



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Taş. Sis. Dep. Dav. Inc.

Yüksek Lisans Tezi

TİMURHAN TİMUR

0/416

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

853

**EDİRNEKAPI MİHRİMAH SULTAN CAMİİ TAŞIYICI
SİSTEM DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

İnşaat Müh. Timurhan TİMUR

**F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Zekeriya POLAT

İSTANBUL, 2001

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : Rz 150

416

Kayıt No : 1248

Geldiği Yer : Fen Bilimleri Enst.

Tarih : 05.03.2002

Fiyat : 960.000 TL.

Fatura No : X

Ayniyat No : 1/1

Ek : X

EDİRNEKAPI MİHRİMAH SULTAN CAMİİ TAŞIYICI SİSTEM DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

416

İnşaat Müh. Timurhan TİMUR

**F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

: Prof. Zekeriya POLAT

: Prof. Dr. Görün ARUN

: Yrd. Doç. Dr. Sema ALACALI

03.04.2001

03.04.2001

04.04.2001

[Handwritten signatures and dates]

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ	1
2. YIĞMA YAPILARDA HASAR TÜRLERİ, NEDENLERİ VE BU YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ	3
2.1 Yığma Yapılarda Hasar Türleri ve Nedenleri	3
2.2 Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri	6
3. SİSMİK YALITIM TEKNİĞİNİN ÖZELLİKLERİ	10
3.1 Sismik Yalıtımlı Yapıların Genel Özellikleri	10
3.2 Sismik Yalıtım Sistemi Elemanları	15
3.2.1 Elastomerik Yalıtım Sistemi Elemanları	15
3.2.2 Kayıcı Sismik Yalıtım Sistemi Elemanları	15
4. EDİRNEKAPI MİHRİMAH SULTAN CAMİİ'NİN TAŞIYICI SİSTEMİNİN DİNAMİK ANALİZİ	17
4.1 Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii	17
4.1.1 Tarihçesi	17
4.1.2 Taşıyıcı Sistem Özellikleri	17
4.2 Yapısal Analiz	20
4.2.1 Yapıda Tespit Edilen Hasarlar	20
4.2.2 Yapının Üzerinde Bulunduğu Zeminin Özellikleri	24
4.2.3 Taşıyıcı Sistem Malzeme Özellikleri	24
4.2.4 Sonlu Elemanlar Modeli Üzerinde Yapılan Değişiklikler	25
4.3 Sonlu Elemanlar Modeli ile Yapılan Analizin Sonuçları	27
4.3.1 Serbest titreşim analizi	27
4.3.2 Yer hareketi kaydı (time-history) ile dinamik analiz	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
EKLER	42
Ek 1 Sismik yalıtım tekniği ile güçlendirilmiş tarihi yapı örneği	43
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGE LİSTESİ

c	Sönüm
$[C]$	Sönüm Matrisi
k	Rijitlik
$[K]$	Rijitlik Matrisi
m	Kütle
$[M]$	Kütle Matrisi
T	Periyot
u	Yer değiştirme
$\dot{u}$	Hız
$\ddot{u}$	İvme
α	Periyot oranı
η	Kütle oranı
ϕ	Mod vektörü

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Zekeriya Polat'a, anlayış ve destekleriyle bana her zaman yardımcı olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Nafiz Çamlıbel ve Prof. Dr. Görün Arun'a teşekkür ederim.

Çıkmaza girdiğimi düşündüğüm anda, değerli fikirleriyle önümü görmemi sağlayan Sayın Dr. Kemal Beyen'e teşekkür ederim.

Kendi çalışmasını kullanmama izin verdiği ve çalışmalarımda desteğini esirgemediği için değerli arkadaşım Sayın M. Kağan Sayın'a teşekkür ederim. Bu tür dayanışmaların örnek olmasını dilerim.

Son olarak, anlayış ve desteği ile zor anlarımda her zaman yanımda olan eşime teşekkür ederim.

ÖZET

Mimar Sinan'ın önemli eserlerinden biri olan Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii, Marmara ve çevresinde meydana gelmiş tüm depremlerden olduğu gibi son 1999 Marmara Depremi'nden de etkilenmiş ve ciddi şekilde hasar görmüştür. Yapının bir an önce onarılması ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Analitik incelemeler yapının, geleneksel yöntemlerle, orijinalliği bozulmadan güçlendirilmesinin mümkün olmadığını göstermektedir. Yapının onarımı yapıldıktan sonra sismik yalıtım ile takviyesinin yapının ömrünü uzatacağı ve bunun kökten, kalıcı ve gerçekçi bir çözüm olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada yığma yapılarda hasar türleri ve nedenleri ve bu yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri irdelenmiş, güçlendirme yöntemlerinden sismik yalıtım tekniği geniş biçimde açıklanmıştır. SAP90 ve SAP2000 sonlu elemanlarla analiz programları kullanılarak yapının taşıyıcı sisteminin sismik yalıtımlı ve yalıtımsız hallerinin, serbest titreşim ve 1999 Marmara Depremi'ne ait iki ivme kaydı kullanılarak zorlanmış titreşim analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

Edirnekapi Mihrimah Sultan Mosque, one of the greatest works of Sinan, was damaged seriously in 17 August 1999 Marmara Earthquake. So the Mosque should be retrofitted in a very short time. But the analytical approaches show that an effective strengthening that will not give any harm to the original structure can not be made by using conventional techniques. A full reparation and seismic isolation, an alternative of seismic retrofit, of the structure could lengthen the life of the structure and seems to be the unique assessment that would be radical, permanent and rational.

In this study, the types and causes of the cracks in masonry structures and their retrofit techniques are defined. Then the main characteristics of seismic isolation technique is explained. Time history analysis of the finite element models of the Mosque, both isolated and fix based, are made by using two different acceleration records of 1999 Marmara Earthquake. SAP90 and SAP2000 finite element analysis softwares are used in the analysis. Finally the results are interpreted comparatively.

1. GİRİŞ

Tarih bilinci, insanlığın kendini tanıması, yaptıklarından ders alması ve bunların sonucu olarak gelişimini sürdürmesini sağlar. Bu nedenle tarihi kültür mirasının nesillerden nesillere bozulmadan aktarılması insanların başlıca görevlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Tarihi yapı kavramı toplumdan topluma değişmektedir. Her toplum kendi geçmişi ve kültürü ile ilintili olarak kendi tarihi yapı tanımını yapar. Tarihi yapılar bulundukları dönemin teknolojik imkanlarını, ekonomik durumunu ve kültürel düzeyini yansıtır. Belki tarihi yazan kalemler birbirleriyle çelişir ama tarihi yapılar kendi dönemlerini hiçbir çelişkiye yer vermeksizin, açık bir biçimde anlatır.

Medeniyetlerin beşiği Anadolu'da binlerce senedir ayakta duran, mühendislik ve mimarlığın tarihsel gelişimini gözler önüne seren eserlerin çokluğu bu topraklarda yaşayanların sorumluluğunu artırmaktadır. Tarihi yapı yönünden zengin olan yurdumuzda bu yapıların çoğunun onarım ve korunmaya muhtaç durumda olması da bu konuya ilginin artması gerektiğinin göstergesidir.

Ülkemizde bugüne ulaşan tarihi yapıların çoğu, taş, tuğla ve harç kullanılarak yapılmış, yığma yapılardır. Bu yapıların, birçok farklı malzemenin bir araya getirilerek oluşturulması, başka bir deyişle taşıyıcı elemanlarının homojen olmaması, yapısal analizini zorlaştırdığı için matematiksel yöntemlerle kesin analizi yapılamamaktadır. Analitik modellerle analizi gelişim sürecindedir. Bu nedenle bu yapılarla ilgili çalışmalarda teoremin deneylerle desteklenmesi gereklilik halini almıştır.

Tezin konusunu oluşturan Mimar Sinan'a ait Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii'nin 1999 Marmara Depremi'nde ciddi şekilde hasar görmüş olması yapının hızla takviye edilmesini gerektirmektedir. Bu yapıyla ilgili daha önce de birçok araştırma yapılmıştır. 1997'de yapılmış bir doktora tezinde (Ünay, 1997) yapıya ait bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve yapının güvenliği belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre yapının 0.17g'lik bir yer ivmesi etkisinde, ana kemerlerin taşıyıcılığını yitirmesi sonucu, yıkılabileceği vurgulanmaktadır. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne sunulan bir raporda da (Ünay, 1998) yapının 0.4g'lik bir yer ivmesi etkisiyle tamamen yıkılabileceği belirtilmektedir. Bu iki çalışmada da kullanılan sonlu elemanlar modelinde, yapılan kabuller doğrultusunda, çerçeve yapı ve kabuk yapı elemanları kullanılmıştır. 1998'de yapılan bir yüksek lisans tezinde (Sayın, 1998) ise aynı yapı, yığma yapı elemanı kullanılarak modellenmiştir. Burada Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü tarafından yapılan

deneyle bulunan yapının ilk iki moduna ait dinamik özellikler esas alınmıştır.

Bu çalışmada yığma yapıların hasar nedenleri ve geleneksel iyileştirme yöntemleri irdelenmiş ve iyileştirme yöntemlerinden sismik yalıtım tekniği anlatılmıştır. Sayın'ın yapmış olduğu sonlu elemanlar modeli üzerinde çeşitli iyileştirmeler yapılmış ve SAP90 ve SAP2000 sonlu elemanlarla analiz programları kullanılarak yapının deprem anındaki davranışı araştırılmıştır. Modele sismik yalıtım elemanları eklenerek de analiz yapılmış ve bu analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. YIĞMA YAPILARDA HASAR TÜRLERİ, NEDENLERİ VE BU YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

2.1 Yığma Yapılarda Hasar Türleri ve Nedenleri

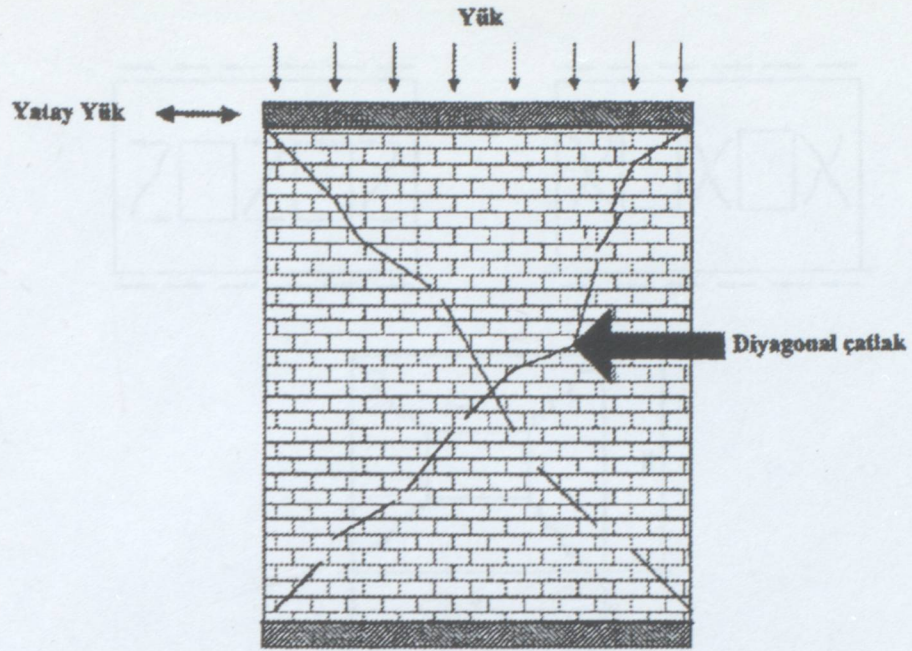
Yığma yapı malzemesi olarak kullanılan taş, tuğla ve harç gibi malzemelerin dayanımı düşüktür. Bunun yanında bu malzemelerle oluşturulan yapı elemanlarının rijitliği çok yüksek, dinamik yükler altında yapının sönümleyebileceği enerji miktarının bir ölçüsü olan süneklik düzeyi ise çok düşüktür. Dolayısıyla yığma yapının elastik davranış gösteren bir yapı olduğu kabul edilebilir. Bu elastiklik sınırı aşıldığında ise, yapıda ihmal edilebilecek boyutta bir plastik davranış olacağından, yapı elemanlarında çatlamlar başlar.

Yığma duvar elemanında yatay dinamik yükler etkisiyle çapraz kesme çatlakları oluşur. Bu çatlakların nedeni duvarda meydana gelen çekme gerilmelerinin kayma emniyet gerilmesi değerini aşmasıdır. Bu tür çatlaklar genellikle alt katlarda, düşey yüklerin etkisinin fazla olduğu katlarda, meydana gelir (Şekil 2.1). Düşey yük etkisinin düşük olduğu üst katlarda ise aynı yük etkisiyle duvarda, duvar uzunluğu boyunca yatay çatlaklar oluşur (Şekil 2.2). Duvarda pencere boşlukları bulunması durumunda bu boşlukların arasında kalan duvar parçalarında çapraz kesme çatlakları oluşur (Şekil 2.3). Yığma yapı elemanlarında genellikle düşey yüklerden dolayı bir hasar söz konusu olmaz. Ancak taşıyıcı eleman yeterli kalınlıkta değilse, düşey basınç kuvveti nedeniyle düşey çatlaklar, burkulma çatlakları oluşabilir.

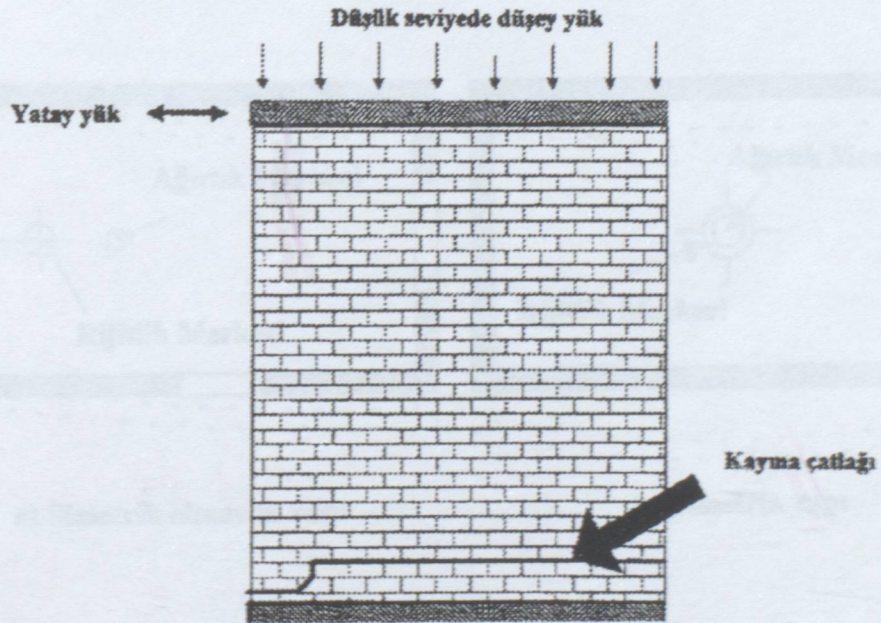
Kubbe ve kemer elemanlarında ise basıklık ve buna bağlı olarak mesnetlerde oluşacak yanıl itkiler hasar nedenlerinin başında gelir. Bu itkilerin etkisini azaltmak için gergi, kasnak, ağırlık kulesi ve payanda gibi elemanlar kullanılır.

Yapı planının simetrik olmaması, kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine gerektiği kadar yakın olmaması, yapının yatay yükler altında burulmasına ve bunun sonucu olarak hasar görmesine neden olur (Şekil 2.4).

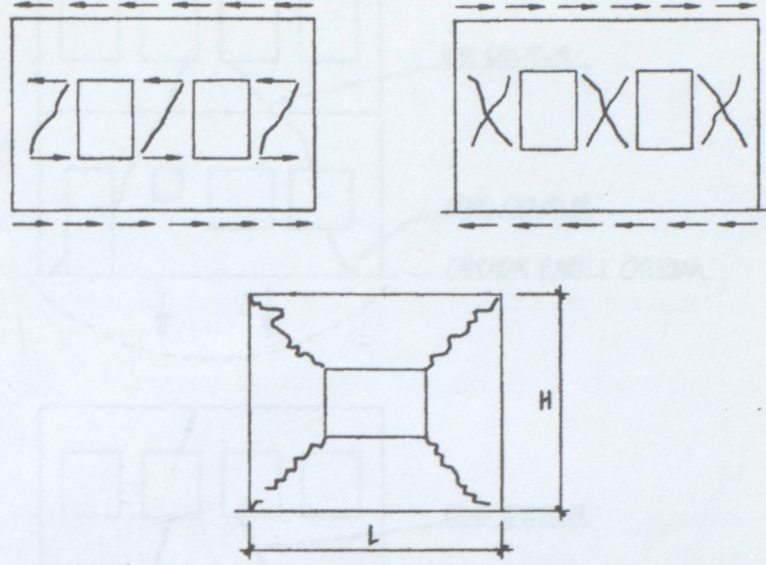
Ayrıca zemin özellikleri ve yetersiz temel derinliği etkisiyle oluşabilecek oturmalar yapıda hasara neden olabilir (Şekil 2.5).



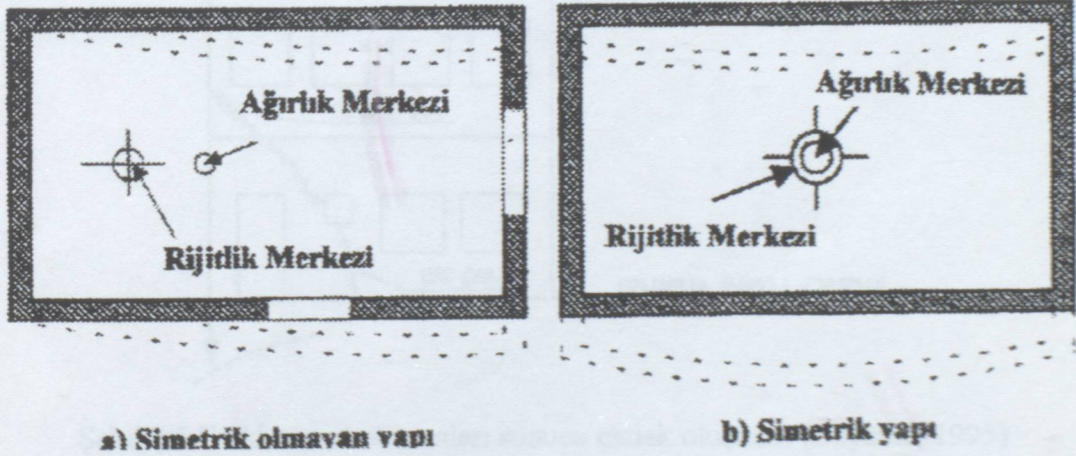
Şekil 2.1 Yığma duvar elemanında kesme çatlakları



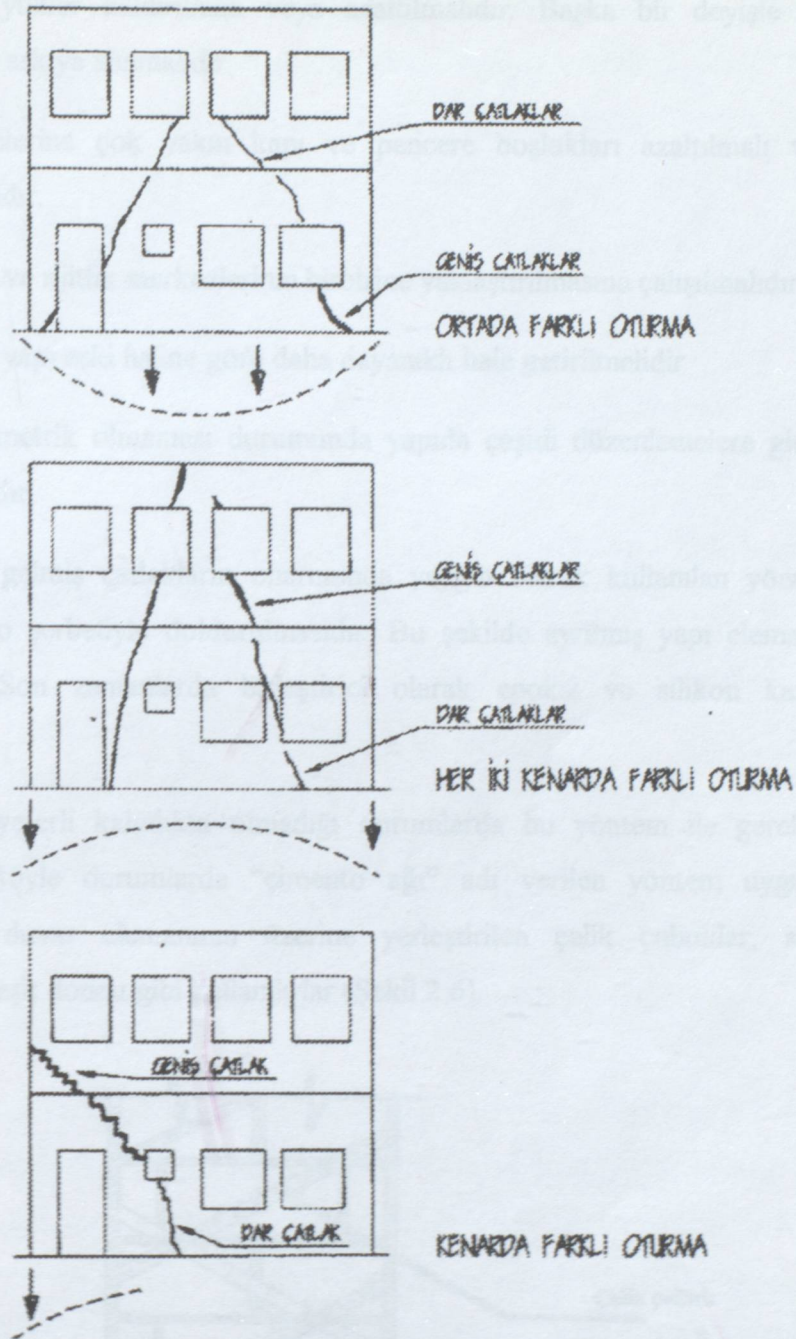
Şekil 2.2 Düşük düşey yük etkisindeki yığma duvar elemanında kayma çatlakları



Şekil 2.3 Pencere boşluklu yığma duvar elemanında kesme çatlağı



Şekil 2.4 Simetrik ve simetrik olmayan yapı planları



Şekil 2.5 Farklı temel oturmaları sonucu çatlak oluşması (Bayülke, 1995)

2.2 Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri

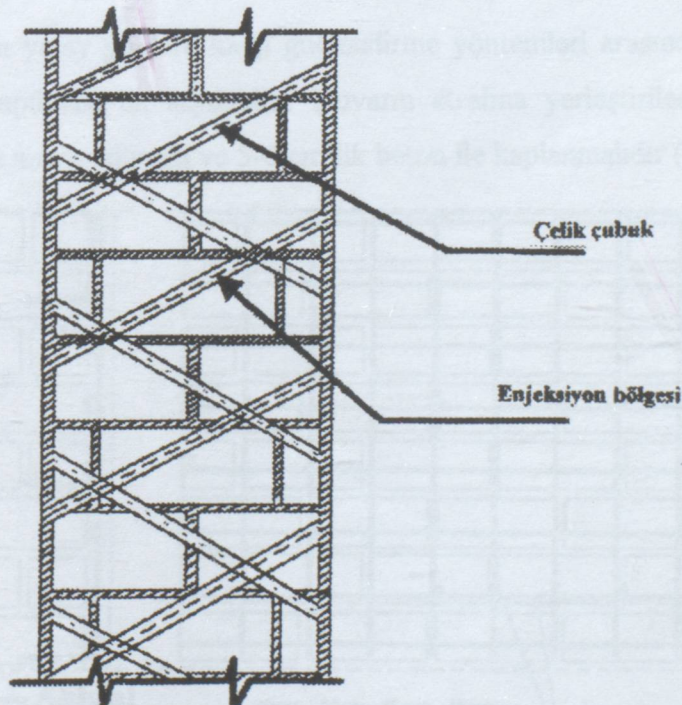
Yığma yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri, yapının tarihi, kültürel önemine göre belirlenmelidir. Onarımı sırasında, yapının orijinalliğine verilecek zarar kimi zaman yapının özelliğini yitirmesine neden olabilir. Onarımda yeni ürünler temkinle kullanılmalı, ilerde yapılması muhtemel restorasyona imkan vermelidir.

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi sırasında bazı ilkelere uymak gerekir:

1. Yapıdaki yükler kaldırılmalı veya azaltılmalıdır. Başka bir deyişle yapı mümkün olduğunca askıya alınmalıdır.
2. Yapı köşelerine çok yakın kapı ve pencere boşlukları azaltılmalı veya tamamen kapatılmalıdır.
3. Yapı kütle ve rijitlik merkezlerinin birbirine yaklaştırılmasına çalışılmalıdır.
4. Onarım ile yapı eski haline göre daha dayanıklı hale getirilmelidir
5. Yapının simetrik olmaması durumunda yapıda çeşitli düzenlemelere gidilerek simetri sağlanmalıdır.

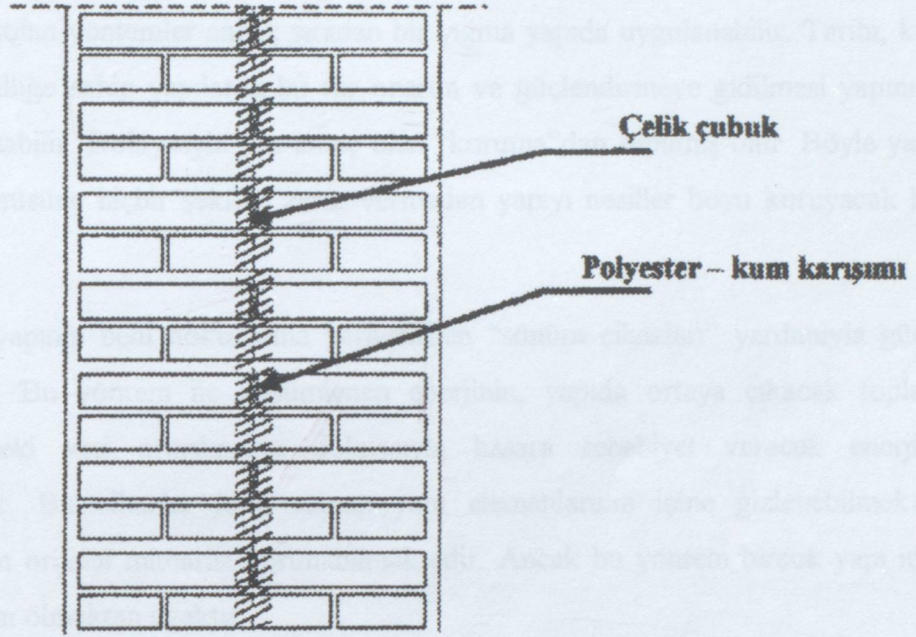
Yapıda meydana gelmiş çatlakların onarımında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri çatlakların çimento şerbetiyle doldurulmasıdır. Bu şekilde ayrılmış yapı elemanları birbirine bağlanmış olur. Son zamanlarda birleştirici olarak epoksi ve silikon karışımı harçlar kullanılmaktadır.

Yapı elemanının yeterli kalınlıkta olmadığı durumlarda bu yöntem ile gereken dayanıma ulaşamayabilir. Böyle durumlarda “çimento ağı” adı verilen yöntem uygulanabilir. Bu yöntemle yığma duvar elemanının üzerine yerleştirilen çelik çubuklar, aralarına harç doldurularak, bir çeşit donatı gibi kullanılırlar (Şekil 2.6).



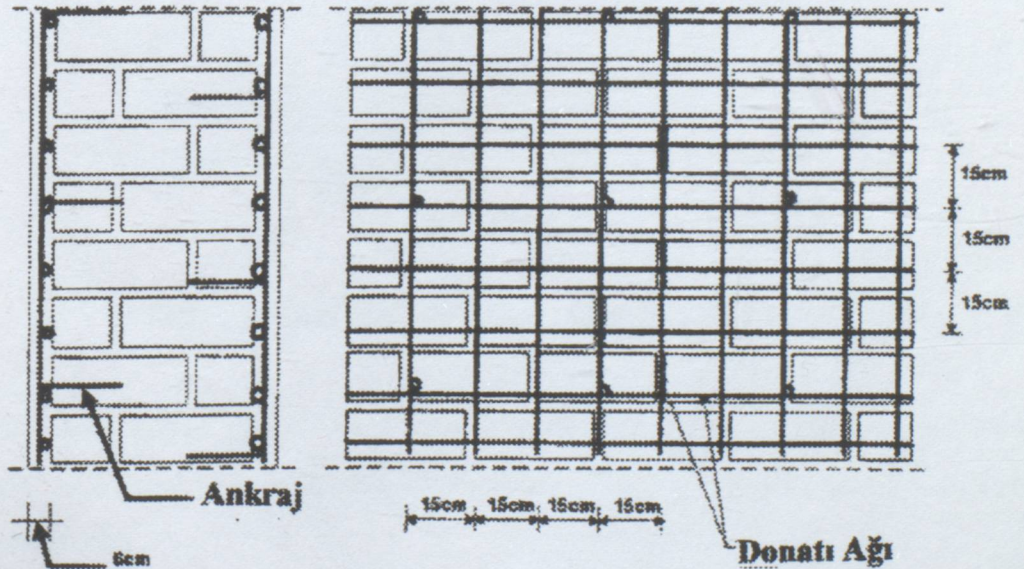
Şekil 2.6 Çimento ağı ile takviye (Garevski, 1995)

Buna benzer bir başka yöntem de duvarın merkezinde bir “çekirdek” oluşturmaktır. Böylece duvarın burkulma ve kendi düzlemi dışına çıkma eğilimi azaltılmış olur. Duvarın ortasına yerleştirilecek çelik çubukların polyester-kum karışımı harçla duvara tutturulması ve sıvanmasıyla duvarın ortasında bir çekirdek oluşturulmuş olur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Çekirdek oluşturarak takviye (Garevski, 1995)

Yığma duvar elemanını yatay yüklere karşı güçlendirme yöntemleri arasında duvarın etrafına betonarme “manto” yapılması da sayılabilir. Duvarın etrafına yerleştirilecek donatılar belli aralıklarla duvarın içine ankre edilmeli ve 5-6 cm’lik beton ile kaplanmalıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Mantolama (Garevski, 1995)

Yukarıdaki yöntemlerin hiçbirinin etkin olamayacağı kanaatine varıldığında ise yapılacak en son şey mevcut duvarın yıkılıp yerine betonarme perde veya çelik çaprazlamalı duvar inşa edilmesidir. Tüm bu yöntemler uygulandığında dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da yapının ağırlığının artıyor olması ve temellerin de bu durum göz önüne alınarak güçlendirilmesi gerektiğidir.

Yukarıda anlatılan yöntemler ancak sıradan bir yığma yapıda uygulanabilir. Tarihi, kültürel ve mimari orijinalliğe sahip yapılarda bu tür onarım ve güçlendirmeye gidilmesi yapının mevcut dokusunu bozabilir. Dolayısıyla ana amaç olan “koruma”dan sapılmış olur. Böyle yapılar için, yapının görüntüsüne hiçbir şekilde zarar vermeden yapıyı nesiller boyu koruyacak bir sistem aranmalıdır.

Son yıllarda yapının belli noktalarına yerleştirilen “sönüm cihazları” yardımıyla güçlendirme yapılmaktadır. Bu yöntem ile sönümlenen enerjinin, yapıda ortaya çıkacak toplam enerji miktarı içindeki yeri artırılmakta dolayısıyla hasara sebebiyet verecek enerji miktarı azaltılmaktadır. Bu cihazlar kimi zaman yapı elemanlarının içine gizlenebilmekte ve bu şekilde yapının orijinal mimarisi korunabilmektedir. Ancak bu yöntem birçok yapı için tatmin edici bir çözüm olmaktan uzaktır.

Yakın zamanda sıkça kullanılmaya başlanan sismik yalıtım tekniği, bu konuda en etkili ve köklü çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

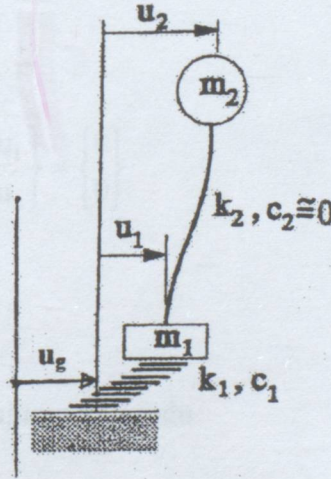
3. SİSMİK YALITIM TEKNİĞİNİN ÖZELLİKLERİ

1900'lü yıllardan beri gelişmekte olan sismik yalıtım tekniği son yıllarda yeni yapılan köprü ve binalarda ve mevcut yapıların takviyesinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik genellikle yapı tabanına yerleştirilen ara elemanlarla oluşturulan bir sistemdir. Yapıyı yalıtım sistemi ve ana yapı olmak üzere ikiye ayıran bu sistem, deprem anında yapıya gelmesi muhtemel olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltır.

ABD, İtalya, Japonya, Yeni Zelanda gibi ülkelerde kullanımı her geçen gün artan sismik yalıtım tekniği yapıların tasarım aşamasında düşünüldüğünde yapı maliyetine çok fazla bir yük getirmemektedir. Bu yük, toplam maliyetin en fazla %10'u mertebesinde-dir. Ancak mevcut bir yapının takviyesi sırasında uygulanması halinde maliyet çok yüksek olacağından genellikle stratejik, kültürel öneme sahip, hastane, tarihi yapı, nükleer santral gibi, yapılarda uygulanmaktadır.

3.1 Sismik Yalıtımlı Yapıların Genel Özellikleri

Sismik yalıtımlı bir yapıyı basit anlamda iki serbestlik dereceli bir sistem olarak düşünülebilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sismik yalıtımlı yapıyı ifade eden iki serbestlik dereceli sistem

Şekil 3.1'de sismik yalıtım sistemi ile ana yapının kütle değerleri m_1 ve m_2 , yatay rijitlikleri k_1 ve k_2 , sönüm katsayıları c_1 ve c_2 olarak gösterilmiştir. Burada 1 ve 2 no'lu kütlelerin yaptığı toplam deplasmanlar

$$u_2^t = u_2 + u_g \quad (3.1)$$

$$u_1^t = u_1 + u_g \quad (3.2)$$

şeklinde gösterilebilir.

c_2 , c_1 'e oranla çok küçüktür. Bu yüzden ihmal edilebilir. Şekil 3.1 yardımıyla 3 ve 4 no'lu denge denklemleri elde edilebilir.

$$m_2 \ddot{U}_2 + k_2(u_2 - u_1) = 0 \quad (3.3)$$

$$m_1 \ddot{u}_1^t + k_1 u_1 - k_2(u_2 - u_1) + c_1 \dot{u}_1 = 0 \quad (3.4)$$

Bunların düzenlenmesiyle 5 ve 6 denklemleri elde edilir.

$$m_2 \ddot{u}_2 + k_2(u_2 - u_1) = -m_2 \ddot{u}_g \quad (3.5)$$

$$m_1 \ddot{u}_1 + (k_1 + k_2)u_1 - k_2 u_2 + c_1 \dot{u}_1 = -m_1 \ddot{u}_g \quad (3.6)$$

5 ve 6 denklemlerinde c_1 ve $\ddot{U}_g$ 'yi sıfır kabul edilerek, yani sistemin sönümsüz ve zorlanmamış olduğu düşünülerek yalıtılmış yapının doğal titreşim modlarına ait özellikler bulunabilir.

$$[M][\ddot{U}] + [K][U] = 0 \quad (3.7)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 - k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (3.9)$$

$$T_F = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{k_2}}, \text{ Yalıtılmamış yapının periyodu} \quad (3.10)$$

$$T_Y = 2\pi \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{k_1}}, \text{ Yalıtım sisteminin periyodu} \quad (3.11)$$

$$\alpha = \frac{T_F}{T_Y}, \text{ Periyot oranı} \quad (3.12)$$

$$\eta = \frac{m_1}{m_2}, \text{ Kütle oranı} \quad (3.13)$$

Sonuçları basitleştirmek için 10, 11, 12 ve 13 no'lu denklemlerdeki tanımlar yapılır, yüksek mertebeden terimler ihmal edilirse 9 no'lu denklemin çözümü;

$$T_1 = \sqrt{(1 + \alpha^2) T_F} \quad (3.14)$$

$$T_2 = \frac{T_F}{\sqrt{1 + \eta + \eta \alpha^2}} \quad (3.15)$$

şeklinde yazılabilir. Sisteme ait mod şekilleri de 16 ve 17 no'lu denklemlerde verilmiştir.

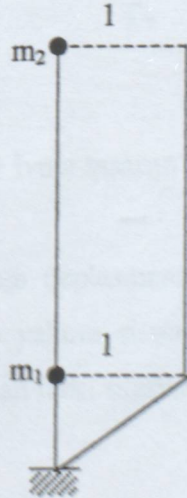
$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 + \alpha^2 \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

$$\phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ (\alpha^2 - 1)/\eta \end{Bmatrix} \quad (3.17)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sqrt{\frac{m_2}{m_1 + m_2}} \quad (3.18)$$

Yalıtım sistemi yatayda büyük ölçüde elastik olduğu için k_1 değeri k_2 'ye göre çok küçük olur. Bu durumda α değeri 0.01 ile 0.3 arasında değişir ve $\sqrt{1 + \alpha^2} \cong 1$ olduğu kabul edilir. Bu kabul sonucunda sismik yalıtımlı bir yapıda ilk moda ait periyodun yalıtım sisteminin periyoduna eşit olduğu görülür. Yapının ilk moduna ait mod şekli ise 19 no'lu denklem ve Şekil 3.2 ile açıklanmıştır. Buna göre ana yapı rijit bir kütle gibi davranmaktadır.

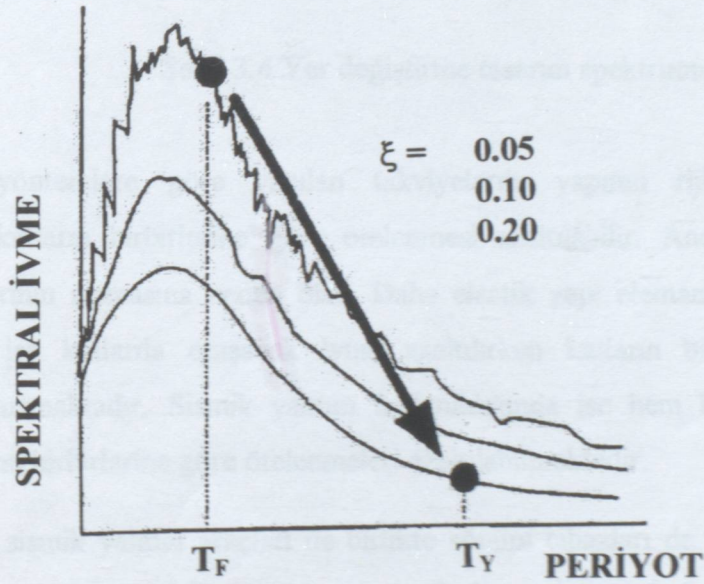
$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.19)$$



Şekil 3.2 Sismik yalıtımlı yapıya ait 1. mod şekli

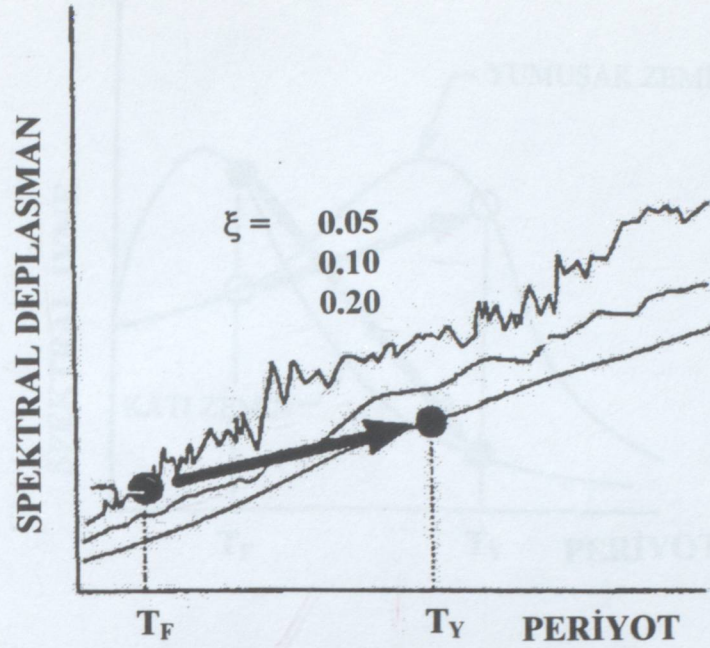
Bir yapının deprem anındaki davranışının belirlenmesinde en önemli etken yapının 1. titreşim modudur. 1. titreşim modunun yapının tüm davranışına olan katkısı kimi zaman %90'lara çıkmaktadır. Hareket denkleminin çözümünden de anlaşılacağı gibi sismik yalıtımlı bir yapıda 1. titreşim moduna ait değerler ana yapıdan bağımsızlaşmakta ve yalıtım sisteminin özellikleriyle bütünleşmektedir.

Sismik yalıtım, periyodu 1.5 – 2.0 s'den fazla olan yapılarda kullanılmamalıdır. Bilindiği gibi tipik yer hareketlerinin hakim periyodu 0.1-1 s arasında değişir. Dolayısıyla periyodu bu arada olan yapılar rezonans riski yüksek yapılardır. Sismik yalıtımın amacı yapıların periyodunu artırmak ve bunun sonucu olarak deprem anında yapıda oluşacak ivme değerlerini azaltmaktır. Yalıtımlı yapıda oluşacak ivme değerleri yalıtımsız yapıdakine oranla birkaç kat azaltılabilmektedir (Şekil 3.3). Bu durumda periyodu zaten yüksek olan yapılarda bunu uygulamak anlamsız hale gelmektedir.



Şekil 3.3 İvme tasarım spektrumu

Yapının periyodunun büyümesi yapacağı deplasmanın da artması anlamına gelir (Şekil 3.4). Ancak deplasmanın büyük bir kısmını yalıtım sistemi yapacağından yapı rijit bir kütle gibi davranmakta, katlar arasındaki deplasman farkı sınırlandırılmaktadır.

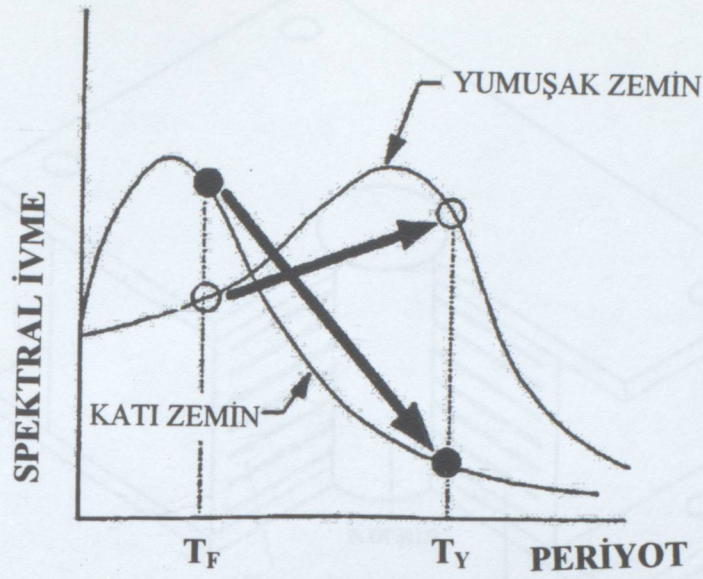


Şekil 3.4 Yer değiştirme tasarım spektrumu

Geleneksel yöntemlere göre yapılan takviyelerde yapının rijitliğini artırıcı elemanlar kullanılarak katların birbirlerine göre ötelenmesi azaltılabilir. Ancak bu katlarda oluşacak ivme değerlerinin artmasına neden olur. Daha elastik yapı elemanları kullanılarak yapılacak takviyelerde ise katlarda oluşacak ivme azaltılırken katların birbirlerine göre yaptıkları ötelenmeler artmaktadır. Sismik yalıtım kullanıldığında ise hem katlarda oluşacak ivmeler hem de katların birbirlerine göre ötelenmeleri azaltılabilmektedir.

Çoğu zaman sismik yalıtım araçları ile birlikte sönüm cihazları da kullanılır. Böylece yalıtım sisteminin yapacağı yer değiştirmeler sınırlandırılmış olur. Ancak sönümün, belli değerleri aşması durumunda yapıya zarar vereceği düşünülerek optimum bir değer belirlenmelidir.

Zemin cinsi de sismik yalıtımın uygulanmasına karar verilirken dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Şekil 3.5'de farklı zemin cinslerine ait tasarım spektrumları verilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği gibi yumuşak zeminlerde yapının periyodunu büyütme yapıda daha büyük ivme değerleri oluşması anlamına geldiğinden böyle zeminlerde sismik yalıtım ya yapılmamalı ya da sönüm cihazları ile iyi bir şekilde desteklenerek uygulanmalıdır.



Şekil 3.5 Farklı zeminlere ait tasarım spektrumları

3.2 Sismik Yalıtım Sistemi Elemanları

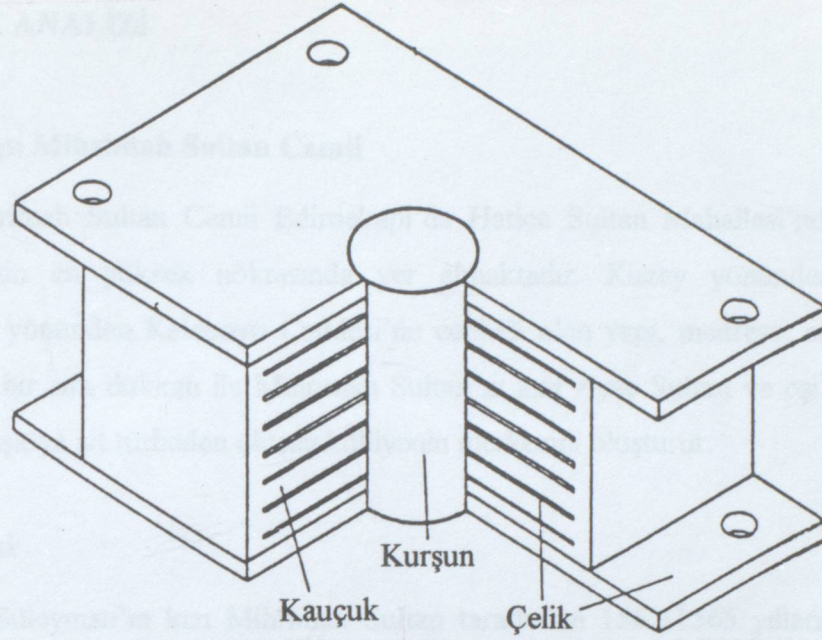
Sismik yalıtım sistemi, elatomerik ve kayıcı sismik yalıtım sistemi olarak iki grupta incelenebilir.

3.2.1 Elastomerik Yalıtım Sistemi Elemanları

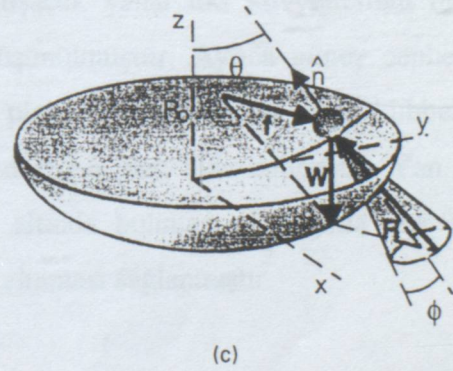
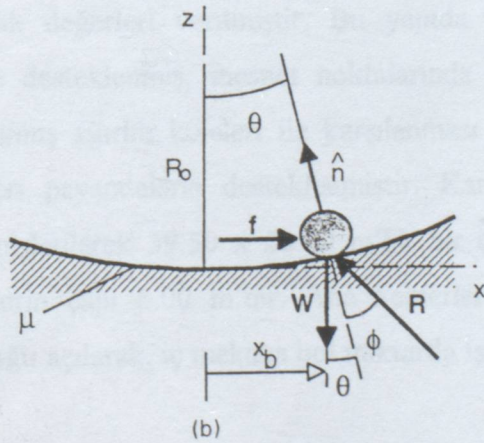
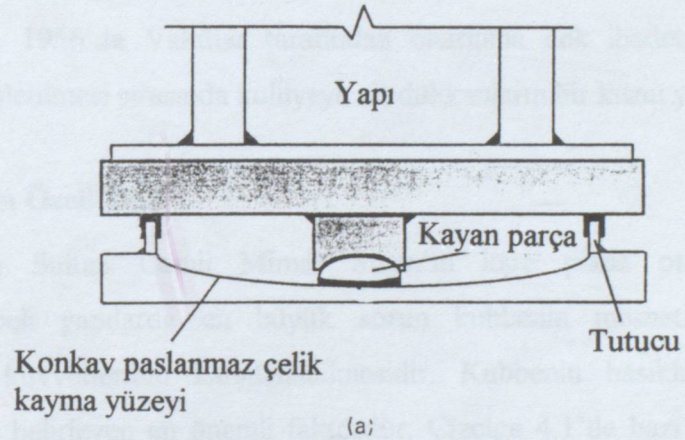
Bunlar genel olarak kauçuk ve çelik levhalarla oluşturulan sistemlerdir. Kauçuğun kolay elde edilebilir bir malzeme olması dünyadaki kullanımını bir hayli artırmıştır. Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk elemanlar, kurşunlu kauçuk elemanlar, yüksek sönümlü doğal kauçuk elemanlar bu tipe birkaç örnektir (Şekil 3.6).

3.2.2 Kayıcı Sismik Yalıtım Sistemi Elemanları

Bu elemanlar sürtünme prensibine uygun olarak çalışır. Sürtünme katsayısı arttıkça iletilen kesme kuvveti değeri artar. En yaygın olarak kullanılan sürtünmeli sarkaç sistemidir. Bu tip eleman hem sürtünme ile hem de sarkacın üzerinde gidip geldiği yüzeyin eğriselliği ile enerji yutmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Merkezinde kurşun bulunan elastomerik yalıtım sistemi elemanı



Şekil 3.7 Sürtünmeli sarkaç yalıtım sistemi elemanı

4. EDİRNEKAPI MİHRİMAH SULTAN CAMİİ'NİN TAŞIYICI SİSTEMİNİN DİNAMİK ANALİZİ

4.1 Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii

Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii Edirnekapi'da Hatice Sultan Mahallesi'nde, İstanbul'un sur içi kesiminin en yüksek noktasında yer almaktadır. Kuzey yönünden Fevzi Paşa Bulvarı'na, batı yönünden Kaleboyu Caddesi'ne cepheli olan yapı, medrese, sıbyan mektebi, hamam, çeşme, bir sıra dükkan ile Mihrimah Sultan'ın kızı Ayşe Sultan ve eşi Vezir-i Azam Güzel Ahmet Paşa'ya ait türbeden oluşan külliye'nin merkezini oluşturur.

4.1.1 Tarihçesi

Kanuni Sultan Süleyman'ın kızı Mihrimah Sultan tarafından 1562-1565 yılları arasında inşa ettirilmiştir. Mimarı Sinan'dır. 1640, 1690, 1719, ve 1894 depremlerinde hasar görmüştür. 1719 depreminde kubbelerinin çöktüğü, minaresinin üst kısmındaki 18 basamağın yıkılmış olduğu söylenmektedir. 1908 yılında Evkaf Nezareti tarafından onarımına başlanmış, fakat devam ettirilmemiştir. 1956'da Vakıflar tarafından onarılan dek ibadete kapalı kalmıştır. 1957'de bulvarın genişletilmesi sırasında külliye'ye ait dükkanların bir kısmı yıkılmıştır.

4.1.2 Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii Mimar Sinan'ın kare plana oturan tek kubbeli yapılarındandır. Kubbeli yapılarda en büyük sorun kubbenin mesnetlendiği noktalarda oluşacak yanal itki kuvvetlerinin karşılanabilmesidir. Kubbenin basıklığı, bu yanal itki kuvvetlerinin şiddetini belirleyen en önemli faktördür. Çizelge 4.1'de bazı Sinan yapıları için kubbe basıklık değerleri verilmiştir. Bu yapıda kubbe, kemer – ayak sistemi ile taşınan pandantiflerle desteklenmiş, mesnet noktalarında oluşacak yanal itki kuvvetlerinin de dört köşeye konulmuş ağırlık kuleleri ile karşılanması düşünülmüştür. Ayrıca güney cephesinde, ağırlık kuleleri payandalarla desteklenmiştir. Kare planlı ibadet mekanı üçer kubbeli yan sahınlarla genişletilerek 39.50 x 28.00 m'lik bir dikdörtgen plan elde edilmiştir. Yan sahını örten kubbelerin çapı 6.00 m'dir. Ana kemerlerin altında bulunan duvarlarda çok sayıda pencere boşluğu açılarak, iç mekana bol miktarda ışık alınması sağlanmıştır.

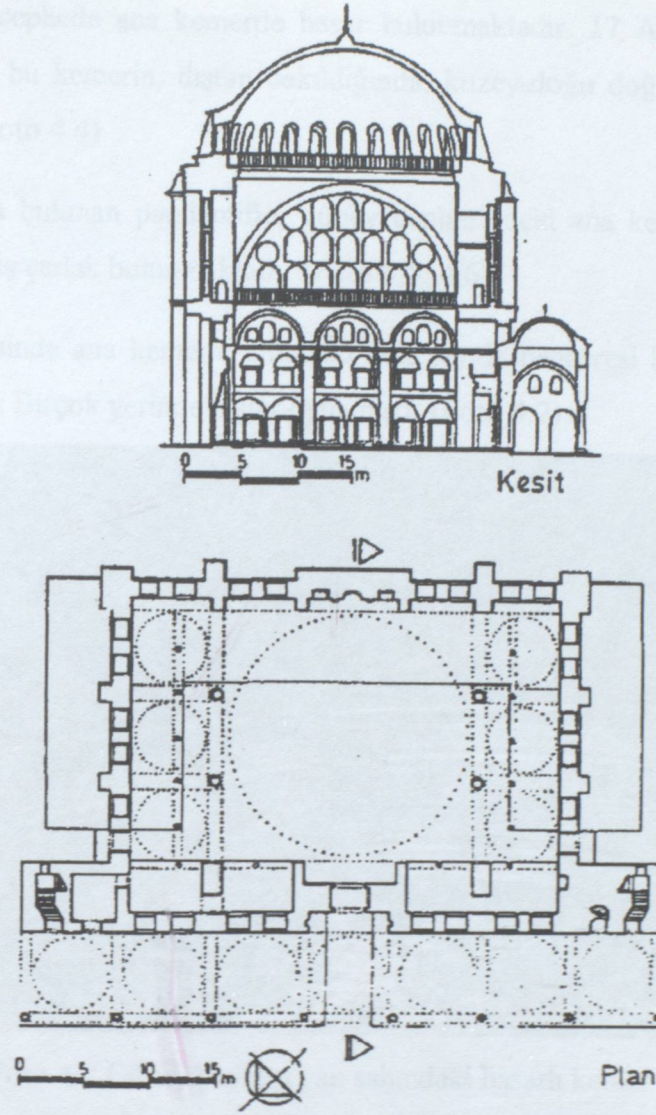
Çizelge 4.1 Bazı Sinan yapılarına ait kubbe basıklık değerleri (Çamlıbel, 1999)

Yapı	f (m)	2r (m)	$k = f / 2r$ (Basıklık)
Şehzade Camii	6.95	19.50	0.366
Süleymaniye Camii	9.50	27.25	0.347
Selimiye Camii	10.29	31.50	0.327
Üsküdar Mihrimah Sultan Camii	4.56	11.85	0.385
Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii	6.42	19.46	0.333
Sokollu Camii	4.96	12.70	0.390

Yapı doğu – batı doğrultusunda simetriktir. Ancak kuzey – güney doğrultusunda kuzey cephesi duvarının daha büyük boyutta olması ve güney cephesinde galeri bulunmaması, kuzey cephesinin daha rijit olmasına sebep olmuştur. Güney cephesindeki ileri düzeydeki hasarın nedenlerinden biri de bu olabilir.



Foto 4.1 Edirnekapı Mîhrimah Sultan Camii genel görünüşü



Şekil 4.1 Caminin plan ve kesiti

4.2 Yapısal Analiz

4.2.1 Yapıda Tespit Edilen Hasarlar

Yapıda yerinde yapılan incelemelerde aşağıdaki hasarlar tespit edilmiştir:

1. Yapının güney cephesinde, galeri katındaki kemerlerden ikisinin kilit taşı bölgesinde hasar bulunmaktadır. Bunlardan biri yan sahında bulunmaktadır ve kemerin tam ortasında geniş bir çatlak bulunmaktadır (Foto 4.2). Bu kemerde rutubetten dolayı da hasar bulunmaktadır. Diğerinin ise kilit taşı yerinden oynamıştır ve kemerin hemen

üstündeki taşların arası açılmış ve geniş bir çatlak oluşmuştur (Foto 4.3).

2. Yine güney cephede ana kemerde hasar bulunmaktadır. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde bu kemerin, dıştan bakıldığında, kuzey-doğu doğrultusunda üç adet taş düşmüştür (Foto 4.4)
3. Güneydoğuda bulunan pendentife, güney cephesindeki ana kemerden düşen taşların hizasında geniş çatlak bulunmaktadır (Foto 4.5, 4.6).
4. Güney cephesinde ana kemerin altındaki çok sayıda penceresi bulunan tempan duvar ağır hasarlıdır. Birçok yerinde taşlar oynamıştır (Foto 4.7)

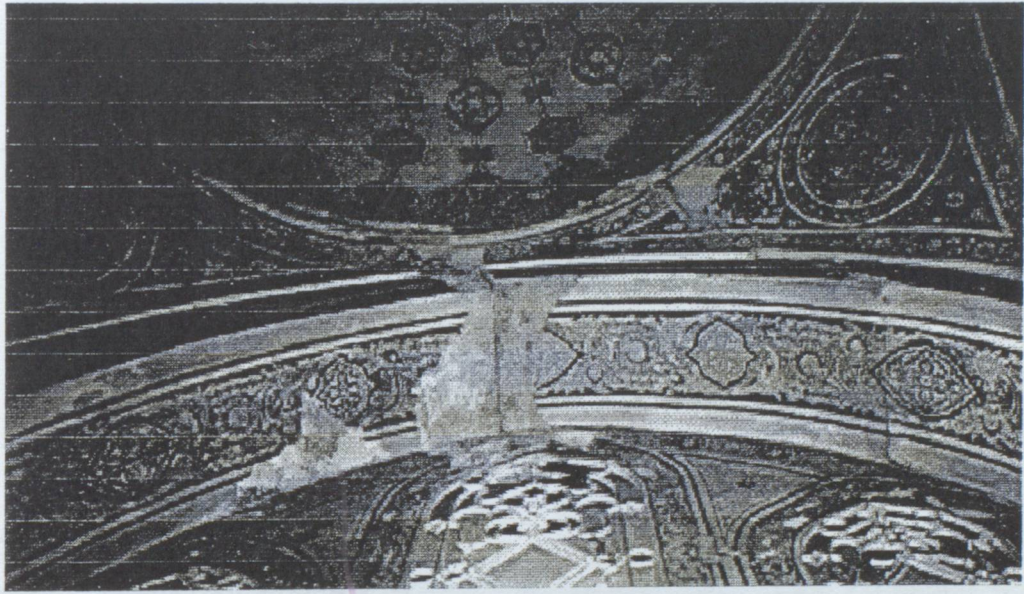


Foto 4.2 Güney cephesi yan sağındaki hasarlı kemer

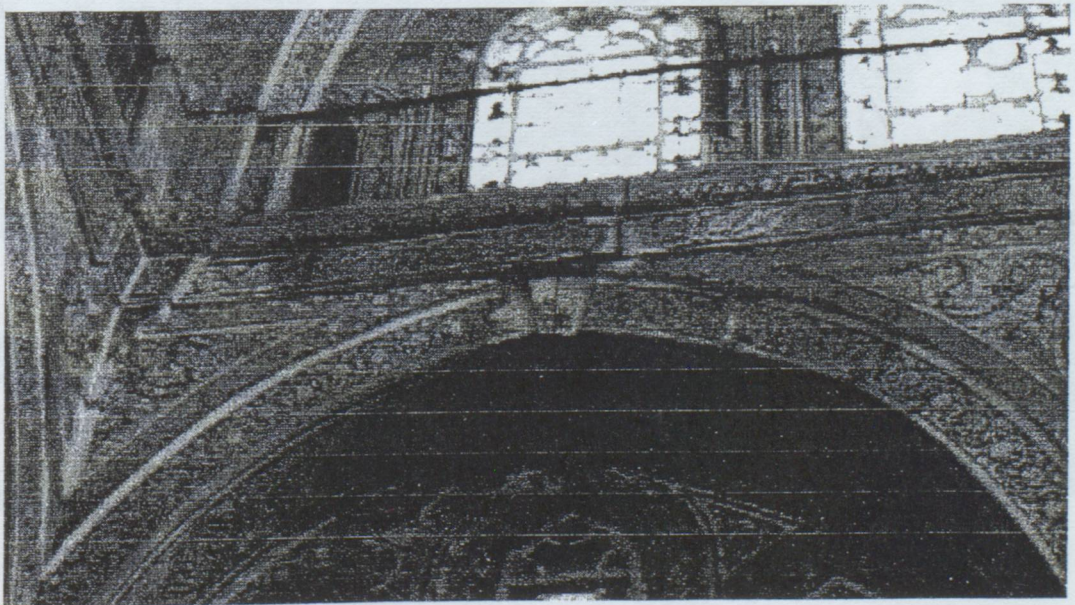


Foto 4.3 Güney cephesinde galeri seviyesindeki hasarlı kemer.

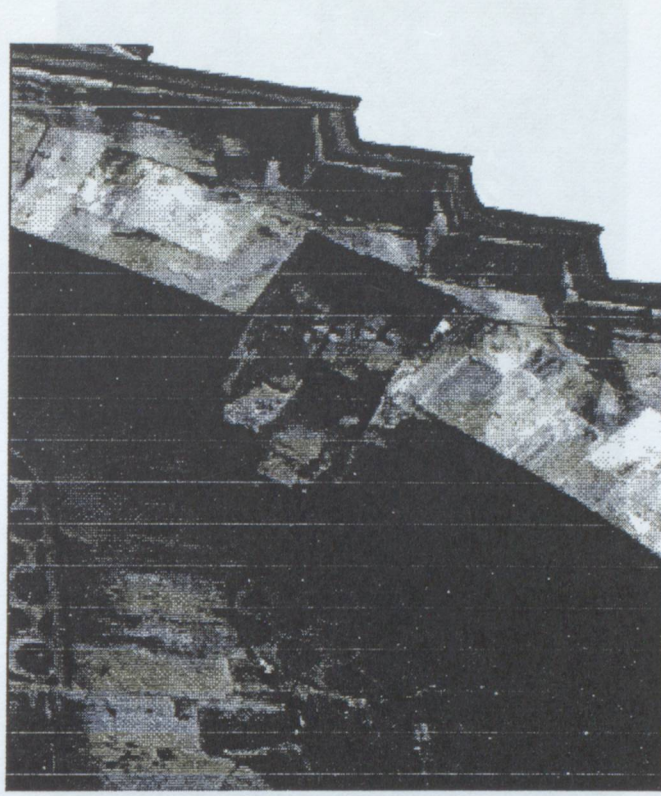


Foto 4.4 Güney cephesi ana kemerinden düşen taşların bulunduğu bölge

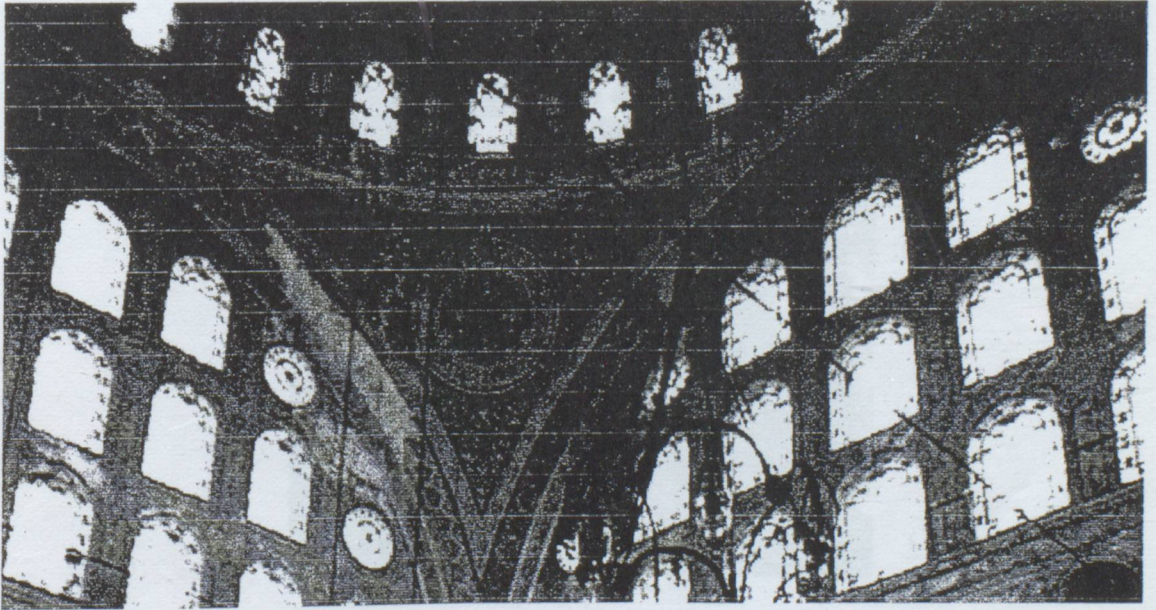


Foto 4.5 Güney ve doğu cepheleri görünüşü



Foto 4.6 Güneydoğudaki pandantifte hasar

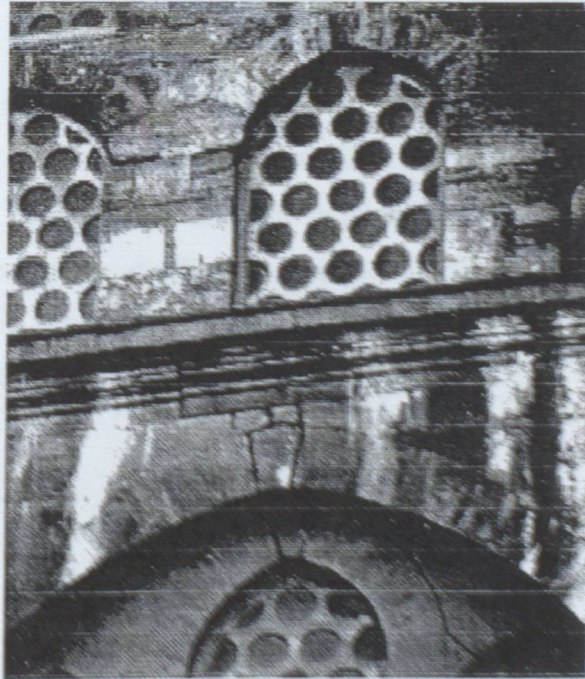


Foto 4.7 Güney cephesinde kilit taşı oynamış olan kemerin dış cepheden görünüşü ve duvarda hasar

4.2.2 Yapının Üzerinde Bulunduğu Zeminin Özellikleri

Yapının bulunduğu yerde, Temmuz 2000'de zemin sondajı (Yertek Mühendislik Araştırma ve Sondaj Sanayii Ticaret Limited Şirketi) ile zemin tabakaları belirlenmiş ve alınan numuneler üzerinde, Eylül 2000'de zemin etüdleri laboratuvar deneyleri (Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı) yapılmıştır. Bu iki deneyin değerlendirmesi mahiyetindeki raporda (Özaydın, Yıldırım, 2000) arazide 1.50-2.50 m derinlikler arasında kum, kil ve kaya parçalı yapay bir dolgu, 10.00-23.50 m arasında değişen derinliklere kadar kireçtaşı, silt arabantlı katı sert kıvamlı marn, bu tabakanın altında ise çok sert kıvamda, yeşil renkli siltli yer yer kumlu kil tabaka bulunduğu belirtilmektedir. Aynı raporda, zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre yapının üzerinde bulunduğu zeminin, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik esaslarına göre Z_3 zemin grubunda olduğu ve karakteristik periyotlarının $T_A=0.15$ s, $T_B=0.60$ s olarak alınması gerektiği söylenmektedir.

4.2.3 Taşıyıcı Sistem Malzeme Özellikleri

Yapının kubbe ve pandantifleri tuğla, kemer, ayak ve duvarları ise masif taşlarla inşa edilmiştir. Bu çalışma kapsamında malzeme özellikleri ile ilgili bir deney yapılmamıştır. Malzeme özelliklerini belirleyen deneylerin sonuçlarının bu tip, malzeme yönünden homojen olmayan taşıyıcı sisteme sahip yapıların analitik modellenmesi ve yapısal analizinde çok iyi sonuçlar verdiği söylenemez. Bu çalışmada Sayın'ın kendi çalışmasında kullandığı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü tarafından yapılan, yapının serbest titreşim özelliklerinin belirlendiği deney (ambient vibration test) sonuçları kullanılmıştır. Malzeme özellikleri, modelin ilk iki moduna ait mod şekilleri ve periyot değerlerinin deneyde elde edilen değerlerle örtüşecek şekilde seçilmiştir (Çizelge 4.2).

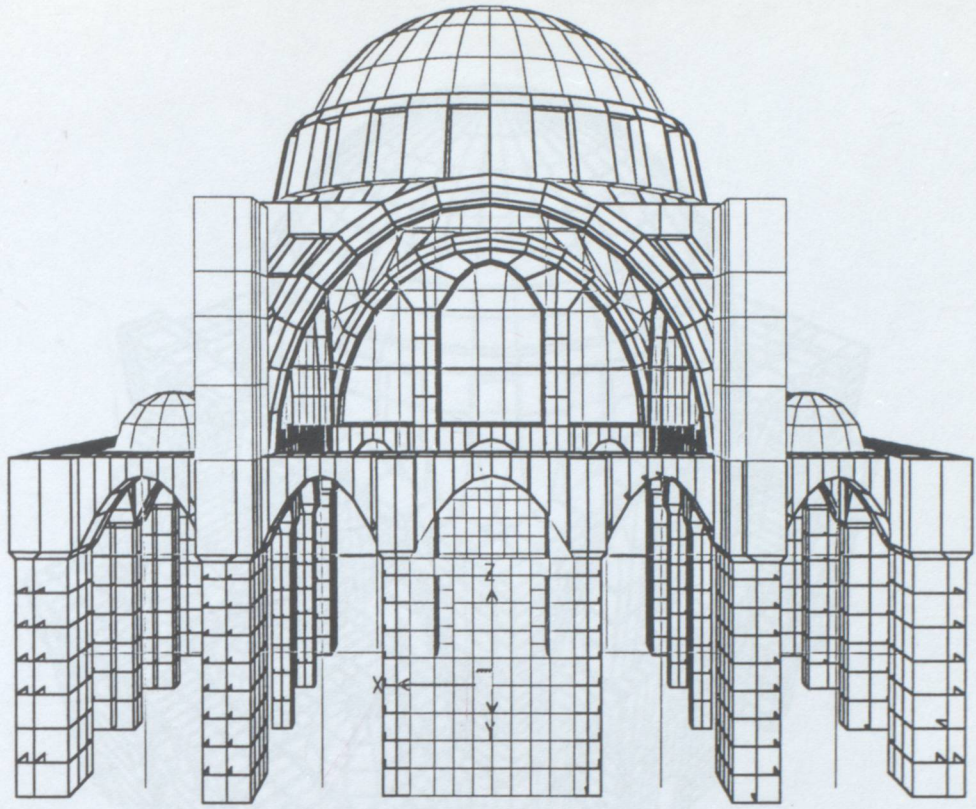
Çizelge 4.2 Modelde kullanılan malzeme özellikleri

Eleman Tipi	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Birim Hacim Ağırlık (N/mm ³)	Poisson Oranı
Yığma Yapı Elemanı (Solid)	7000	2.19×10^{-5}	0.15
Duvarlarda Kullanılan Kabuk Eleman (Shell)	7000	2.19×10^{-5}	0.15
Kubbe ve Pandantiflerde Kullanılan Kabuk Eleman (Shell)	3000	2.00×10^{-5}	0.15

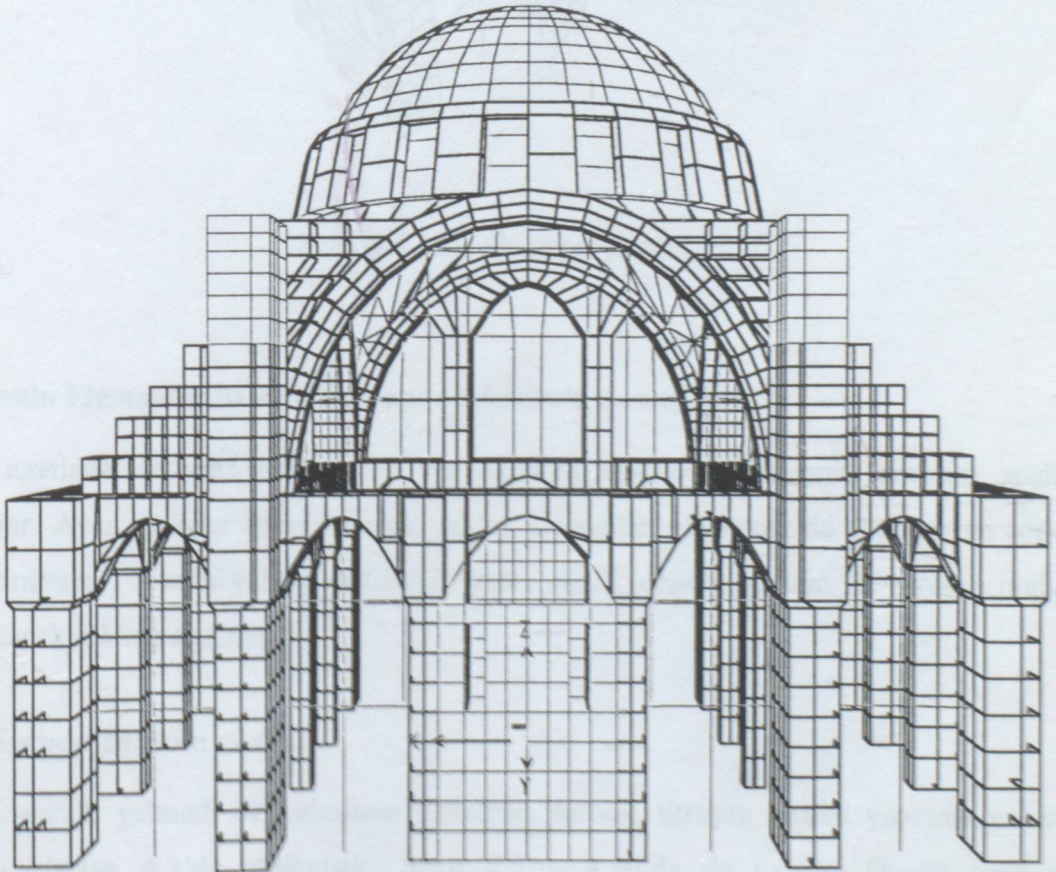
4.2.4 Sonlu Elemanlar Modeli Üzerinde Yapılan Değişiklikler

Bu çalışmada kullanılan, yapıya ait sonlu eleman modeli, daha önce, yapının serbest titreşim modundaki dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır (Sayın, 1998). Model üzerinde deprem kaydı verilerek yapılacak analiz için modelin geliştirilmesi gerektiği düşünülerek model üzerinde aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır:

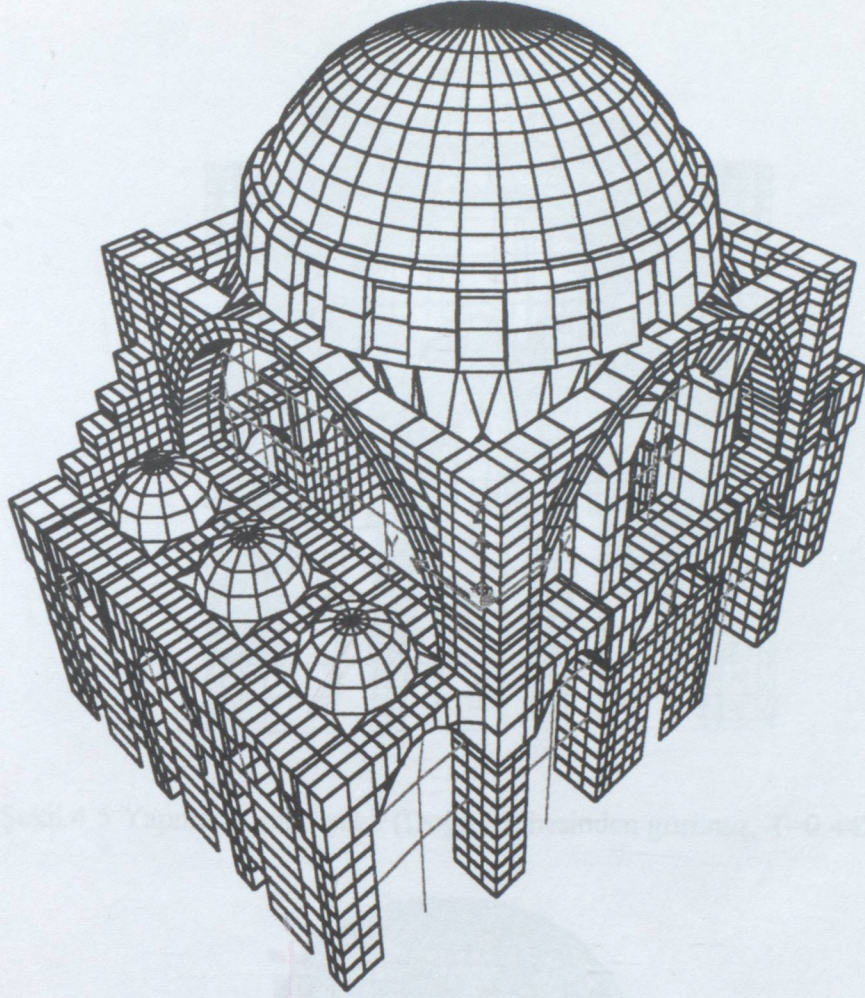
1. Modelin +9.00m kotu seviyesindeki sonlu eleman sayısı artırılmıştır. Bu şekilde aynı seviyedeki kemerlerin bulunduğu bölgede daha hassas sonuç alınabileceği düşünülmüştür.
2. Mevcut modelde ağırlık kuleleri tamamen kabuk elemanı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada ağırlık kuleleri +18.573m kotuna kadar yığma yapı elemanı kullanılarak modellenmiş ve mevcut sonlu eleman sayısı artırılmıştır.
3. Eski modelde bulunmayan, güney cephesindeki ağırlık kulelerini destekleyen payandalar eklenmiştir.
4. Ana kemerlerle ağırlık kulelerinin birleşim detayı üzerinde değişiklikler yapılmış ve ana kemeri oluşturan sonlu eleman sayısı artırılmıştır.



Şekil 4.2 Modelin eski halinin güney cephesinden görünüş



Şekil 4.3 Modelin yeni halinin güney cephesinden görünüş



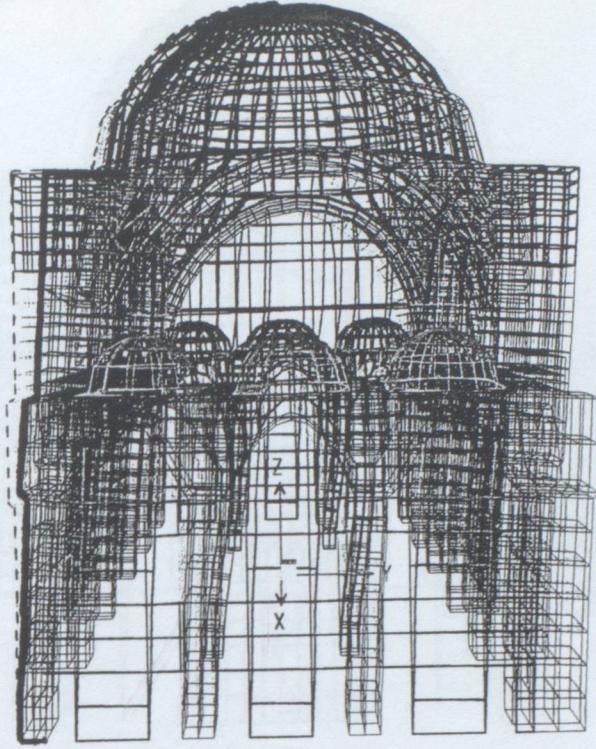
Şekil 4.4 Modelin genel görünüşü

4.3 Sonlu Elemanlar Modeli ile Yapılan Analizin Sonuçları

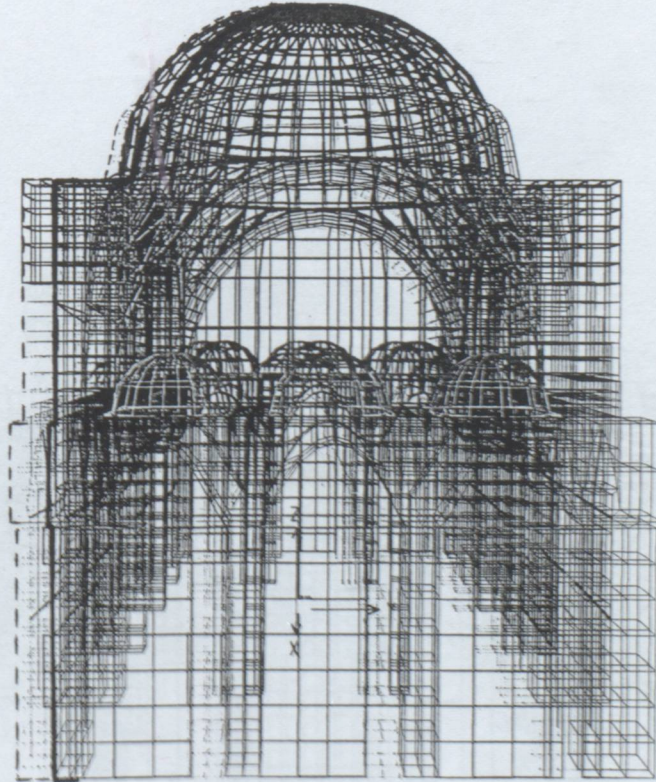
Model üzerinde serbest titreşim ve yer hareketi etkisinde zorlanmış titreşim analizleri yapılmıştır. Aynı analizler yapıya sismik yalıtım elemanları eklenerek de yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sismik yalıtım sisteminin yatay rijitlik değeri, yapının ilk titreşim periyodu 2.00 s olacak şekilde seçilmiştir.

4.3.1 Serbest titreşim analizi

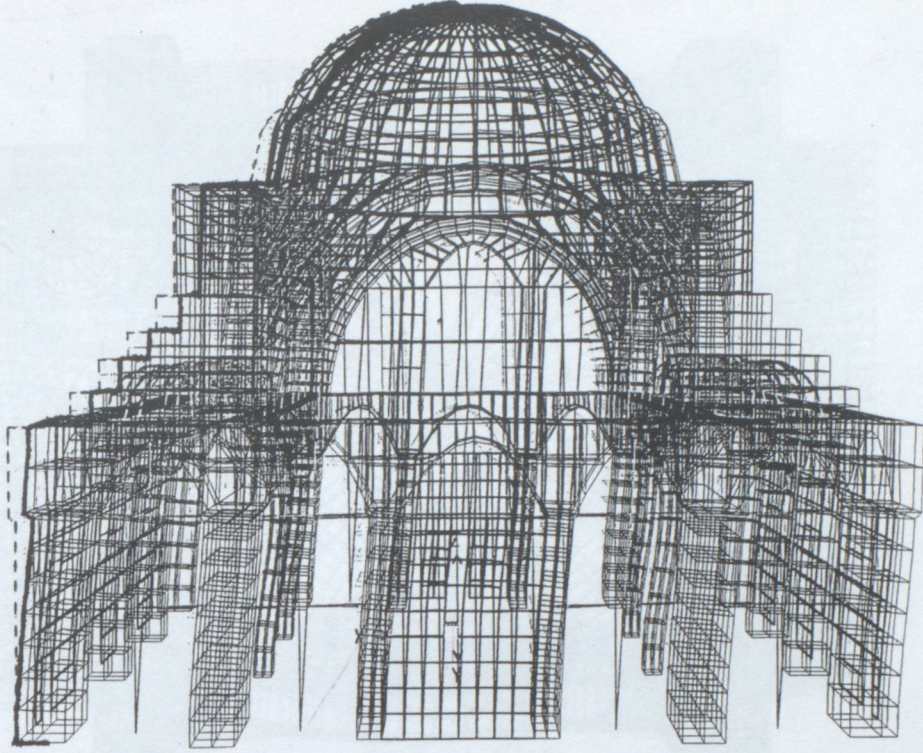
Yapının, sismik yalıtımlı ve yalıtımsız hallerinin serbest titreşim analizi yapılmış ve analiz sonuçları çizelge 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.5 – 4.10'da da yapının ilk üç mod şekli gösterilmiştir.



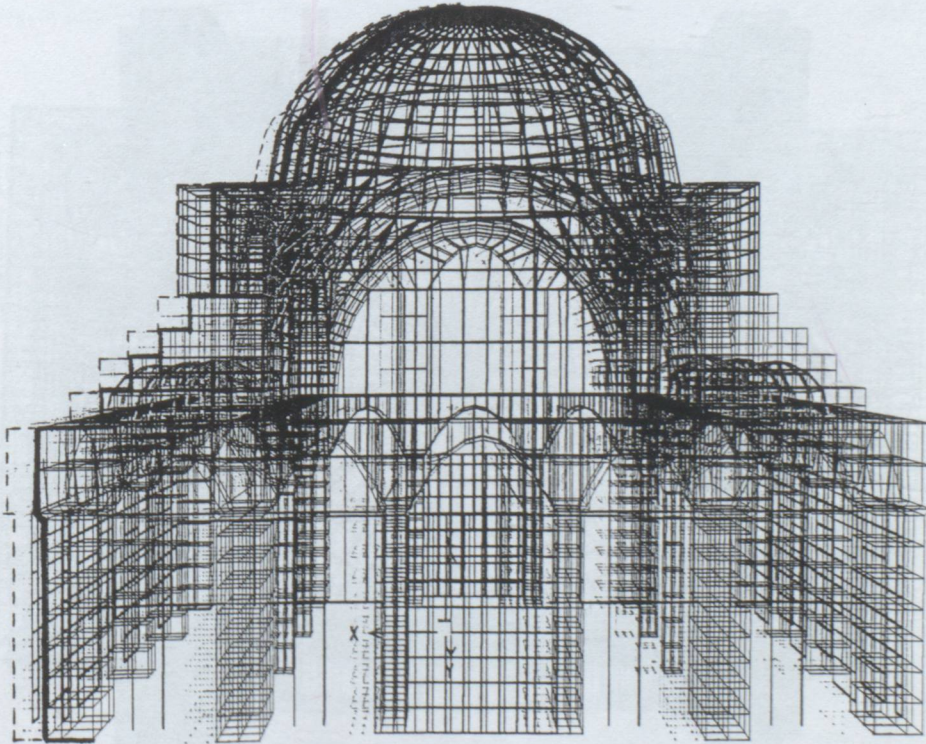
Şekil 4.5 Yapının 1. mod şekli (Doğu cephesinden görünüş, $T=0.4422$ s)



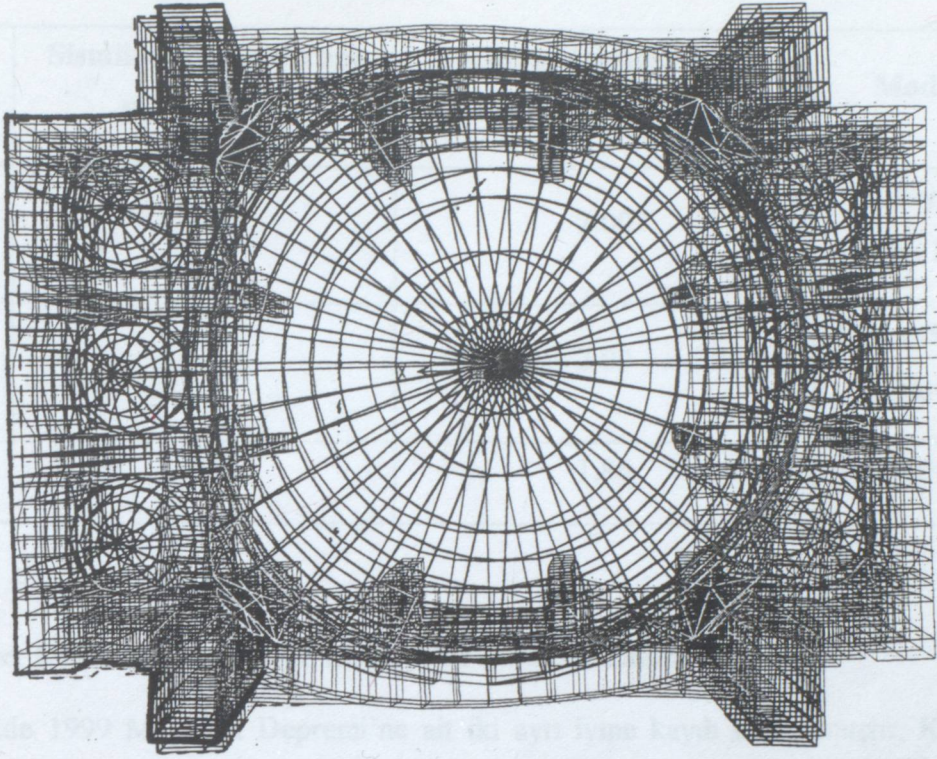
Şekil 4.6 Sismik yalıtımlı yapının 1. mod şekli (Doğu cephesinden görünüş, $T=2.00$ s)



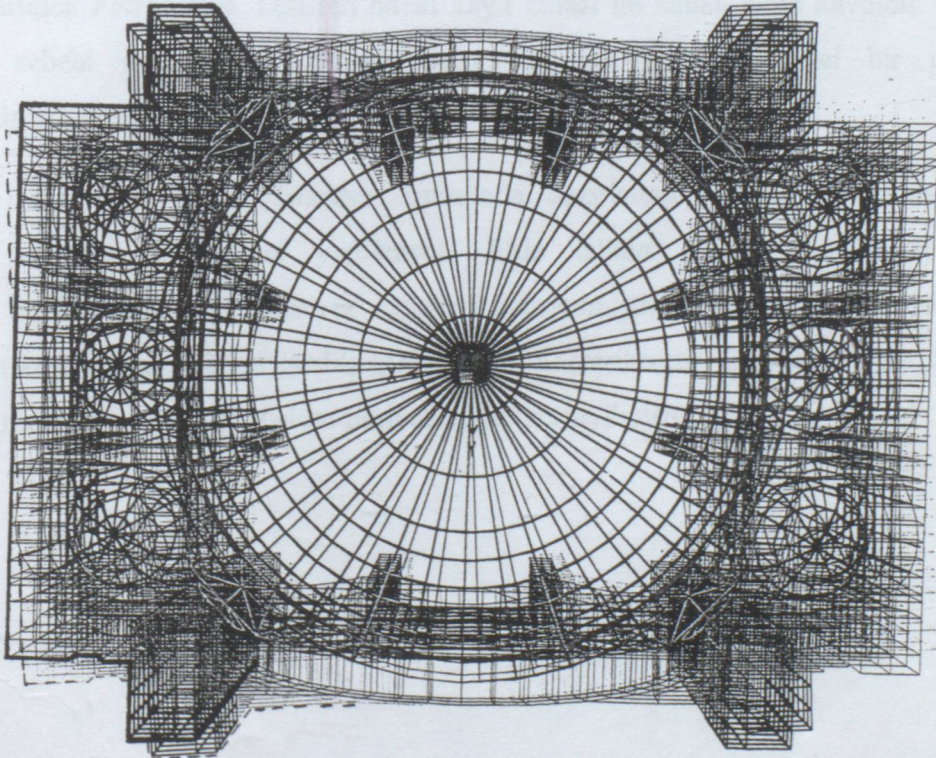
Şekil 4.7 Yapının 2. mod şekli (Güney cephesinden görünüş, $T=0.4011$ s)



Şekil 4.8 Sismik yalıtımlı yapının 2. mod şekli (Güney cephesinden görünüş, $T=2.00$ s)



Şekil 4.9 Yapının 3. mod şekli (Üstten görünüş, $T=0.1702$ s)



Şekil 4.10 Sismik yalıtımlı yapının 3. mod şekli (Üstten görünüş, $T=2.00$ s)

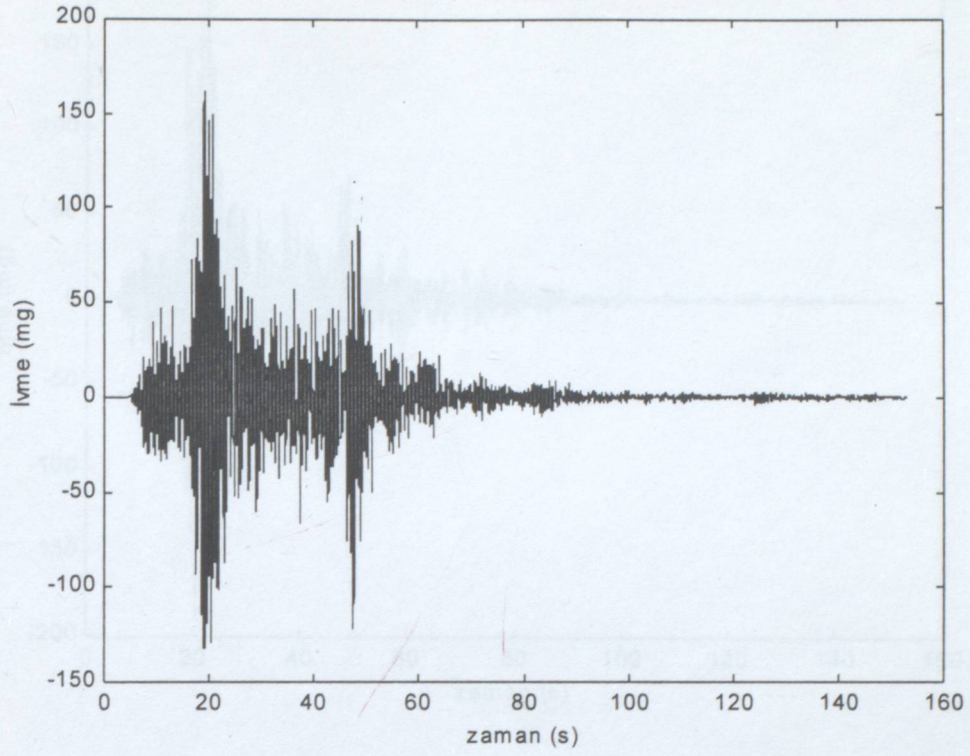
Çizelge 4.3 Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıya ait serbest titreşim modları

Mod	Sismik Yalıtımsız Yapı Periyodu (s)	Sismik Yalıtımlı Yapı Periyodu (s)	Mod Şekli
1	0.4422	2.00	Kuzey-Güney yatay hareket
2	0.4011	2.00	Doğu-Batı yatay hareket
3	0.1702	1.86	Burulma

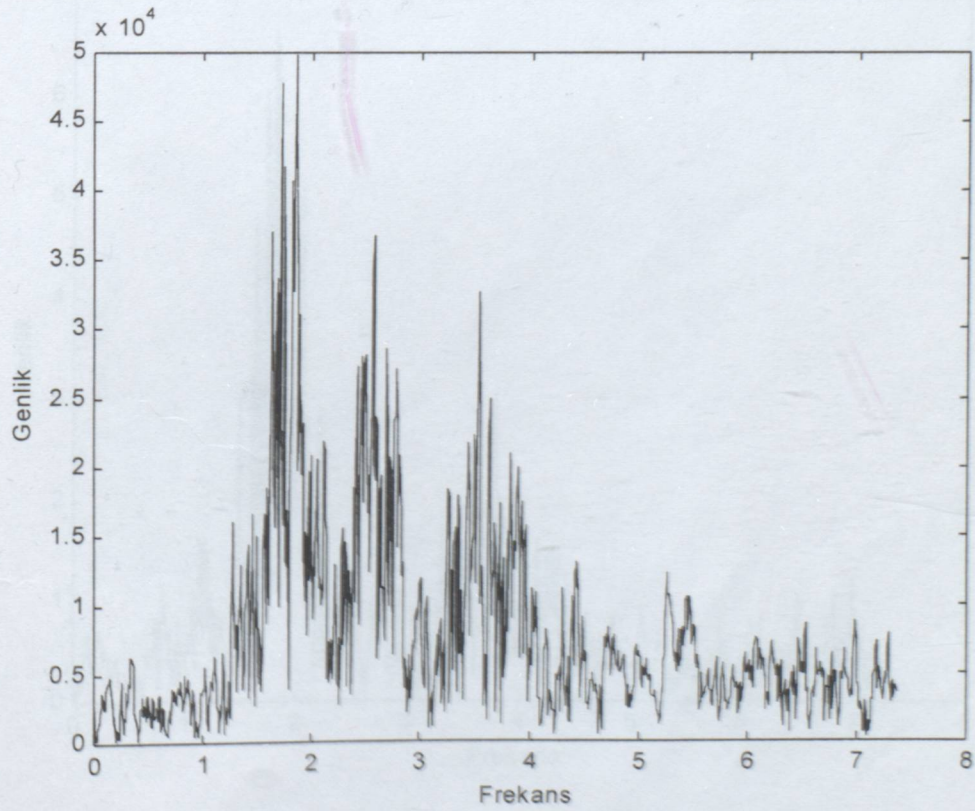
4.3.2 Yer hareketi kaydı (time-history) ile dinamik analiz

Bu analizde 1999 Marmara Depremi'ne ait iki ayrı ivme kaydı kullanılmıştır. Kayıtların ilki yapının bulunduğu yere çok yakın olan Fatih Türbesi'nde bulunan kayıt cihazı ile alınan ivme kaydıdır. Bu kayıt kullanılarak yapıdaki mevcut hasarların oluşmasında depremin etkisinin ne boyutta olduğunun anlaşılmasına çalışılmıştır. İkinci kayıt ise fay hattına 4 km. uzaklıkta bulunan Yarımcı Petrokimya Tesisleri'ndeki kayıt cihazı ile alınan ivme kaydıdır. Bu kaydın kullanılma sebebi ise sismik yalıtımın yakın deprem etkisinde nasıl bir performans sergilediğinin araştırılması isteğidir.

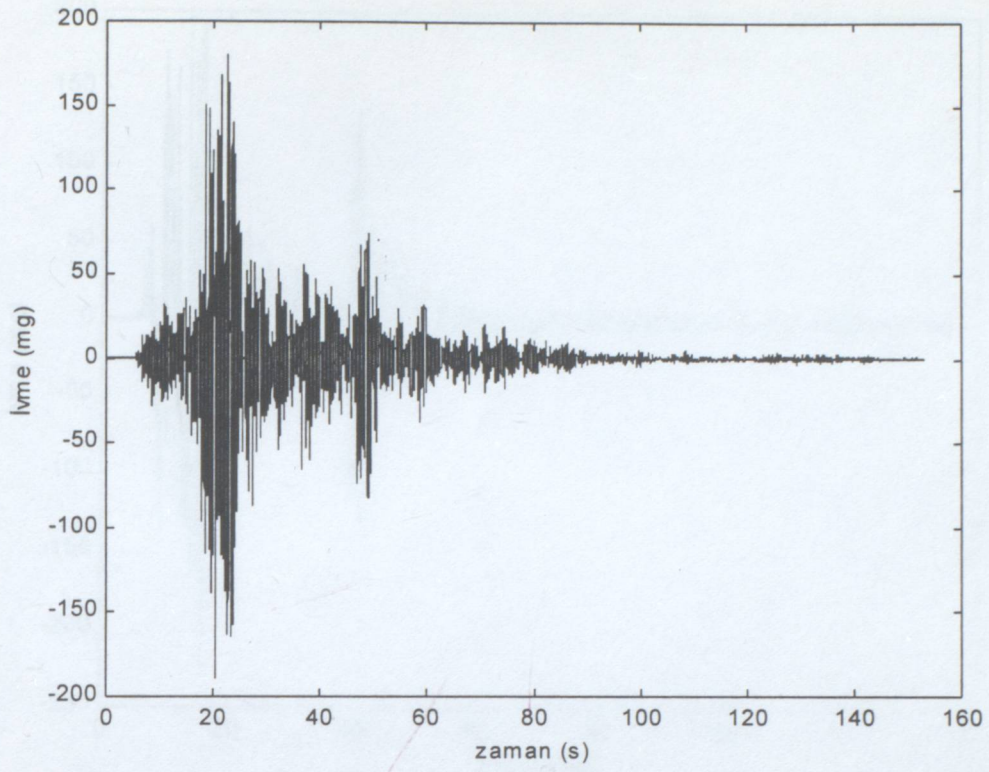
MATLAB, matematik analiz yazılımı ortamında hazırlanan program kullanılarak, ivme kayıtlarının Fourier dönüşümü yapılmıştır. Elde edilen Fourier genlik spektrumları yardımıyla, kayıtlara ait hakim periyot değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.11 – 4.18'de iki ivme kaydı ve bu kayıtlara ait fourier genlik spektrumları gösterilmiştir. Çizelge 4.4'de bu kayıtlara ait maksimum ivme ve yaklaşık hakim periyot değerleri verilmiştir.



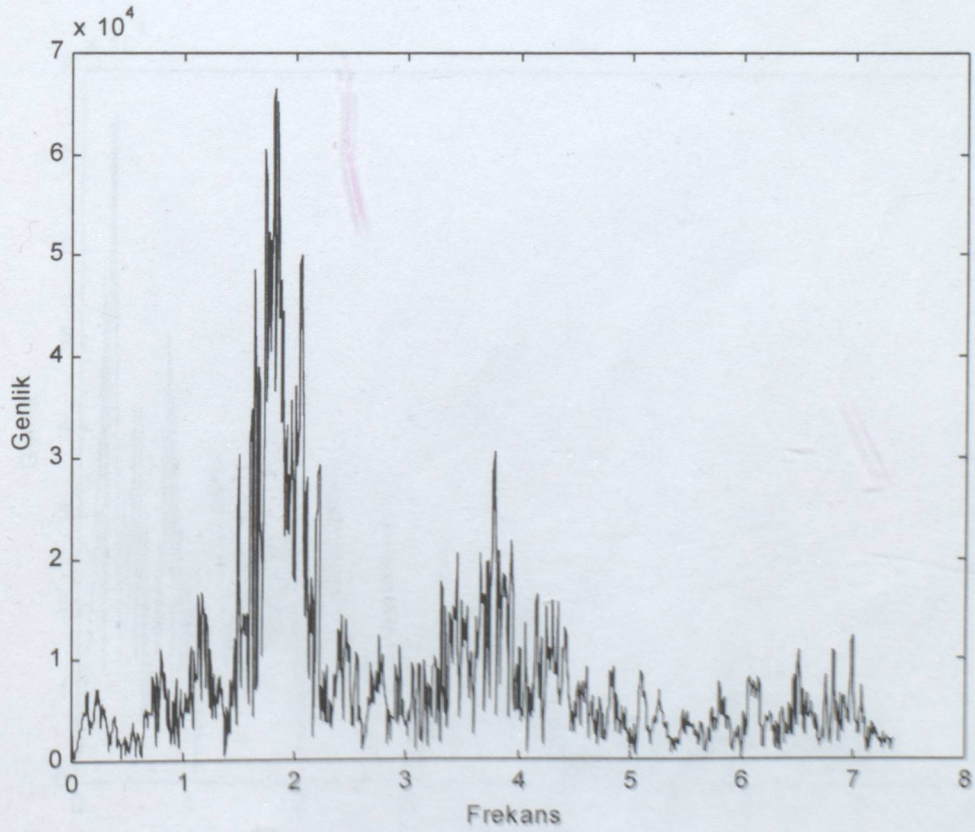
Şekil 4.11 İvme kaydı (Fatih (doğu-batı))



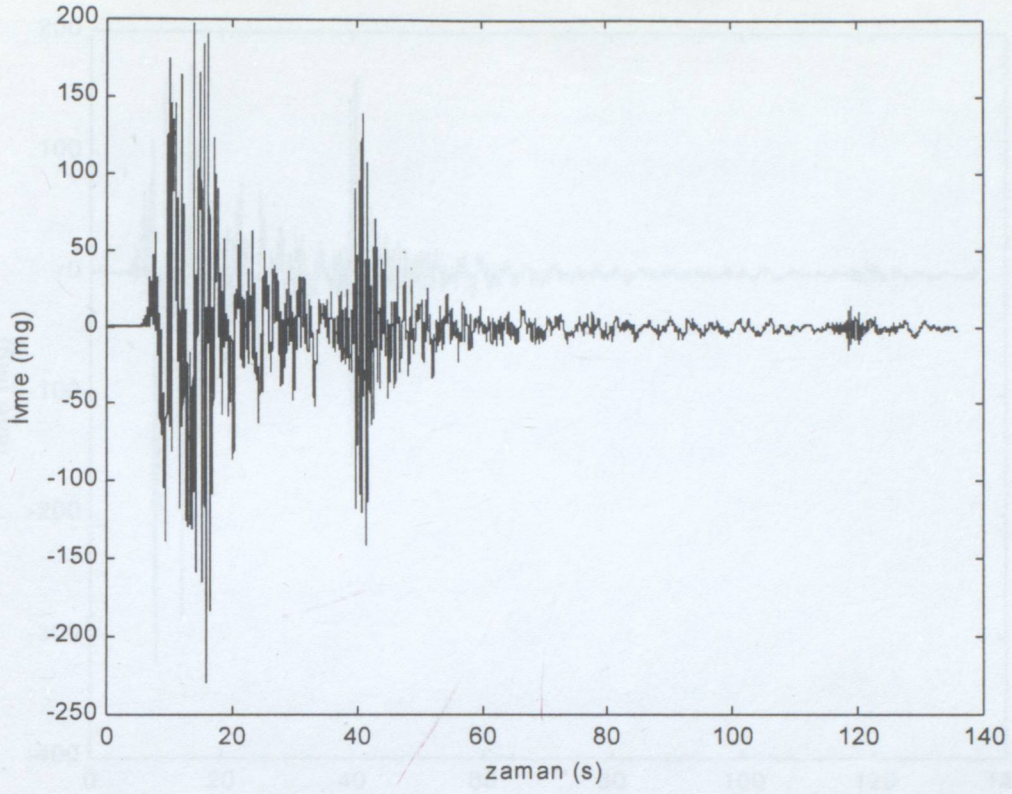
Şekil 4.12 Fourier genlik spektrumu (Fatih (doğu-batı))



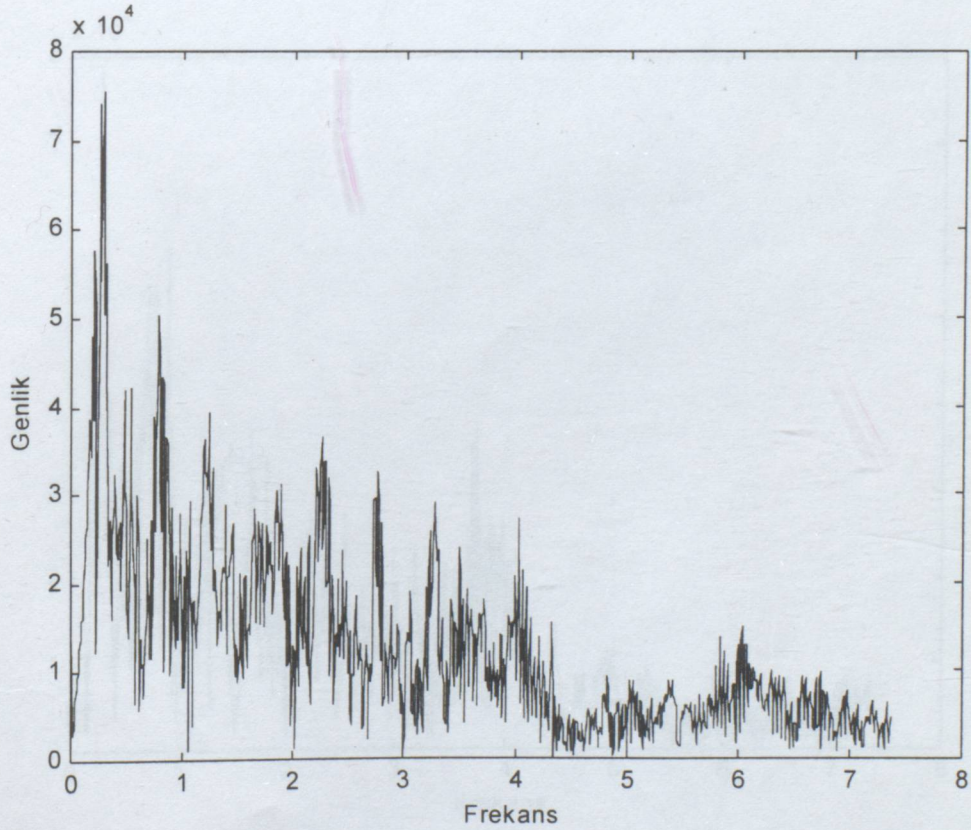
Şekil 4.13 İvme kaydı (Fatih (kuzey-güney))



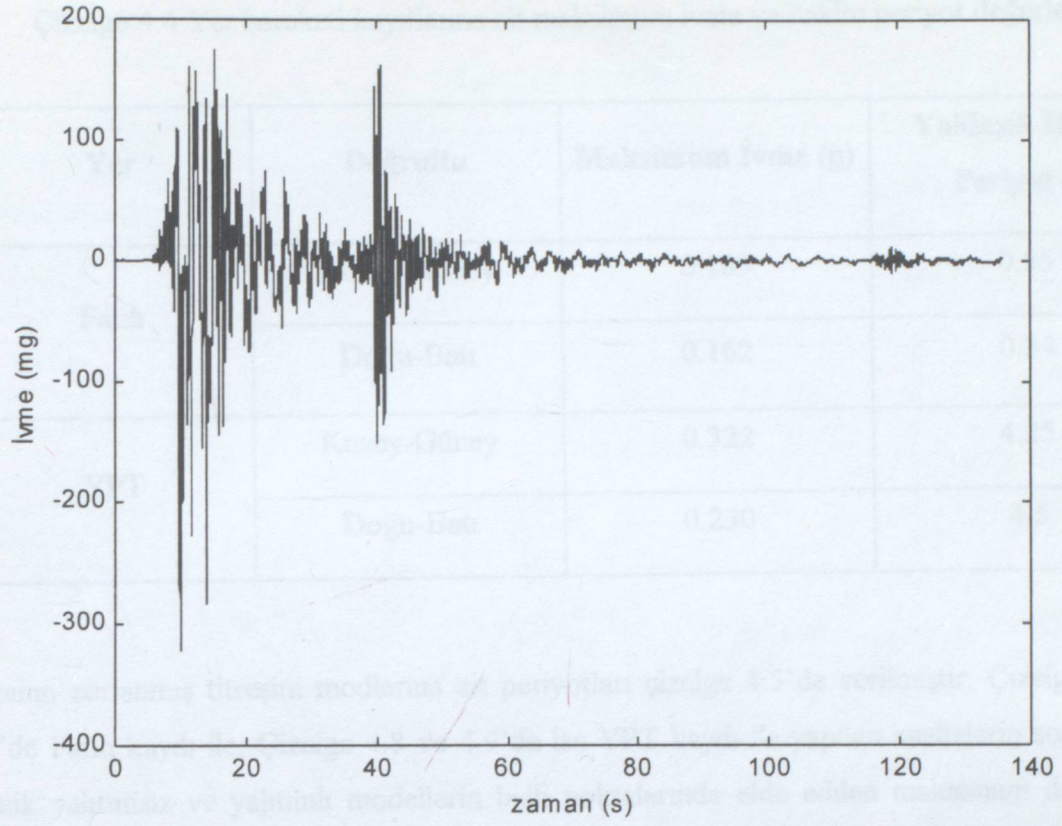
Şekil 4.14 Fourier genlik spektrumu (Fatih (kuzey-güney))



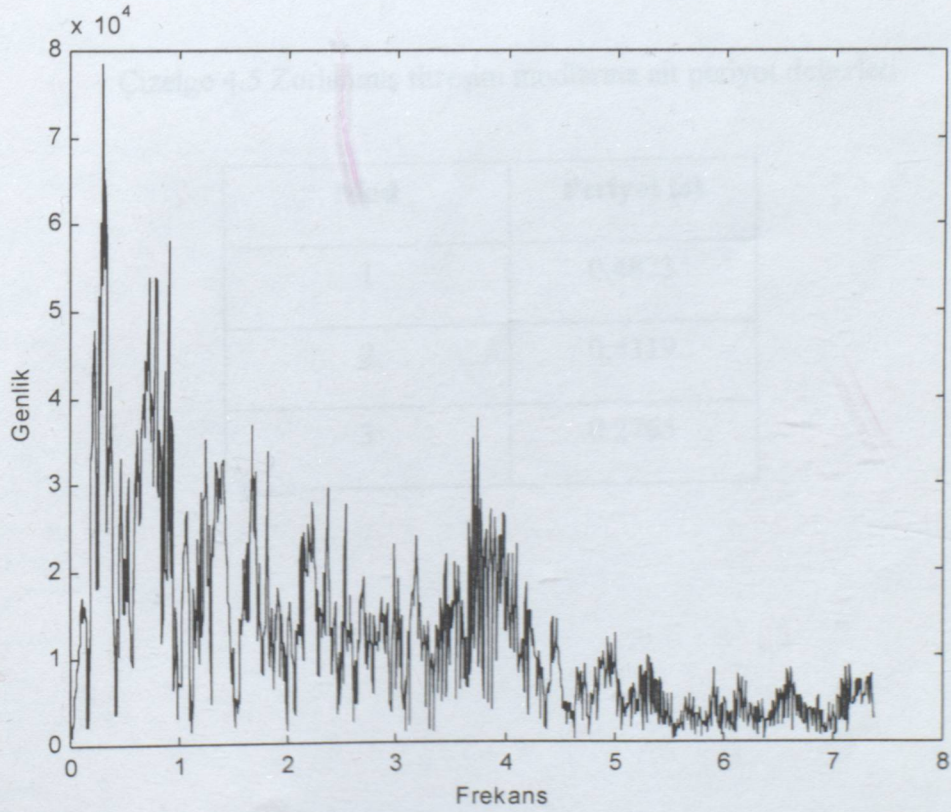
Şekil 4.15 İvme kaydı (YPT (doğu-batı))



Şekil 4.16 Fourier genlik spektrumu (YPT (doğu-batı))



Şekil 4.17 İvme kaydı (YPT (kuzey-güney))



Şekil 4.18 Fourier genlik spektrumu (YPT (kuzey-güney))

Çizelge 4.4 Yer hareketi kayıtlarına ait maksimum ivme ve hakim periyot değerleri

Yer	Doğrultu	Maksimum İvme (g)	Yaklaşık Hakim Periyot (s)
Fatih	Kuzey-Güney	0.189	0.55
	Doğu-Batı	0.162	0.54
YPT	Kuzey-Güney	0.322	4.25
	Doğu-Batı	0.230	4.5

Yapının zorlanmış titreşim modlarına ait periyotları çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.6 ve 4.7’de Fatih kaydı ile, Çizelge 4.8 ve 4.9’da ise YPT kaydı ile yapılan analizlerin sonucunda, sismik yalıtımsız ve yalıtımlı modellerin belli noktalarında elde edilen maksimum deplasman ve ivme değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Zorlanmış titreşim modlarına ait periyot değerleri

Mod	Periyot (s)
1	0.4823
2	0.4319
3	0.2765

Çizelge 4.6 Fatih kaydı etkisindeki sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıya ait maksimum deplasman değerleri

Düğüm Noktası Numarası	Deplasman (cm)			
	Sismik Yalıtımsız		Sismik Yalıtımlı	
	D-B	K-G	D-B	K-G
2012 (Mesnet noktası)	-	-	2.813	2.292
328 (Güney cephesi ana kemer tepe noktası)	3.034	7.647	2.936	2.612
1328 (Kuzey cephesi ana kemer tepe noktası)	3.707	7.254	3.066	2.675
478 (Batı cephesi ana kemer tepe noktası)	4.033	5.901	3.030	2.537
1478 (Doğu cephesi ana kemer tepe noktası)	4.148	5.909	3.011	2.573
6008 (Ana kubbe tepe noktası)	3.77	6.18	3.015	2.560

Çizelge 4.7 Fatih kaydı etkisindeki sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıya ait maksimum ivme değerleri

Düğüm Noktası Numarası	İvme (g)			
	Sismik Yalıtımsız		Sismik Yalıtımlı	
	D-B	K-G	D-B	K-G
2012 (Mesnet noktası)	-	-	0.164	0.192
328 (Güney cephesi ana kemer tepe noktası)	0.653	1.14	0.171	0.218
1328 (Kuzey cephesi ana kemer tepe noktası)	0.823	1.166	0.171	0.216
478 (Batı cephesi ana kemer tepe noktası)	0.929	0.93	0.172	0.211
1478 (Doğu cephesi ana kemer tepe noktası)	0.911	0.914	0.173	0.211
6008 (Ana kubbe tepe noktası)	0.808	0.956	0.172	0.213

Çizelge 4.8 YPT kaydı etkisindeki sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıya ait maksimum
deplasman değerleri

Düğüm Noktası Numarası	Deplasman (cm)			
	Sismik Yalıtımsız		Sismik Yalıtımlı	
	D-B	K-G	D-B	K-G
2012 (Mesnet noktası)	-	-	29.46	24.03
328 (Güney cephesi ana kemer tepe noktası)	4.76	4.709	30.74	25.90
1328 (Kuzey cephesi ana kemer tepe noktası)	5.61	3.817	32.50	25.63
478 (Batı cephesi ana kemer tepe noktası)	6.341	3.353	31.46	25.18
1478 (Doğu cephesi ana kemer tepe noktası)	6.35	3.362	31.46	25.79
6008 (Ana kubbe tepe noktası)	5.826	3.564	31.39	25.56

Çizelge 4.9 YPT kaydı etkisindeki sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıya ait maksimum ivme
değerleri

Düğüm Noktası Numarası	İvme (g)			
	Sismik Yalıtımsız		Sismik Yalıtımlı	
	D-B	K-G	D-B	K-G
2012 (Mesnet noktası)	-	-	0.470	0.387
328 (Güney cephesi ana kemer tepe noktası)	0.962	0.775	0.491	0.414
1328 (Kuzey cephesi ana kemer tepe noktası)	1.136	0.809	0.499	0.413
478 (Batı cephesi ana kemer tepe noktası)	1.32	0.564	0.498	0.408
1478 (Doğu cephesi ana kemer tepe noktası)	1.192	0.508	0.498	0.410
6008 (Ana kubbe tepe noktası)	1.205	0.568	0.497	0.410

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii'nin sonlu elemanlar modeli üzerinde yapılan dinamik analiz sonuçlarına göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

1. Yapı, maksimum ivme değeri daha düşük olan Fatih kaydı etkisinde, kuzey-güney doğrultusunda 7.65 cm'e ulaşan yatay deplasman yapmaktadır. Ancak YPT kaydı etkisinde bu değer 4.7 cm civarındadır. İki kayıtle yapılan analizlerin sonuçları arasındaki bu fark, yapının zorlanmış titreşim periyodunun, Fatih kaydının hakim periyot değerine yakın olması ile açıklanabilir. Deprem anında yapının güney cephesi ana kemerinin üç taşının düşmesi, güney-doğu pendentifinin ağır hasar görmesi ve güney cephesi tempan duvarında çok sayıda çatlak bulunması analiz sonuçlarını doğrular niteliktedir. Fatih'in depremin odak noktasına yaklaşık 100 km uzak olması ve buna rağmen İstanbul'un odak noktasına daha yakın yerlerindeki maksimum ivme değerlerinin çok üstünde maksimum ivme değerlerine sahip olması, zemin özelliklerinin etkisine bağlanabilir.
2. Analiz sonuçlarına göre yapının kuzey cephesinin, güney cephesine oranla daha az yatay deplasman yaptığı görülmektedir. Bu da, bu cephenin daha rijit olduğunu, dolayısıyla güney cephesinin daha çok zorlandığını ve hasarın büyük kısmının burada oluştuğunu göstermektedir.
3. Bu şartlar altında yapının onarım ve güçlendirilmesinde izlenecek yol, dinamik özelliklerini değiştirecek nitelikte bir yöntem geliştirmek olabilir. Bunun için yapı ek elemanlarla rijitleştirilip titreşim periyodu küçültülebilir. Ancak bu tür bir güçlendirmeyi yapının orijinal mimarisi bozulmadan yapmak bir hayli zordur. Bu nedenle sismik yalıtım tekniği kullanılarak yapının, rezonans etkisinden iyice uzaklaştırılması uygun bir çözüm olarak görülmektedir.
4. Sismik yalıtımlı model ile Fatih kaydı kullanılarak yapılan analizler, yalıtımın , yapının zemin ve üst kotları arasındaki deplasman farkını ve yapıda oluşacak ivme değerlerini büyük ölçüde azalttığını göstermektedir. Dolayısıyla benzer yer hareketleri etkisinde yapının, elastik sınırlar içinde, rijit bir kütle gibi davranacağı düşünülebilir.

Aynı modelin YPT kaydı ile yapılan analizinde ise alt ve üst kotlar arası deplasman farkı ve yapıda oluşacak ivme değerleri, yalıtımsız yapıya oranla azalmakla beraber, yapıyı olumsuz etkileyebilecek boyutlardadır. Yapının bulunduğu bölgede aktif fay bulunmamaktadır, ancak bu ölü fayların yeniden harekete geçmeyeceği anlamına

gelmez. Kullanılacak sismik yalıtım elemanının yüksek sönümlü olarak tasarlanması bu etkinin azaltılmasını sağlayabilir.

5. Sismik yalıtım sisteminin uygulama aşamasında, yapının temel sisteminde mutlaka iyileştirmeye gidilmelidir. Yalıtım elemanlarının yapının tabanına yapılacak bir rijit diyaframın altına yerleştirilmesinin sistemin verimli çalışması açısından uygun olacağı düşünülmektedir.

Garovicki, M. (1993), "Earthquake Hazard Evaluation in Historical Buildings Using Seismic Isolation", College of Engineering University of California at Berkeley, Report No. UCB/ERC-93/04, California.

Gökse, S. (1998), "Edirnekapı Mimarlık Sahası Çerçesi", İstanbul'daki Tarihi Çarşı Yapılarına Etkin Bilgi Bankası Oluşturulması Arayışına Projesi kapsamında Üzülüş, İstanbul.

Holmes Consulting Group Structural and Civil Engineers, (1995), "Seismic Strengthening by Base Isolation, NZ Parliament Buildings", Wellington, New Zealand.

Kuran, A., (1966), "Mimar Sinan", Hürriyet Vakfı Yayınları İstanbul.

Mokha, A.S., Agha, N., Constantinou, M.C., Zayas, V., (1996), "Seismic Isolation Retrofit of Large Historic Building", Journal of Structural Engineering, May 1996, #295-307, ASCE, ASD.

Nizam, F., Kelly, J. M., (1990), "Design of Seismic Isolated Structures", John Wiley & Sons Inc., New York.

Öz, Y., (1962-1965), "İstanbul Çizimleri", Cilt 1, Ankara.

Özaydin, K., Yılmaz, S., (2000), "Mimarlık Sahası Çarşı Tarihi Zeminine Etkin-Geriaklı Değerlendirme Raporu", TÜ Vakfı, İstanbul.

Seyin, M. K., (1999), "Structural Identification of Edirnekapı Mimarlık Sahası Nöbetçi Through Dynamic Response Studies", Yüksek Lisans Tezi, Bolu'da Üniversitesi Tarihî Araştırma ve Değerlendirme Araştırma Enstitüsü Değerlendirme Bölümü, İstanbul.

Skinner, R. J., Robinson, W. H., McVary, G. H., (1966), "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons Inc., California.

Şişir, A. I., (1997), "A Method For the Evaluation of the Dynamic Safety of Historical Masonry Structures", Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Tarihî Anıtların Korunması ve Değerlendirilmesi Bölümü, Ankara.

Uney, A. I., Fikri, M. H., (1981), "İstanbul Edirnekapı Mimarlık Sahası Çarşı Tarihi Etkinlikleri Anlatıcı ve Değerlendirme Raporu", T. C. Kültür Bakanlığı, Ankara ve Mimarlık Çarşı Müzesi.

Wilson, R., (1995), "SAP90C: Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Reference", University of California at Berkeley, California.

KAYNAKLAR

- Bayülke, N. (1995), "Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir
- Çamlıbel, N., (1998), "Sinan Yapılarının Analitik İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- Çamlıbel, N. (2000), "Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi", Birsen Yayınevi, İstanbul
- Garevski, M., (1995), "Earthquake Hazard Reduction in Historical Buildings Using Seismic Isolation", College of Engineering University of California at Berkeley, Rapor No. UCB/ERC-95/04, Kaliforniya
- Göksu, S., (1998), "Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii", İstanbul'daki Tarihi Cami Yapılarına İlişkin Bilgi Bankası Oluşturulması Araştırma Projesi kapsamında özel çalışma, İstanbul
- Holmes Consulting Group Structural and Civil Engineers, (1995), "Seismic Strengthening by Base Isolation, NZ Parliament Buildings", Wellington, Yeni Zelanda
- Kuran, A., (1986), "Mimar Sinan", Hürriyet Vakfı Yayınları, İstanbul
- Mokha, A.S., Amin, N., Constantinou, M.C., Zayas, V., (1996), "Seismic Isolation Retrofit of Large Historic Building", Journal of Structural Engineering, Mart 1996, s.298-307, ASCE, ABD
- Naeim, F., Kelly, J. M., (1999), "Design of Seismic Isolated Structures", John Wiley & Sons Inc., New York
- Öz, T., (1962-1965), "İstanbul Camileri", Cilt 1, Ankara
- Özaydın, K., Yıldırım, S., (2000), "Mihrimah Sultan Camii Temel Zeminine İlişkin Geoteknik Değerlendirme Raporu", YTÜ Vakfı, İstanbul
- Sayın, M. K., (1999), "Structural Identification of Edirnekapı Mihrimah Sultan Mosque Through Dynamic Response Studies", Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Skinner, R. I., Robinson, W. H., McVerry G. H., (1996), "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons Inc., Chichester
- Ünay, A. İ., (1997), "A Method For the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures", Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara
- Ünay, A. İ., Parlar, M. N., (1998), "İstanbul Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii: Sonlu Elemanlar Analizi ile Depreme Karşı Davranışının İncelenmesi", T. C. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü
- Wilson, E., (1995), SAP2000 Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Reference", University of California at Berkeley, Kaliforniya

Ek 1 Sismik yalıtım tekniği ile güçlendirilmiş tarihi yapı örneği

Yeni Zelanda Parlamento Binası

Yeni Zelanda Parlamento Binası 1922 yılında inşa edilmiştir. Yapı 1 bodrum, zemin ve üç normal kattan oluşan yığma bir yapıdır. Duvarları tuğla ile inşa edilmiş, doğu ve batı cephelerinde, duvarın dış yüzü taş ile yapılmıştır. Döşemeler betonarmedir (Şekil Ek.1.1).

Yapıya yaklaşık 400 m mesafede aktif fay bulunmaktadır. Yeni Zelanda Hükümeti, deprem tehlikesine karşı, yapının güçlendirilmesine karar vermiş ve bu işle ilgili inceleme yapmak ve teklif vermek üzere, mimar ve mühendislerden oluşan sekiz ayrı grup davet edilmiştir. Güçlendirme ile ilgili tasarımlar üç ayrı ilke çerçevesinde yapılmıştır:

1. Maksimum koruma: Yapının orijinal mimarisine en az zarar verecek şekilde tasarım.
2. Minimum koruma : Yapıda, belli yerlerin dıştan görünüşü aynı kalacak şekilde yıkılıp yeniden inşa edilmesi şeklinde tasarım.
3. Orta düzeyde koruma : Maksimum koruma ilkelerine uyarak, sadece çok gerekli yerlerde orijinal mimariye müdahale ederek tasarım.

Tekliflerin değerlendirilmesi sonucunda, orta seviyede koruma öneren Holmes Consulting Group bu iş için görevlendirilmiştir. Yapılan projeye göre, yapı tabanına sismik yalıtım elemanları yerleştirilecek ve gerekli görülen bazı yerlere betonarme perde eklenecektir.

Yalıtım Elemanlarının Tasarımı

Sismik yalıtım elemanlarının yeri, yapının geometrisine ve ağırlığına göre belirlenmiştir. Sismik yalıtımlı yapı bilgisayar ortamında, sonlu elemanlarla analiz yazılımları kullanılarak modellenmiş ve dinamik analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sismik yalıtımın, yapıyı depremde hasar görme tehlikesinden uzaklaştırdığı görülmüştür.

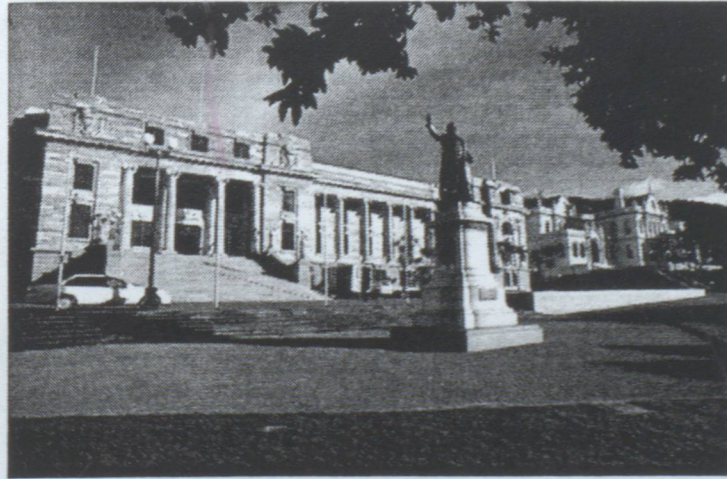
Yalıtım elemanı olarak elastomerik elemanlar kullanılmasına karar verilmiş ve kurşunlu kauçuk, yüksek sönümlü kauçuk ve kurşunlu yüksek sönümlü kauçuk elemanlar karşılaştırılmıştır. Yapının aktif fay hattına çok yakın olması göz önüne alınarak, yüksek sönümlü ve kurşunlu yüksek sönümlü kauçuk elemanlar kullanılmasına karar verilmiştir.

Uygulama Sırasında İzlenen Yol

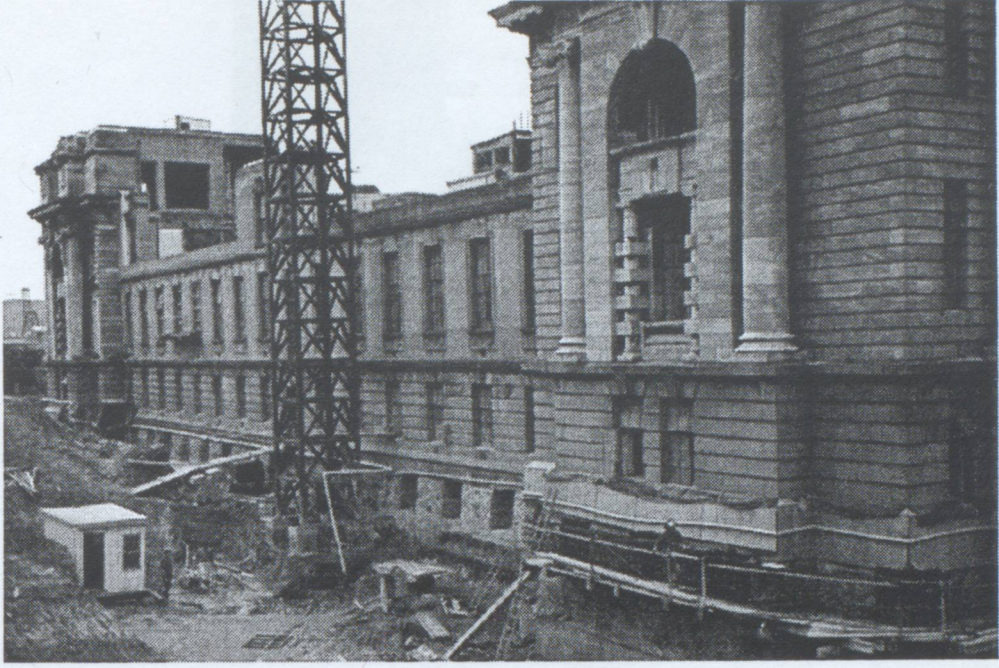
1. Yapının çevresinde hendek açılarak temel seviyesine inilmiş ve temeller betonarme elemanlarla güçlendirilmiştir (Şekil Ek1.2, 1.3).

2. Yalıtım elemanlarının yerleştirileceği yerlerde, döşeme ile birlikte çalışacak betonarme kirişler yapılmıştır (Şekil Ek1.3).
3. Temellerin güçlendirilmesi sırasında yapılan betonarme elemanlar, yalıtım elemanlarının yerleştirileceği noktalarda kesilerek yuvalar oluşturulmuş ve yalıtım elemanları, çeşitli aletlerle sıkıştırılarak, bu yuvalara yerleştirilmiştir (Şekil Ek1.4, 1.5).
4. Yalıtım elemanları seviyesinde seviyesinde, yapı ile temel arasında bulunan elemanlar en az 20 mm'lik bir açıklık kalacak şekilde kesilerek, yapının temellerden ayrılması sağlanmıştır (Şekil Ek1.6, 1.7
5. Mevcut döşemeler ve bunların duvarlara bağlantıları güçlendirilmiştir.
6. Yapının belli yerlerine 200 mm ve 150 mm'lik ek perdeler yapılmıştır.

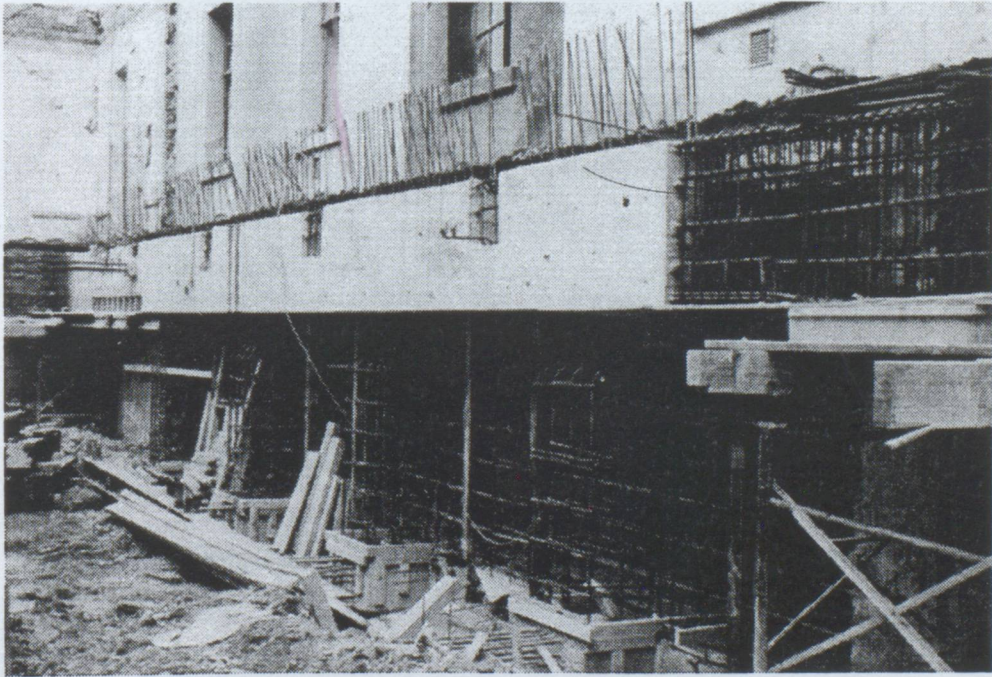
Yapıyı sismik yalıtım tekniği ile güçlendirme maliyetinin, klasik yöntemlerle güçlendirme maliyetinden %3 daha fazla olacağı saptanmıştır.



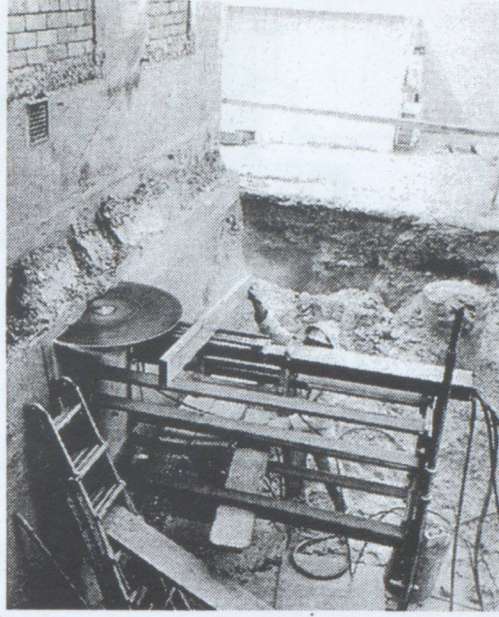
Şekil Ek1.1 Yapının genel görünüşü



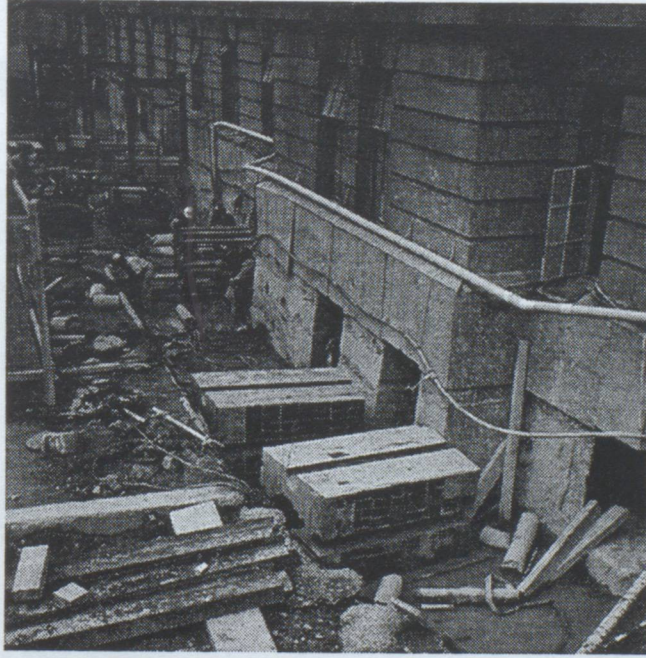
Şekil Ek1.2 Temellerin güçlendirilmesi



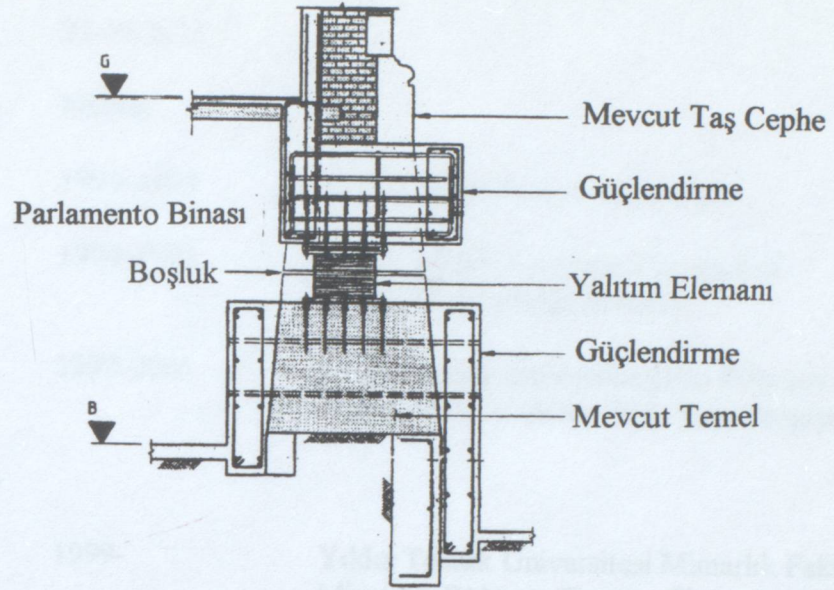
Şekil Ek1.3 Temellerin güçlendirilmesi



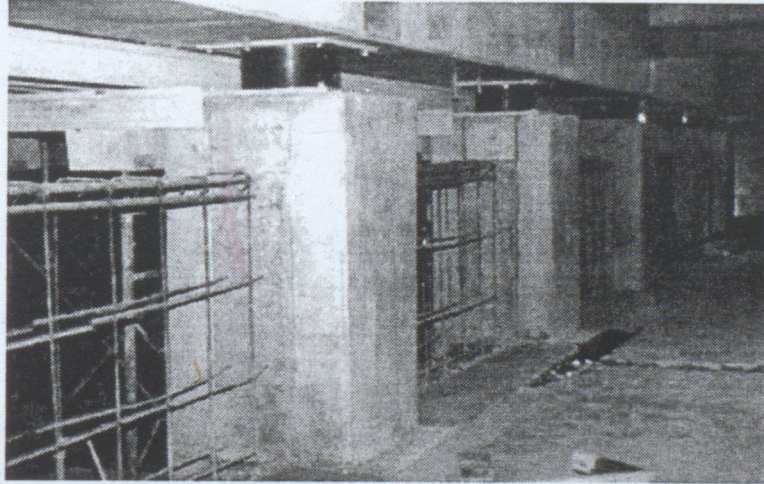
Şekil Ek1.4 Yalıtım elemanlarının yerleştirileceği yuvaların oluşturulması



Şekil Ek1.5 Yalıtım elemanlarının yerleştirileceği yuvaların oluşturulması



Şekil Ek1.6 Yalıtım elemanı yerleştirme detayı



Şekil Ek1.7 Yalıtım elemanlarının yuvalara yerleştirilmiş hali

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 22.09.1976

Doğum yeri Midyat

Lise 1991-1994 İSTEK Özel Semiha Şakir Lisesi

Lisans 1994-1998 Yıldız Tekni Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

1999- Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü, Taşıyıcı Sistemler Bilim Dalı

