2$ ) verilen  $\bar{m}$ ,  $\xi$ ,  $f$  ve  $\xi_d$  için sayısal değerlendirme gerçekleştirilerek,  $H_5$  ve  $H_7$ 'yi belirleyebiliriz. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi  $\bar{m}$  ve  $\xi$ 'nin özel değerleri için  $f$  ve  $\xi_d$ 'yi belirli bir aralıkta değiştirilerek,  $H_5$  düşey ekseninde ve  $\rho$  yatay ekseninde olmak üzere bir grafik çizebiliriz. Çizilen her bir  $H_{5-\rho}$  grafiği,  $H_5$  en büyük tepe değerini bulundurur.  $H_5$  en küçük tepe noktasını veren  $f$  ve  $\xi_d$  değerleri optimal durumu gösterir. Bu işlemlere yeniden  $f$  ve  $\xi_d$  belirlenen optimal değerleri sabit tutularak  $\bar{m}$  ve  $\xi$  nin farklı değerleri denenerek  $H_5$  en küçük tepe değeri bulununcaya kadar devam edilir. Böylece AKS'nin optimal değerleri olan  $\bar{m}_{opt}$ ,  $f_{opt}$ ,  $\xi_{dopt}$  ve  $\rho_{1opt}$ ,  $\rho_{2opt}$  değerleri belirlenmiş olur. Betonarme yapılarda sönüm oranı  $\xi$  değeri genellikle 0.05 olarak alınmaktadır. Bu çalışmada da  $\xi$  değeri 0.05 olarak alınmış ve Şekil 3.3'de gösterilen grafikten yararlanılarak AKS'nin optimal değerleri  $\bar{m}_{opt}$ ,  $f_{opt}$ ,  $\xi_{dopt}$ ,  $\rho_{1opt}$ ,  $\rho_{2opt}$  değerleri sırasıyla 0.02, 0.956, 0.09, 0.953 ve 1.058 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Ayarlı kütle sönümleyicisinin optimal parametrelerinin belirlenmesi

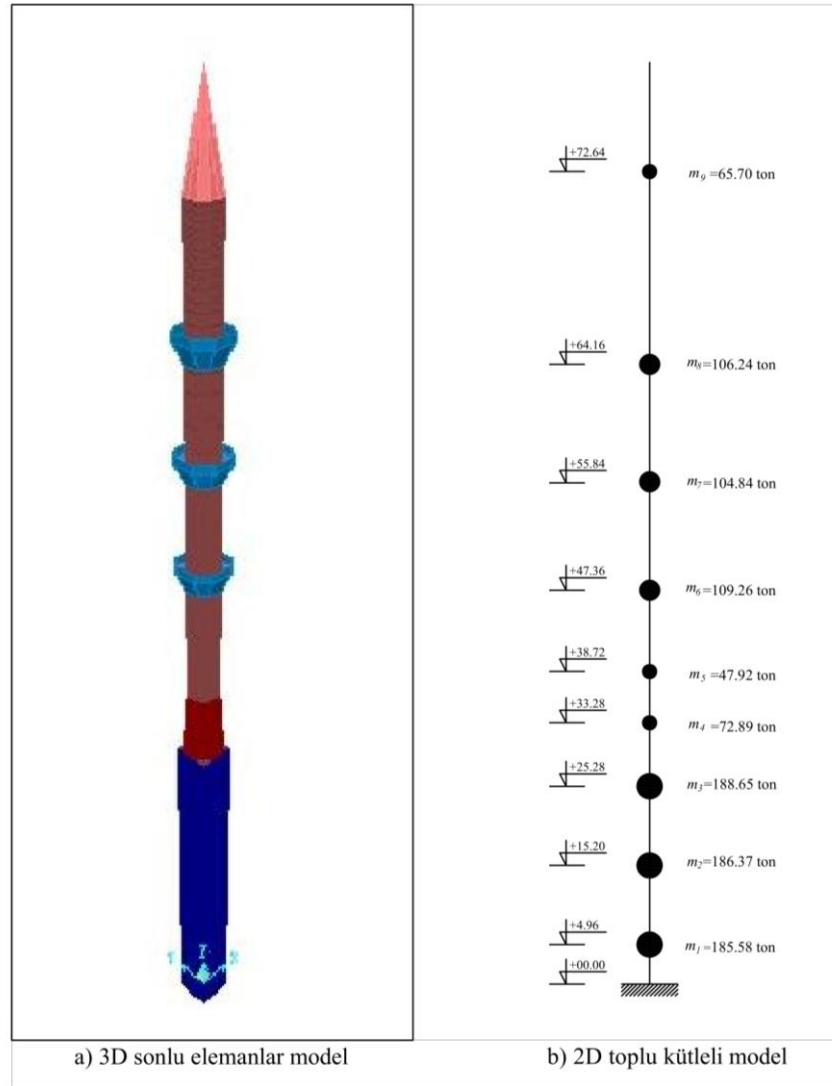
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. AKS'nin Optimum Parametreleri Kullanılarak Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi ve Örnek Minareye Uygulanması

Son çeyrek asırda, bilgisayar teknolojisinde hızlı bir gelişim yaşanmıştır. Bu durum bilgisayarların çalışma hızlarını ve hafıza kapasitelerini artırmıştır. Bu süreç içerisinde bilgisayar programları da gelişmiş ve birçok farklı mühendislik alanındaki problemleri çözebilen yazılımlar geliştirilmiştir. Kullanılan yöntemler arasında sonlu elemanlar yöntemi, sınır elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemi ve ayırık elemanlar yöntemi gibi birçok yöntemi saymak mümkündür. Sonlu elemanlar yöntemi, yapıların statik ve dinamik analizlerinde sıkça kullanılan yöntemlerden birisidir. Bilim adamları ve mühendislerin sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapan SAP2000, ABAQUS, ANSYS gibi yazılımlarla farklı yük ve tasarım şartlarına sahip yapıların statik ve dinamik davranışlarını hızlı ve doğru bir şekilde anlamaları mümkün olmuştur.

Bu çalışmada, NM ve AKSM minareleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak SAP2000 programıyla modellenmiştir. NM modelinde, 4323 kabuk, 9024 solid eleman ve AKSM modelinde ise 4339 shell, 9024 solid, 8 adet link eleman kullanılmıştır. AKSM modelinde, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi AKS, minarenin en üst bölümü olan konik on altıgen şeklindeki külah kısmı sekiz adet link elemanı üzerinde taşınarak ikincil kütle meydana getirilmiştir. Külah kısmı ikincil kütle olarak kullanıldığından, ilave bir kütlenin yerleştirilmesine gerek kalmamıştır. Böylece AKSM modelinde, ikincil kütlenin yerleştirilmesinden dolayı oluşan kütle artışı engellenmiştir.





Şekil 4.2. Normal minarenin iki analiz modeli

1. Sırasıyla her bir kütlenin bulunduğu  $i$ . inci düğüm noktasına 1 birimlik eşit kuvvet uygulanacaktır.

2. Bu yüklemelerden sırayla her bir  $j$ . inci katın yer değiştirmesi belirlenecektir. Bu değer,  $j$ . düğüm noktasına ait esneklik katsayısı  $\delta_{ji}$  ( $i, j=1,2,\dots,n$ ) olacaktır.

3. Böylece esneklik matrisi  $\psi_{n \times n}$  boyutlu olarak elde edilecektir.

4. Rijitlik matrisi,  $K$  esneklik matrisinin tersi alınarak belirlenir.

Yukarıda anlatılan yöntemle hesaplanan kütle matrisi  $M$  ve rijitlik matrisi  $K$  aşağıda verilmiştir.

$$[M] = \begin{bmatrix} 185.58 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 186.37 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 188.65 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 72.89 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 47.92 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 109.26 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 104.84 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 106.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 65.7 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$[K] = 10^5 \begin{bmatrix} 8.971 & -3.421 & 1.23 & 0.291 & -1.283 & 1.069 & -1.015 & -0.483 & 0.191 \\ -3.421 & 3.224 & -1.419 & -0.728 & 1.572 & -1.011 & 0.036 & 0.422 & -0.174 \\ 1.23 & -1.419 & 0.736 & 0.721 & -1.321 & 0.778 & -0.108 & -0.265 & 0.134 \\ 0.291 & -0.727 & 0.721 & -0.169 & 0.028 & -0.306 & 0.262 & -0.028 & -0.033 \\ -1.283 & 1.572 & -1.321 & -0.028 & 1.005 & -0.608 & -0.212 & 0.433 & -0.146 \\ 1.069 & -1.011 & 0.778 & -0.306 & -0.608 & 0.945 & -0.165 & -0.421 & 0.207 \\ -0.015 & 0.036 & -0.108 & 0.262 & -0.212 & -0.165 & 0.427 & -0.302 & 0.069 \\ -0.483 & 0.422 & -0.264 & -0.028 & 0.433 & -0.421 & -0.302 & 0.743 & -0.328 \\ 0.191 & -0.173 & 0.134 & -0.033 & -0.146 & 0.207 & 0.069 & -0.328 & 0.169 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

2D toplu kütleli modelin hareket denklemi, dış kuvvet ve zemin hareketi etkisi altında aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

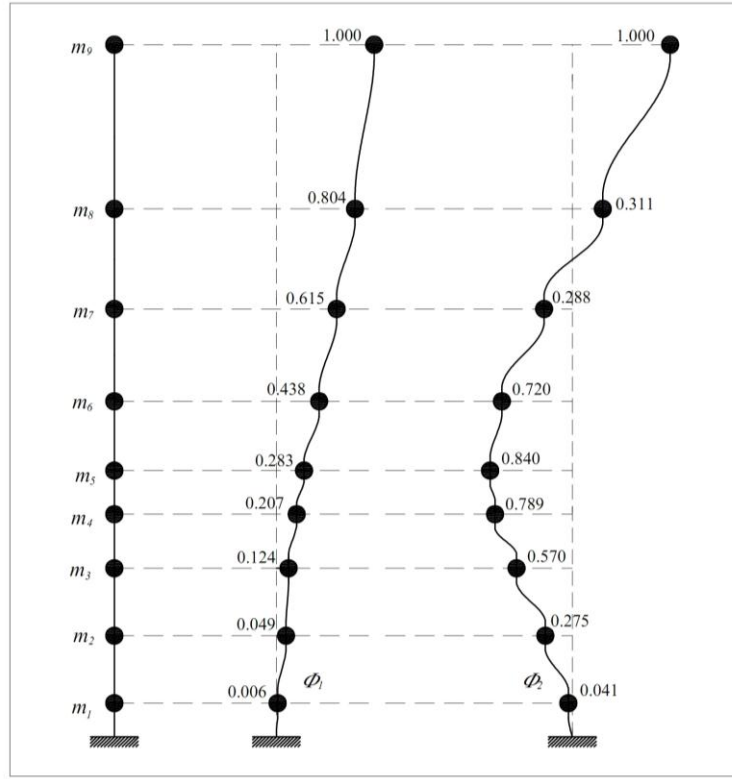
$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = P - Ma_g \quad (4.3)$$

Burada  $u=[u_1, u_2, \dots, u_n]^T$ ,  $n$  boyutlu bütün kütlelerin yatay yer değiştirmelerini içeren yer değiştirme vektörünü,  $\dot{u}$  ve  $\ddot{u}$  sırasıyla yapının hız ve ivme vektörünü göstermektedir. Toplu kütleli sistemlerin sönüm matrisi  $C$  genellikle Rayleigh sönüm kullanılarak oluşturulur.  $P$ ,  $n$  boyutlu rüzgâr yükü vektörünü ve  $a_g$  zemin hareketinden oluşan zemin ivmesini ifade etmektedir.

Daha sonra modal analiz gerçekleştirilmiş ve NM modelinin  $U$  modal vektör ve koordinatları belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de NM modelinin modal periyotları ve Şekil 4.3'de ise toplu kütleli modelin ilk iki moduna ait mod şekilleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 3D ve 2D modellerine ait ilk birkaç moda ait periyot değerleri.

Model	Mod Yönü	1. x	2. x	3. x	4. x	5. x
3D	Periyot (s)	2.262	1.060	0.515	0.350	0.227
2D	Periyot (s)	2.259	0.497	0.196	0.096	0.066



Şekil 4.3. 2D toplu kütleli modelin ilk iki moduna ait mod şekilleri

$U$  modal vektör,

$$U = \phi_1 q_1 + \phi_2 q_2 + \dots + \phi_n q_n \quad (4.4)$$

olarak yazıldığında  $\phi_i$  elemanlarının gösterimi ve ilk iki moda ait  $\phi_i$  değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\phi_i = [\phi_{i1}, \phi_{i2}, \dots, \phi_{in}]^T \quad (4.5)$$

$$\phi_1 = [0.006 \ 0.049 \ 0.124 \ 0.207 \ 0.283 \ 0.438 \ 0.615 \ 0.804 \ 1.0]^T \quad (4.6)$$

$$\phi_2 = [-0.041 \ -0.275 \ -0.57 \ -0.789 \ -0.84 \ -0.72 \ -0.288 \ 0.311 \ 1.0]^T \quad (4.7)$$

Çok serbestlik dereceli bir sistem (ÇSDS), hareketin özel bir modu için  $\tilde{m}_i$  modal kütle,  $\tilde{k}_i$  modal rijitlik ve  $\tilde{c}_i$  modal sönüm hesaplanarak, tek serbestlik dereceli bir sistem (TSDS) gibi göz önüne alınabilir.

Sistemin 1. modu için,

$$\tilde{m}_1 = \phi_1^T M \phi_1 = 205.26 \text{ ton} \quad (4.8)$$

$$\tilde{k}_1 = \phi_1^T K \phi_1 = 1587 \text{ kN/m} \quad (4.9)$$

Değerleri elde edilmiştir. Betonarme yapılar için 1. yani hakim modun sönüm oranı  $\xi_1$ 'i yaklaşık olarak %5 alabiliriz. Buna göre  $\alpha$  katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\alpha = \frac{2\xi_1}{\omega_1} = \frac{0.1}{2.828} = 0.0354 \quad (4.10)$$

Sönümün rijitlikle orantılı olduğunu kabul edersek,

$$C = \alpha K \quad (4.11)$$

yazılır. Modal sönüm ise şöyle belirlenmiştir.

$$\tilde{c}_1 = \phi_1^T C \phi_1 = 56.18 \text{ kNs/m} \quad (4.12)$$

Bölüm 3.1 de AKS'nin belirlenen  $\bar{m}_{opt}$ ,  $f_{opt}$ ,  $\xi_{dopt}$  optimum değerleri ve  $\tilde{m}_1$ ,  $\tilde{k}_1$ ,  $\tilde{c}_1$  değerleri kullanılarak, AKS'nin modellenmesinde kullanılan yapısal özellikleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$m_d = \tilde{m} \bar{m} = 205.26 \times 0.02 = 4.12 \text{ ton} \quad (4.13)$$

$$k_d = \tilde{m} f_{opt}^2 \tilde{k}_1 = 0.02 \times 0.956^2 \times 1587 = 29 \text{ kN/m} \quad (4.14)$$

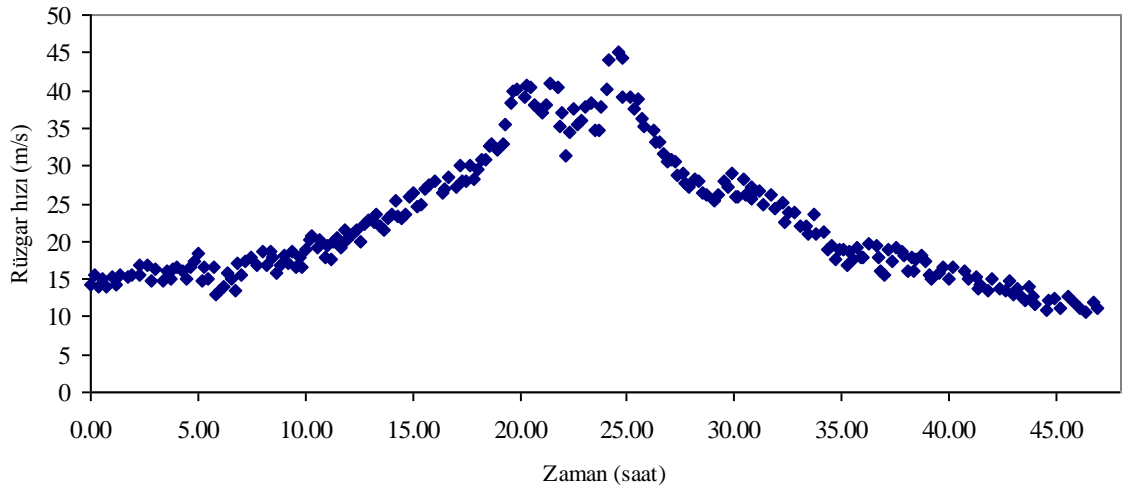
$$\omega_d = \sqrt{k_d / m_d} = \sqrt{29 / 4.12} = 2.65 \text{ rad/s} \quad (4.15)$$

$$c_d = 2 \xi_{dopt} \omega_d m_d = 2 \times 0.09 \times 2.65 \times 4.12 = 1.967 \text{ kNs/m} \quad (4.16)$$

## 4.2. Rüzgâr Yükünün Belirlenmesi

### 4.2.1. Rita kasırgasına ait temel hız değerlerinin belirlenmesi

ABD'nin Meksika körfezi kıyılarını 18-24 Eylül 2005 tarihleri arasında etkileyen Rita kasırgası, Teksas-Louisiana eyalet sınırlarında karaya ulaşmıştır. Rita kasırgasının Safir-Simpson ölçeğine göre 5. kategoride olduğu ve rüzgâr hızının yaklaşık olarak 220 km/saat'e ulaştığı belirtilmiştir. Safir-Simpson kasırga ölçeği rüzgâr hızına bağlı olarak 1-5 arasında ölçeklendirilmiştir. Can kaybı ve hasar oluşturabilecek potansiyeldeki kasırgalar 3 ve üzerindeki kasırgalar olarak değerlendirilmektedir. Rita kasırgasının 42001 numaralı ölçüm istasyonunda kaydedilen zamanla rüzgâr hızının değişimini gösteren kayıt Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu kayıt 10 m yüksekliğindeki Anemometre cihazından 10 dakikalık zaman aralığındaki rüzgâr hızlarının ortalaması alınarak elde edilmiş rüzgâr hızı ortalamalarının zamana bağlı olarak işaretlenmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Rita kasırgasına ait hız-zaman grafiği. (<http://www.ndbc.noaa.gov/hurricane/2005/rita>)

#### 4.2.2. Rüzgâr hızının zamana ve yüksekliğe bağlı olarak belirlenmesi

Rüzgâr atmosferdeki gazların yer değişimiyle oluşan ve zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişen bir olaydır. Rüzgâr belirli bir zaman aralığı için ortalama rüzgâr hızı ve dalgalanma bölümlerinden oluştuğu düşünülerek tanımlanabilir. Ortalama rüzgâr hızı belirli bir zaman dilimi içerisindeki rüzgâr hızlarının ortalaması alınarak belirlenir. Kısa süren fırtınalarda bile küçük bir zaman aralığında yüksek rüzgâr hızlarına ulaşılabilir. Rüzgârın önemli bir özelliği de hızının yüksekliğe bağlı olarak değişmesidir. Yüzey sürtünme etkisi yere yakın hava akış hareketini geciktirdiği için kademeli bir rüzgâr hızı değişimi oluşmaktadır. Rüzgâr hızını arazi tipi ve topografik faktörler de etkilemektedir. Rüzgâr yükünün belirlenmesi için hazırlanan yönetmeliklerde temel bir rüzgâr hızı tanımlanmaktadır. Amerikan ve Avustralya rüzgâr yükü yönetmeliklerinde temel rüzgâr hızı üç saniyelik zaman dilimi içerisinde açık arazi şartlarında ve yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızlarının ortalamasından belirlenmektedir. İngiliz ve Kanada yönetmeliklerinde ise bir saatlik zaman dilimi içerisinde açık arazi şartlarında ve yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızlarının ortalaması olarak alınmaktadır.

Toplam rüzgâr hızı  $\bar{V}(\bar{z}, t)$  yerden yükseklik olan  $\bar{z}$  ye bağlı olarak aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanabilir,

$$\bar{V}(\bar{z}, t) = \bar{V}_{\bar{z}} + \hat{V}(\bar{z}, t) \quad (4.17)$$

Burada  $\hat{V}(\bar{z}, t)$  zemin yüzeyinden ölçülen yükseklik ve zamana bağlı olarak tanımlanan dalgalanma rüzgâr hızını göstermektedir. Ortalama rüzgâr hızı  $\bar{V}_{\bar{z}}$  ise rüzgârın statik bileşeni olarak adlandırılır ve yapıya etki eden rüzgâr hızlarının belirlenen bir zaman dilimindeki ortalamasına karşı gelir. Bu çalışmada rüzgâr hızı ve rüzgâr yükünün belirlenmesinde ASCE 7-05 (2005) yönetmeliğinden yararlanılmıştır. Bu yönetmeliğe göre

$$\bar{V}_{\bar{z}} = \bar{b} \left( \frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (4.18)$$

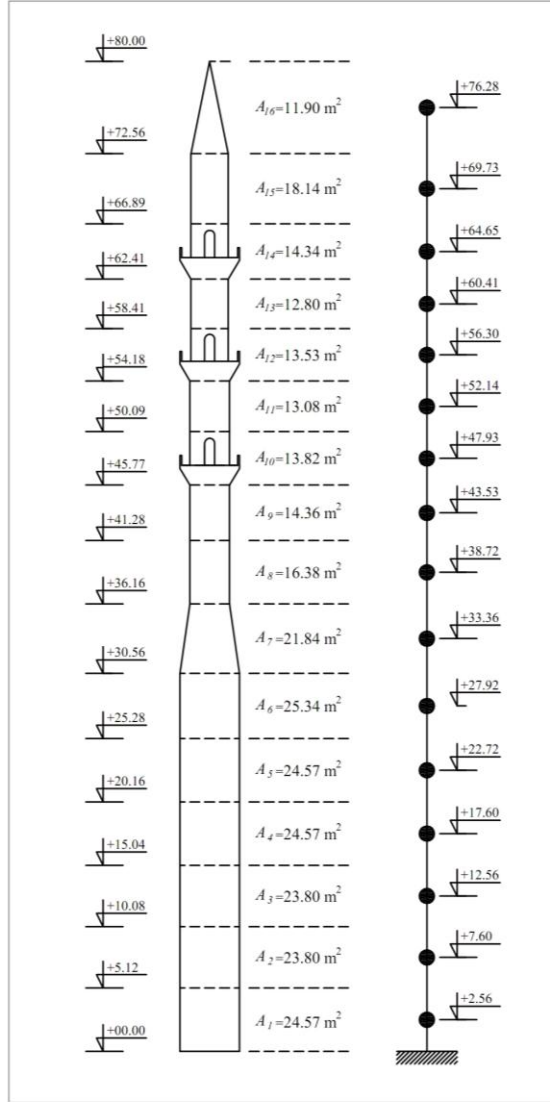
olarak verilmektedir. Burada  $\bar{b}$  ve  $\bar{\alpha}$  konum sınıflandırmasına bağlı olarak değişen sabitlerdir ve  $V$  temel rüzgâr hızını (m/s) temsil etmektedir. Belirlenmek istenilen

yükseklik  $\bar{z}$  ye bağlı olarak  $\bar{V}_{\bar{z}}$  ortalama rüzgâr hızı denklem (4.18) kullanılarak hesaplanabilir. Minarenin yerden toplam yüksekliği 80 m dir. Bu yükseklik 16 parçaya bölünerek yaklaşık olarak eşit aralıkta fakat farklı kotlarda, rüzgâr yüklerinin minareye uygulanacağı 16 nokta elde edilmiştir. Bu noktalar ve yerden yükseklikleri Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Bu 16 noktanın yerden yükseklikleri  $\bar{z}$  değeri olarak alınmış ve her bir nokta için ayrı ayrı  $\bar{V}_{\bar{z}}$  değerleri hesaplanmıştır. Temel rüzgâr hızı  $V$  ise yukarıda özellikleri ve zamana bağlı olarak değişen hız değerleri verilen Şekil 4.4 Rita kasırgasının hız değerleri olarak alınmıştır. Bu çalışmada minarenin bulunduğu yer etrafı açık olan,  $C$  grubu konum sınıfında bir yerde olduğu kabul edilerek  $\bar{\alpha}$  ve  $\bar{b}$  katsayıları sırasıyla ilgili yönetmelikten 1/6.5 ve 0.65 olarak alınmıştır.

Dalgalanma rüzgâr hızı  $\hat{V}(\bar{z}, t)$  ise ortalama değer etrafındaki hız değişimlerini ifade eden dinamik rüzgâr hızını göstermektedir. Birçok mühendislik uygulamalarında dalgalanma rüzgâr hızının rüzgâr kuvvetine katkısı, rüzgârın statik bileşeninden oluşan kuvvetin, dinamik etki faktörü olarak hesaplanan katsayı ile çarpılarak artırılmasıyla hesaba katılır. Dinamik etki faktörü hâkim frekansı 1 Hz den büyük olan rijit yapılar için yaklaşık olarak 0.85 alınabilir. Hâkim frekansı 1 Hz den küçük narin yapılar için aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanmaktadır. Bu değer temel rüzgâr hızı  $V$  ve yerden yükseklik olan  $\bar{z}$  ye bağlı olarak değişmektedir.

Burada örnek olması açısından yalnızca  $V$  ve  $\bar{z}$  nin 177 km/saat (110 mph) ve 48 m değerleri için denklem (4.18)’den  $\bar{V}_{\bar{z}}$  146.45 km/h (91 mph) olarak belirlenerek, dinamik etki faktörü  $G_f$  hesaplanmıştır. Yapının doğal frekansı  $n_1$  olup minare için 0.45 Hz olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak  $g_R$ ,

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600n_1)}} \quad (4.19)$$



Şekil 4.5. Örnek minarenin 16 parçaya bölünmüş durumu

$$= \sqrt{2 \ln(3600 \times 0.45)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600 \times 0.45)}} \cong 4.0 \quad (4.20)$$

olarak belirlenmiştir. Konum C sınıfı için ASCE 7-05 (2005) Tablo 6.2'de  $l$  ve  $\bar{\epsilon}$  sırasıyla 152.4 m, 1/5.0 olarak verilmiştir. Buna bağlı olarak türbülans uzunluğu

$L_z$

$$L_z = l \left( \frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} = 152.4 \left( \frac{48}{10} \right)^{1/5.0} = 208.56 \text{ m} \quad (4.21)$$

olarak hesaplanmıştır. Normalize edilmiş boyutsuz frekans  $N_1$ ,

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{\bar{V}_z} = \frac{0.45 \times 208.56}{91} = 1.03 \quad (4.23)$$

olarak, ve türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu  $R_n$  için

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{(1 + 10.3 N_1)^{5/3}} = \frac{7.47 \times 1.03}{(1 + 10.3 \times 1.03)^{5/3}} \cong 0.13 \quad (4.24)$$

değeri elde edilmiştir. Yapının yüksekliği  $h$ , yapının rüzgâr yönüne paralel ölçülen boyutu  $L$  ve yapının rüzgâr yönüne dik ölçülen boyutu  $B$  olmak üzere, bu değerler sırasıyla 80 m ve minare dairesel kesitli olduğundan yaklaşık olarak  $L=B=3.20$  m alınmıştır. Rezonans faktörü  $R$ 'nin hesaplanmasında kullanılan değişkenler aşağıda verilmektedir.

$$\eta = 4.6 n_1 h / \bar{V}_z = 4.6 \times 0.45 \times 80 / 91 \cong 1.82 \quad (4.25)$$

$$R_h = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{1.82} - \frac{1}{2 \times 1.82^2} (1 - e^{-2 \times 1.82}) = 0.402 \quad (4.26)$$

$$\eta = 4.6 n_1 B / \bar{V}_z = 4.6 \times 0.45 \times 3.2 / 91 \cong 0.072 \quad (4.27)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{0.072} - \frac{1}{2 \times 0.072^2} (1 - e^{-2 \times 0.072}) = 0.955 \quad (4.28)$$

$$\eta = 15.4 n_1 L / \bar{V}_z = 15.4 \times 0.45 \times 3.2 / 91 \cong 0.244 \quad (4.29)$$

$$\eta > 0 \text{ için } R_L = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) = \frac{1}{0.244} - \frac{1}{2 \times 0.244^2} (1 - e^{-2 \times 0.244}) = 0.857 \quad (4.30)$$

$$\eta = 0 \text{ için } R_L = 1 \quad (4.31)$$

Rezonans faktörü  $R$  için

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_b (0.53 + 0.47 R_L)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{0.05} \times 0.13 \times 0.402 \times 0.955 \times (0.53 + 0.47 \times 0.857)} = 0.965 \end{aligned} \quad (4.32)$$

Değeri elde edilmiştir. Konum  $C$  sınıfı için ASCE 7-05 (2005) Tablo 6.2’de  $c$  değeri 0.20 olarak verilmiştir. Referans yüksekliğindeki türbülans şiddeti  $I_{\bar{z}}$ ,

$$I_{\bar{z}} = c \left( \frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6} = 0.20 \times \left( \frac{10}{48} \right)^{1/6} = 0.154 \quad (4.33)$$

ve korelasyon faktörü  $Q$ ,

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left( \frac{B+h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0.63}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left( \frac{3.2+80}{208.56} \right)^{0.63}}} \cong 0.86 \quad (4.34)$$

olarak belirlenmiştir. İlgili yönetmelikte  $g_Q$  ve  $g_V$ ’nin 3.4’e eşit olduğu belirtilmektedir. Bu durumda dinamik etki faktörü  $G_f$  aşağıda verilen ifadeyle hesaplanılabılır.

$$G_f = 0.925 \left( \frac{1 + 1.7 I_{\bar{z}} \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 g_V I_{\bar{z}}} \right) \quad (4.35)$$

$$G_f = 0.925 \left( \frac{1 + 1.7 \times 0.154 \sqrt{3.4^2 \times 0.86^2 + 4^2 \times 0.965^2}}{1 + 1.7 \times 3.4 \times 0.154} \right) \cong 1.11 \quad (4.36)$$

#### 4.2.3. Rüzgâr hız basıncının belirlenmesi

Rüzgâr hız basıncı  $q_z$  yüksekliğe bağlı olarak aşağıda verilen ifadeyle hesaplanabilir;

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d \bar{V}_{\bar{z}}^2 I \quad (N/m^2) \quad (4.37)$$

Burada, ASCE 7-05 (2005) yönetmeliğine göre,  $K_z$  konum basınç hızı katsayısı Bölüm 6.5.6.6’da Tablo 6-3’den,  $K_{zt}$  topografik katsayı Bölüm 6.5.7.2’de,  $K_d$  rüzgâr yönü katsayısı Bölüm 6.5.4.4’de,  $\bar{V}_{\bar{z}}$  ortalama rüzgâr hızı ( $m/s$ ) ve  $I$  önem katsayısı Tablo 1.1 de açıklanmaktadır.

İncelenen minare örneği için minarenin bulunduğu yer kategori C olarak kabul edilmiştir. Topografik katsayı  $K_{zt}$  düz bir arazi yüzeyi kabulü ile 1.0, rüzgâr yönü katsayısı  $K_d$  dairesel yapılar için 0.95 ve II. tip yapılar için önem katsayısı  $I$  ise 1.0 olarak alınmıştır. Buna göre;

$$q_z = 0.613 \times K_z \times 1.0 \times 0.95 \times \bar{V}_z^2 \times 1.0 = 0.582 K_z \bar{V}_z^2 \quad (4.38)$$

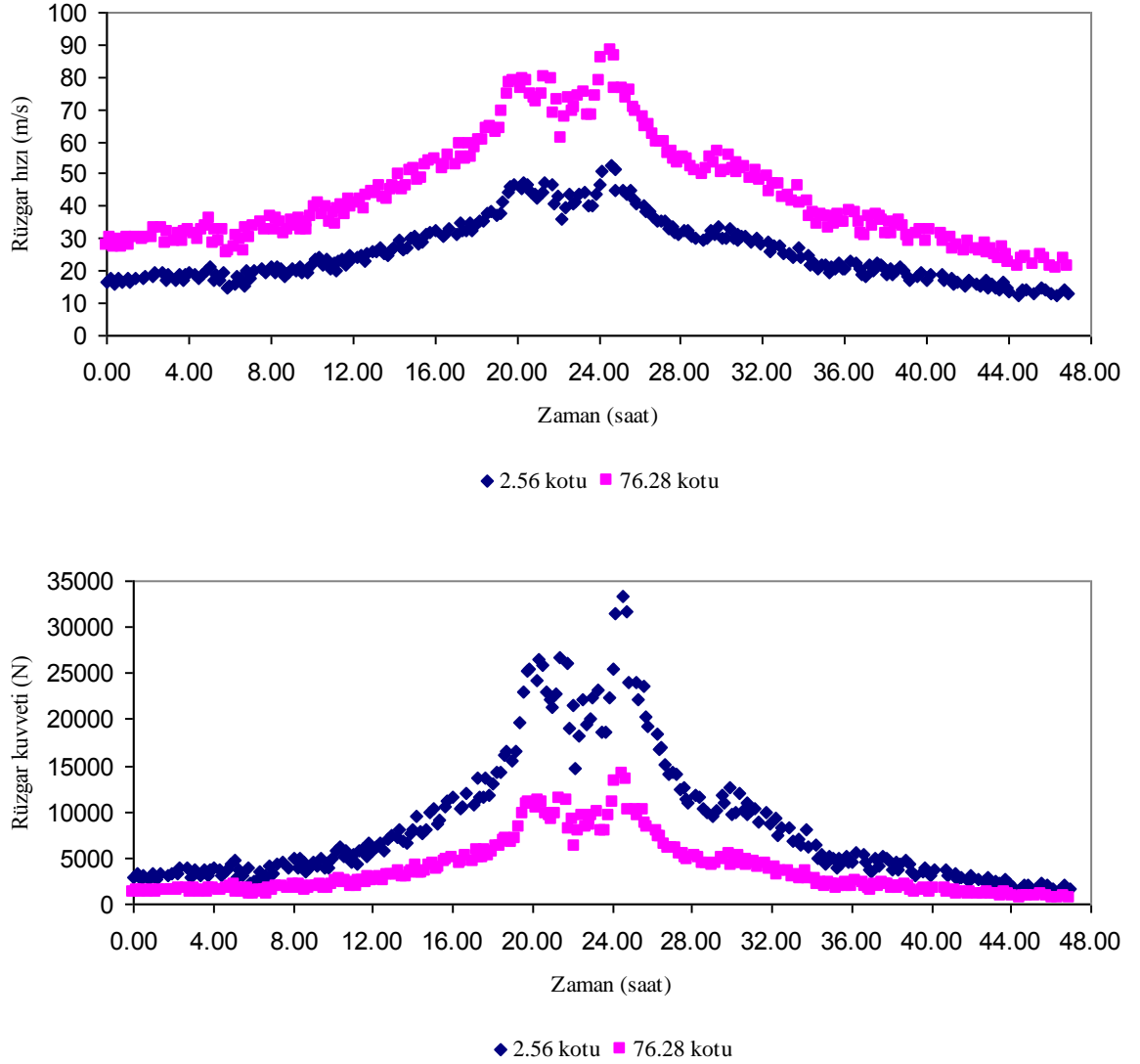
16 elemana bölünmüş minarenin ele alınan bölümünün yerden olan yüksekliği  $\bar{z}$ 'ye bağlı olarak konum basınç hızı katsayısı  $K_z$  ve ortalama rüzgâr hızı  $\bar{V}_z$  değerleri önceki bölümlerde hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak yukarıdaki bağıntı kullanılarak her bir  $\bar{z}$  değeri için  $q_z$  belirlenmiştir.

#### 4.2.4. Tasarım rüzgâr kuvvetinin belirlenmesi

Tasarım rüzgâr kuvveti ASCE 7-05 (2005) yönetmeliğinin 6.5.15. Bölümünde tanımlanmış “diğer yapılar” için aşağıda verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$F = q_z G_f C_f A_f \quad (\text{N}) \quad (4.39)$$

Burada,  $q_z$  rüzgâr hız basıncını,  $G_f$  dinamik etki faktörünü,  $C_f$  ilgili yönetmeliğin 6-21. şeklinde verilmiş kuvvet katsayısını ve  $A_f$  rüzgârın etkime yönüne dik alanı göstermektedir. 16 parçaya bölünmüş minarenin her bir noktasına etki eden rüzgâr kuvvetleri; rüzgâr hız basıncı  $q_z$  Bölüm 5.3'den,  $G_f$  dinamik etki faktörü Bölüm 5.2'den 1.11,  $C_f$  kuvvet katsayısı 0.7 ve  $A_f$  rüzgârın etkime yönüne dik alanı Şekil 4.5'den alınarak hesaplanmıştır



Şekil 4.6. 1.(2.56 kotu) ve 16.(76.28 kotu) düğüm noktalarına etki eden tasarım rüzgâr hızı ve rüzgâr kuvveti değişimi

Rita kasırgasından alınan temel rüzgâr hızları  $V$  zamana bağlı olarak değiştiğinden, tasarım rüzgâr kuvveti  $F'$  de zamana bağlı olarak değişmektedir. Minarenin 16 farklı yüksekliğindeki noktası için 16 farklı zamana bağlı olarak değişen tasarım rüzgâr kuvveti  $F$  hesaplanmıştır. Bunlardan örnek olması bakımından 1 ve 16 nolu düğüm noktalarına etki eden tasarım rüzgâr kuvvetinin zamanla değişimine ait grafik Şekil 4.6.1'de gösterilmiştir.

#### 4.2.5. NM ve AKSM modellerinin rüzgâr yüklemesi altında dinamik davranışlarının incelenmesi

Rita kasırgasından elde edilen 16 adet rüzgâr yükünün zamanla değişimini gösteren kuvvet fonksiyonu, üç boyutlu NM ve AKSM sonlu elemanlardan oluşturulmuş modellerinde daha önceden belirlenmiş 16 noktaya uygulanarak lineer zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde her iki minarede ortak olan ve AKSM de sismik izolatörlerin yer aldığı merkez nokta temel alınarak bu noktadaki ivme değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak her iki minare modeli için Şekil 4.7’de gösterilen ivme güç spektrum eğrileri çizilmiştir.

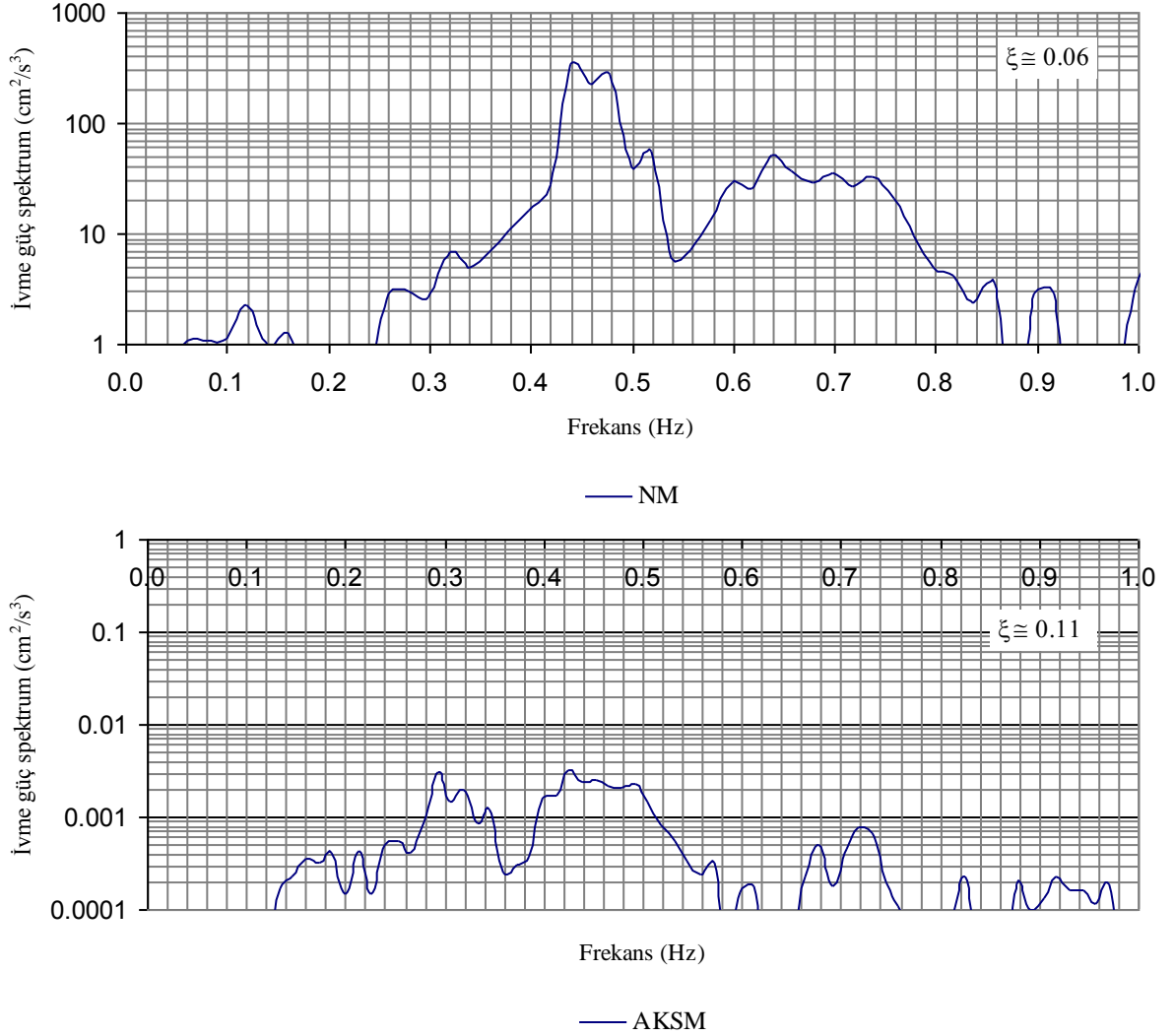
İvme güç spektrum eğrilerinden en büyük değer ve onun yarısı kullanılarak titreşim yapan bir sistemin sönüm oranı belirlenebilir. Bu yöntem yarım güç spektrumunun bant genişliği olarak adlandırılmaktadır.

$$\beta = f_2 - f_1 = 2\xi_n^* \quad (4.40)$$

İvme güç spektrumu eğrisinde en büyük değere karşılık gelen frekans, yapının doğal frekansı olan  $f_n$ ’e karşılık gelmektedir. En büyük değer yarısı alınarak frekansı gösteren eksene paralel çizilen doğrunun, eğriyi kestiği noktalar ise  $f_1$  ve  $f_2$  frekans değerlerine karşı gelmektedir.

Daha sonra yukarıda verilen bağıntı kullanılarak yapının sönüm oranı  $\xi$  hesaplanmıştır. NM modelinde ivme güç spektrumundan kritik sönüm oranı % 6 ve AKSM modelinde ise kritik sönüm oranı % 11 olarak belirlenmiştir. Kritik sönüm oranının AKSM modelinde, NM modeline göre ~2 kat arttığı görülmektedir. Rüzgâr kuvvetlerinden oluşan titreşimlerin büyüklüğü sönüm oranının karekökü ile ters orantılı olarak değişmektedir. Buradan minareye AKS yerleştirilmesinin güçlü

rüzgârlara karşı yapının tepkisini yaklaşık % 30 kadar azalttığını ifade edebiliriz.



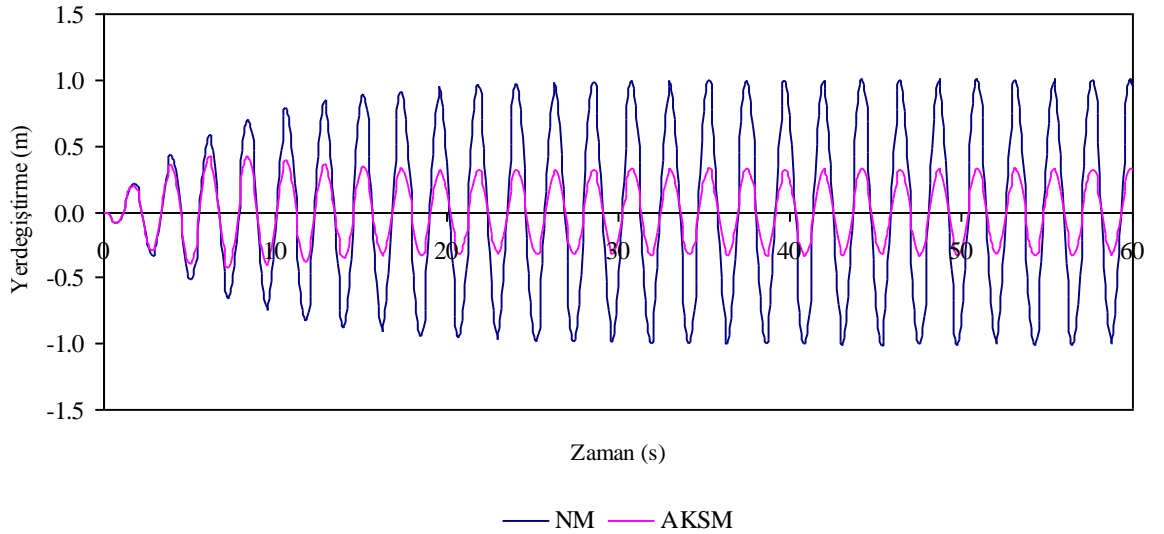
Şekil 4.7. NM ve AKSM modelleri için ivme güç spektrum eğrileri

Yüksek minarelerde AKS kullanımı, rüzgârdan oluşan tepkinin büyük oranda azaltmasını ve oluşan titreşimlerin daha çabuk sönümlenmesini sağlaması bakımından, meydana gelecek hasarların önlenmesi ve daha az yorulmayı sağlayarak minarenin kullanım ömrünün artması yönünden oldukça faydalı gözükmektedir.

### 4.3. Harmonik Hareket Etkisinin İncelenmesi

Harmonik hareketin NM ve AKSM üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla her iki modeli rezonans şartlarına getirecek frekanslarda kosinüs fonksiyonu şeklindeki harmonik hareket fonksiyonu, modellere temelden etki ettirilmiştir.

Titreşimlerin her iki modelde oluşturdukları etkileri karşılaştırabilmek için NM modelinde önceden belirlenmiş kıyaslama noktasında oluşan yer değiştirmenin genliği bir birim olacak şekilde kosinüs fonksiyonunun genliği belirlenmiştir. Her iki modelden elde edilen yer değiştirmenin zamanla değişimini gösteren grafik Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

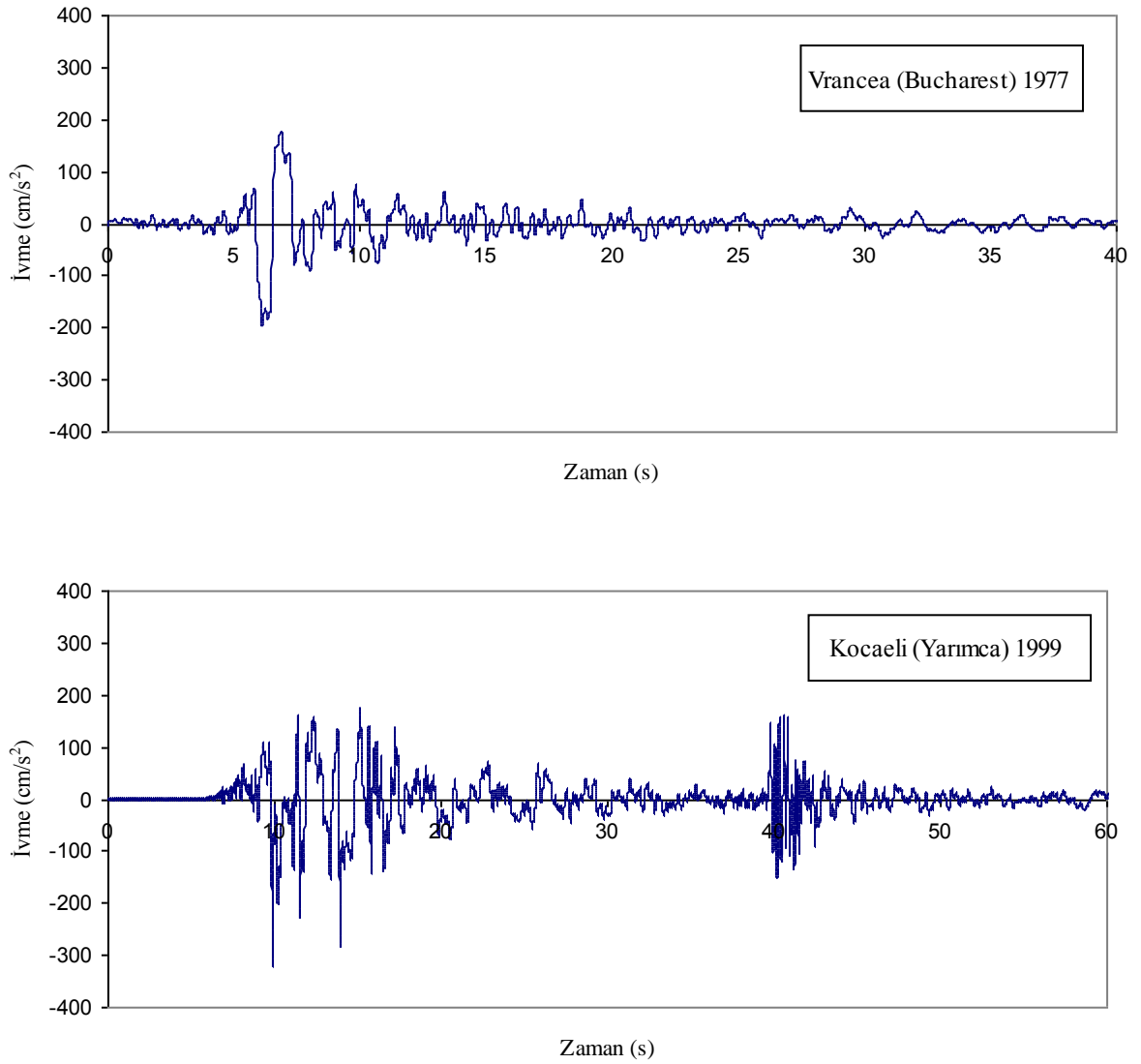


Şekil 4.8. Harmonik hareket etkisinde NM ve AKSM'nin davranışlarının karşılaştırılması

Grafiğin incelenmesinden AKS'nin yerleştirildiği minare modelinde (AKSM) rezonans şartlarındaki yer değiştirmede % 68 gibi önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum rezonans şartlarındaki harmonik hareketlerde AKS'nin çok iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Bu etki rezonans şartlarından uzaklaştıkça azalmaktadır.

#### 4.4. Deprem Etkisinin İncelenmesi

Deprem etkisinin NM ve AKSM modellerindeki etkisini inceleyebilmek için farklı özellikte iki depreme ait ivme kaydı seçilmiştir. Bu kayıtlar, 1977 yılında Romanya’da yaşanan Vrancea depremi (RNSC) ve 1999 yılında Türkiye’nin Kocaeli ilinde yaşanan Yarımca istasyonunda kaydedilen depremlerdir (PEER). Şekil 4.9’da Vrancea ve Kocaeli depremlerine ait ivme kayıtları verilmiştir.



Şekil 4.9. Analizlerde kullanılan depremlere ait ivme kayıtları

Seçilen kayıtların özellikleri şu şekilde özetlenebilir. Vrancea depremi uzun periyotlu sinüzoidal darbe tipi bir depremdir. Kocaeli 1999 depremi ise yakın fay etkisi özelliği gösteren yüksek genlikli zemin hızlarının oluştuğu bir depremi temsil etmektedir. Bu depremlere ait bazı bilgiler Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

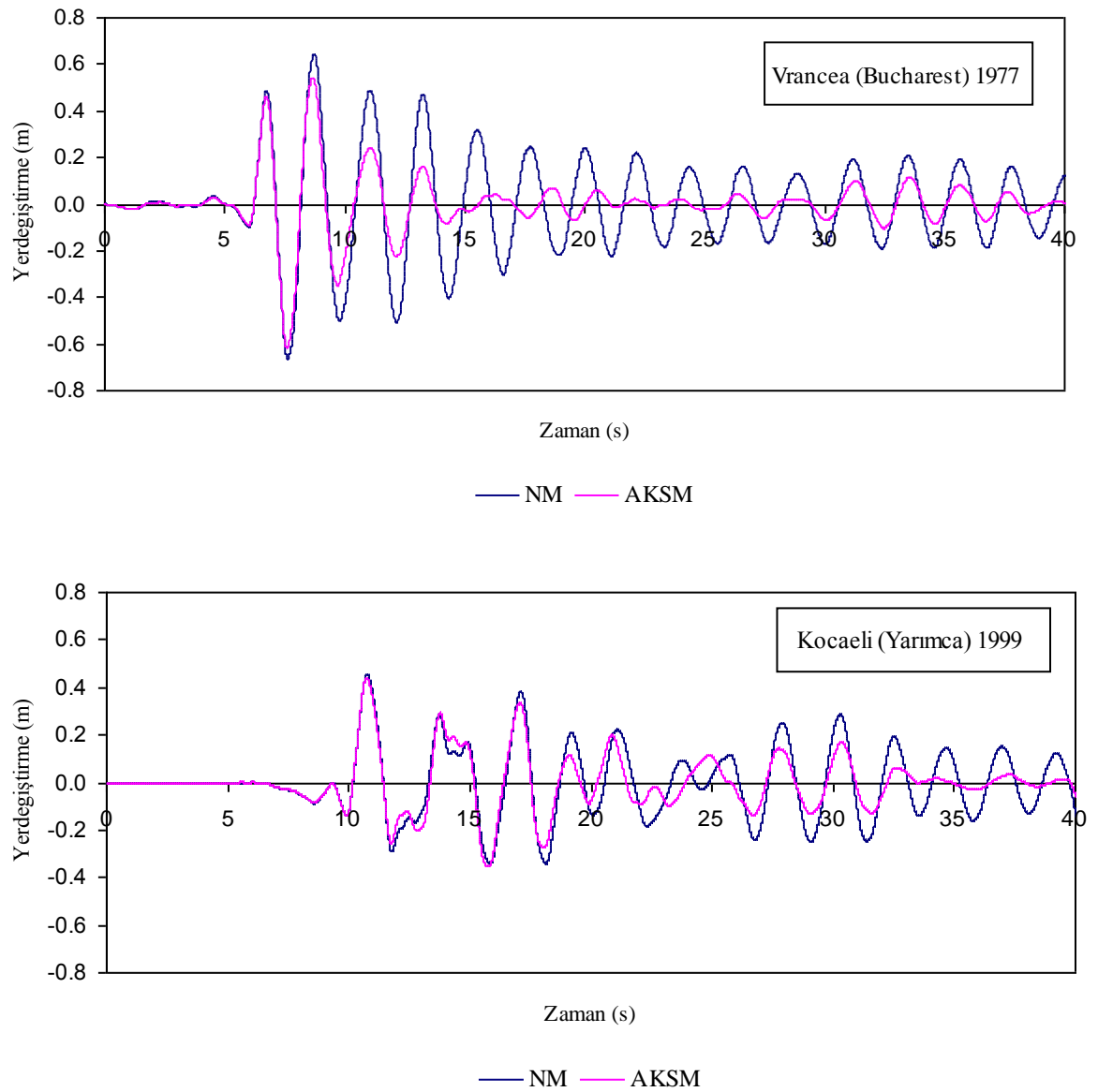
NM ve AKSM modelleri için yukarıda özellikleri anlatılan iki deprem kaydı altında lineer zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. İncelenen ve her iki minarede ortak olan ve AKSM’de sismik izolatörlerin yer aldığı

Çizelge 4.2. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri

Deprem	İstasyon	Tarih	Bileşke	Büyük­lük $M_s$	En büyük zem ivmesi/(g)	En büyük zemin hızı (cm/s)	En büyük zemin yer değiştirme (cm)
Vrancea	Bucharest	04.03.1977	KG	7.5	0.198	71.9	163.1
Kocaeli	Yarımca	17.08.1999	KG	7.8	0.328	88.7	15.5

merkez nokta temel alınmış ve bu noktadaki yer değıştirme değeri kaydedilmiştir.

Elde edilen grafikler Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. NM ve AKSM'nin seçilen deprem kayıtları etkisinde oluşan yer değıştirme grafikleri

Grafiklerin incelenmesinden; Vrancea depreminin sinüzoidal yapısı ve oluşan titreşimlerin AKSM nin rezonans frekansına yakın olması yer değiştirme genliklerinin belirgin bir şekilde % 24 kadar azalmasına ve hareketin çabuk sönümlenmesine neden olmuştur. Yakın fay etkisi özelliği gösteren Kocaeli depreminde ise AKSM modelinde oluşan yer değiştirme genliklerinde daha küçük bir azalma görülmesine rağmen bu depremde de hareketin NM modeline göre daha çabuk sönümlendiğini görmekteyiz. Optimum AKS yerleştirilmesinin harmonik harekete göre rastgele değişim gösteren sismik hareketlerde daha az etkili olduğunu hatta bazı durumlarda yapıyı olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu zayıf performansın darbe tipi sismik hareketlerde ve yapının rezonans şartlarından uzaklaştıkça daha belirgin olarak ortaya çıktığı Kaynia ve ark. (1981), gibi birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır. Sismik hareket sırasında oluşan genliklerin küçülmesi ve hareketin çabuk sönümlenmesi yapının depremden daha az etkileneceği ve daha az zorlanacağı anlamına geldiğinden, AKS yerleştirilmesinin minarelerin deprem dayanımını genel olarak iyileştirdiğini söyleyebiliriz.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Minareler izostatik yapılardır ve rüzgâr ve deprem gibi yatay yüklere karşı oldukça zayıf bir davranış gösterirler. Günümüzde büyük camilerle birlikte yüksek betonarme minarelerin inşası da devam etmektedir. Geçmişte Türkiye ve başka ülkelerde yaşanan şiddetli rüzgârlar nedeniyle birçok minare yıkılmış can ve mal kayıpları oluşmuştur. Yüksek yapıların AKS yerleştirilerek rüzgâr yüklerine karşı korunmasıyla ilgili birçok araştırma ve başarılı uygulama örnekleri literatür’de mevcuttur. Bu çalışmalar yüksek minarelere AKS yerleştirilmesine yönelik sunulan çalışmanın yapılması gereğini ortaya koymuştur. Seçilen rüzgâr yüklemesi için bu sonuçlar elde edilmiştir. AKS yerleştirilmesi NM modeline göre yapının sönümünü ~2 kat artırdığından, rüzgâra karşı yapının tepkisini yaklaşık % 30 azaltmaktadır. AKS yerleştirilmiş minarenin rezonans frekansına yakın frekanslardaki harmonik titreşimlerine karşı yapının tepkisinde önemli bir iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Sismik hareket etkisinde, özellikle deprem hareketinin sinüzoidal harmonik harekete ve frekansının minarenin rezonans frekansına yakın olduğu durumlarda AKS yerleştirilmesinin dinamik davranışı önemli ölçüde iyileştirdiği ve deprem hareketini daha çabuk sönümlediği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar yüksek betonarme minarelere AKS yerleştirilmesinin faydalı olacağını göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- ASCE 7-05, 2005. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers.
- CONNOR, J.J., 2003. Introduction to Structural Motion Control. Prentice Hall Pearson Education, Inc., Michigan University, 664p.
- DOGANGUN, A., TULUK, O.I., LİVAOĞLU, R., ACAR, R., 2006. Traditional Turkish Minarets on The Basis of Architectural and Engineering Concepts. 1st International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures, 24-27 April, Cairo, Egypt, 1-10.
- FRAHM, H., 1911. Device for Damping Vibration Bodies. US Patent No.989/959.
- ISYUMOV, N., HOLMES, J.D., SURRY, D., DAVENPORT, A.G., 1975. A Study of Wind Effects for The First National City Corporation Project-New York, U.S.A. Special Study Rep. BLWT-SS1-75, University of Western Ontario, Canada.
- KAYNIA, A.M., DANIELE, V. and BIGGS, J.M., 1981. Seismic Effectiveness of Tuned Mass Dampers. Journal of Structural Division, 110(11):1465-1484.
- LEUNG, A.Y.T., ZHANG, H., 2009. Particle Swarm Optimization of Tuned Mass Dampers. Engineering Structures; 31:715-728.
- LUFT, R.W., 1979. Optimal Tuned Mass Dampers. J. Struct. Div. ASCE, 95(8):1661-1672.
- MCNAMARA, R.J., 1977. Tuned Mass Dampers for Buildings. J. Struct. Div. ASCE, 109(9):1785-1798.
- NATIONAL Seismic Network for Buildings (RNSC). Accelerograms Recorded in RNSC Retrieved from <http://www.incerc20004.ro/seismic-network.htm>.
- PEKGÖKGÖZ, R.K., GÜREL M.A., MAMMADOV, Z., ÇİLİ, F., 2013. Dynamic Analysis of Vertically Post-Tensioned Masonry Minarets. Journal of Earthquake Engineering, 17(4):560-589.
- PASIFIC Earthquake Engineering Research Center (PEER). Retrieved from <http://peer.berkeley.edu>
- SADEK, F., MOHRAZ, B., TAYLOR, L.W., and CHUNG, R.M., 1997. A Method of Estimating The Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26:617-635.
- SAP2000 V14 Integrated Structural Analysis and Design Software
- SLADEK, J.R., and KLINGER, R.E., 1983. Effect of Tuned-Mass Dampers on Seismic Response. Journal of Structural Engineering, 109(8): 2004-2009.
- TANAKA, H., MAK, C.Y., 1983. Effect of Tuned Mass Dampers on Wind-Induced Response of Tall Buildings. J. Wind Engrg. Ind. Aerodyn, 18:191-195.
- VICKERY, B.J., DAVENPORT, A.G., 1970. An Investigation of The Behaviour in Wind of The Proposed Centropoint Tower in Sydney, Australia. Engrg. Sci. Rep. No. BLWT-1-70, University of Western Ontario, Canada.
- VILLAVERDE, R., and KOYAMA, L.A., 1993. Damped Resonant Appendages to Increase Inherent Damping in Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 22:491-507.
- WIESNER, K.B., 1979. Tuned Mass Dampers to Reduce Building Wind Motion. Proc. ASCE Convention and Exposition ASCE: New York.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Gökçe Akbulut Taş  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Şanlıurfa / 1985  
**Telefon** : 532 4888063  
**Faks** : -  
**e-mail** : gokce85\_akbulut@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Anadolu Lisesi/ Şanlıurfa	2004
Üniversite	: Harran Üni. / Şanlıurfa	2008
Yüksek Lisans	: Harran Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Şanlıurfa	2014

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2013	: Gökçe İnşaat Ltd. Şirketi	Proje Müh.