

SİSMİK TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI İÇİN TARİHİ ŞEHZADE MEHMET CAMİSİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Asena SOYLUK* ve **M. Emin TUNA****

* Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570 Maltepe, Ankara

** Karabük Üniversitesi, Fethi Toker Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük

asenad@gazi.edu.tr, mtuna@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 06.12.2010; Kabul/Accepted: 02.02.2011)

ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem dayanımını arttırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden bir tanesi sismik taban izolasyonu teknolojisidir. Bu çalışmada tarihi yığma bir cami sisteminin sismik izolasyon teknolojisi uygulanarak güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Mimar Sinan'ın çıraklık eseri olarak nitelenen Şehzade Mehmet Cami dikkate alınarak, cami sisteminin sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Bu yığma sistemin ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli modellerinin dinamik davranışları belirlenerek, birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Dinamik analizler, maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve elde edilen periyot değerleri ile sismik yapı tepkileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sismik taban izolatörü uygulamasının tarihi yığma caminin dinamik davranışını önemli ölçüde iyileştirdiği gözlenmiştir. Ayrıca tarihi yapılarda orijinal dokuyu bozmadan güçlendirme özelliğinin, sismik izolatörlerle sağlanabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi cami, sismik izolasyon, dinamik analiz

DYNAMIC ANALYSIS OF HISTORICAL SEHZADE MEHMET MOSQUE FOR BASE ISOLATION APPLICATION

ABSTRACT

Seismic isolation technology is one of the novel developments in the construction technology to increase the earthquake resistance of structural systems. In this study, it is intended to strenghten a historical masonry mosque system with base isolation technique. As a historical masonry system, Sehzade Mehmet Mosque which is considered as the apprenticeship of Mimar Sinan is considered and modeled with the finite element method. This masonry system is investigated for fixed base and seismically isolated bases with lead rubber bearing and high damping rubber bearing. Dynamic analyses of these systems are performed with the response spectrum method and the resulting structural periods and responses are compared with each other. Results obtained from the study show that seismic base isolation technique applied to the historical masonry system improves the dynamic behavior of the system. It is also concluded that the seismic base isolation technique is a proper method to strengthen historical systems without damaging the original historical texture.

Key Words: Historical mosque, seismic isolation, dynamic analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapı sistemlerinin deprem dayanımını arttırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden bir tanesi, uygulaması mimarlık disiplini tarafından çok da iyi bilinmeyen sismik taban izolatörleridir. Sismik taban izolasyon teknolojisi ile, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak

yerine yapının periyodu uzatılarak yapıya gelen sismik kuvvetlerin azaltılması amaçlanır. Sismik izolasyon esas olarak üst yapı ve temel, tabana yerleştirilen kayıcı ve esnek sistemlerle ayrılmasıdır. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır [1]. Bu bakımdan sismik taban izolasyonu yapının orijinallliğini ve dokusunu

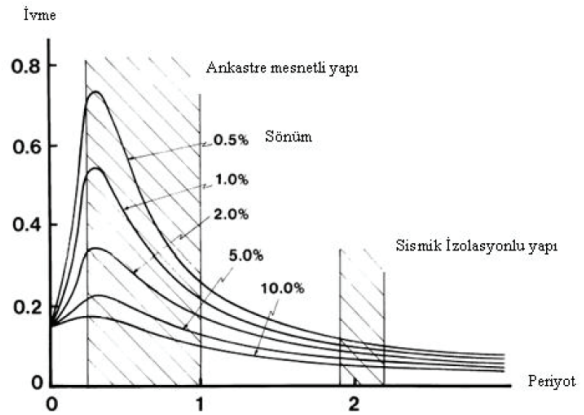
bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması hedeflenmiştir.

Tarihi yığma yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi kapsamında güçlendirilmesiyle ilgili yapılmış oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, tarihi yapıların sismik taban izolatörleri ile güçlendirilmesi konusunda yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Depreme karşı güçlendirme işinin geleneksel tasarımlarında; perdeler, çerçeveler ve destekleyiciler gibi yeni taşıyıcı elemanların sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. Taban yalıtımı ise, böylece güçlendirme işlemlerine duyulan gereksinimi en aza indirmektedir. Bu nedenle taban yalıtımı, görünümü ve özellikleri korunmak zorunda olan, tarihsel ve mimari değerleri bulunan yapılar için uygun bir iyileştirme yaklaşımıdır. Dünyada sismik izolasyon uygulanmış tarihi bina sayısı oldukça azdır. Amerika Birleşik Devletlerinde taban izolasyonu ile ilk güçlendirme örnekleri 20.yy'ın başlarında inşa edilmiş yapılarda kullanılmıştır. Los Angeles City Hall, Oakland City Hall, San Francisco City Hall ve Salt Lake City Hall bu uygulamanın yapıldığı birkaç örnektir. Yeni Zelanda'da taban izolasyonu ile güçlendirmenin en önemli örneği Parliament Buildings binasıdır. Bunun yanında, Bailey ve Allen [2] tarafından yapılan çalışmada Amerika'da bulunan Salt Lake City and County binasının taban izolasyonu ile güçlendirilmesi çalışmaları değerlendirilmiştir. Tarihi önemi ve eşsiz mimarisi bakımından anıtsal bir değere sahip binanın güçlendirilmesi için çeşitli metotlar üzerinde tartışılmış ve sonuçta binanın taban izolasyonu ile güçlendirilmesine karar verilmiştir. Luca ve diğ. [3], Lizbon'da bulunan Sao Vicente de Fora manastırının ön cephesini bire bir ölçekle laboratuvar koşullarında oluşturmuş ve sistemi taban izolasyonu ile güçlendirilmişlerdir. Taban izolasyonu ve sabit mesnetli iki sistemin dinamik davranışının görülmesi açısından sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları taban izolasyonu sisteminin sabit mesnetli sisteme göre 2.8-24 katı kadar daha az yerdeğiştirme yaptığını, ayrıca yapıya gelen kuvvetlerin taban izolasyonu sisteminde 1.5-15 kat kadar küçüldüğünü göstermiştir. Gavrilovic ve diğ. [4], çalışmalarında Makedonya'daki Bizans kiliselerinin onarım ve güçlendirilme yöntemlerini laboratuvar ortamında değerlendirmek üzere bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, taş ve tuğla malzemeli, tek kubbeli ve kare planlı St Nikita kilisesinin laboratuvar ortamında 1:2,75 ölçekli bir modeli oluşturulmuş ve sarsma tablası ile test edilmiştir. Çalışma sonucunda taban izolasyonu uygulamasının tarihi öneme sahip yapılarda uzun süreli, etkili ve ekonomik bir çözüm olduğu belirtilmiştir. Antonucci ve Medeot [5], İtalya'da yeni yapılarda ve tarihi yapılarda kullanılan pasif kontrol sistemleri hakkında bilgi vermişlerdir. Bunun yanında izolasyonu sistemler için hazırlanan standardın gelişimi üzerinde durulmuştur. Lee ve diğ. [6], sismik

yönden tehlike arz eden bölgelerde tarihi eserlerin ve önemli ekipmanların tabanlarına uygulanacak bir sismik yalıtım sistemi ile korunmasını içeren bir çalışma yapmışlardır. Yuvarlanmalı tipteki bir taban yalıtımı ile sarsma tablasında yapılan deneyler sonucunda, depremde oluşan ivmelerin %80'den fazla azaltılabileceğini ve önemli ekipmanların korunabileceğini göstermişlerdir.

2. SİSMİK TABAN İZOLASYONU (SEISMIC BASE ISOLATION)

Taban izolasyon sistemlerinin çalışma prensibi; üst yapı ile temel arasında yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst-yapı arasında olmasını sağlamak ve Şekil 1'de görüldüğü gibi yapıya ankastre mesnetli durumundaki periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyod vermektir. Rijit bir sistemde periyot artışı etkiyen ivmelerin azalmasına neden olmaktadır [7].



Şekil 1. Taban izolasyonu yapı ile ankastre mesnetli yapıya ait ivme-periyot değişimi (Acceleration-period variation of base isolated and fixed base structures)

Sismik taban izolasyonu sisteminde yapının yer hareketini büyütme oranı 0,9-1,0 civarında olmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini 3,0-6,0 kat büyütülebilmektedir [7]. Sismik izolasyon teknolojisinin doğru uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında elastik yakın davranmasını sağlar, yapıya gelen kuvvetler azalır, kat ivmeleri küçülür, katlar arası bağıl deplasmanlar küçülür. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilir [8]. Bu tür avantajları nedeniyle taban yalıtımı uygulamaları, tarihi değer taşıyan yapıların deprem hasarlarından korunması konusunda alternatif bir yöntem olarak düşünülebilir. 1964 yılında kabul edilen Venedik Tüzüğü Madde 2'de "Anıtların korunması ve onarımı için, mimari mirasın incelenmesine ve korunmasına yardımcı olabilecek bütün bilim ve tekniklerden yararlanılmalıdır." denilmektedir. Bu bakımdan tarihi

yapıların iyileştirilmesinde yeni kullanılmaya başlanan taban izolatörlerinden yararlanılabilir.

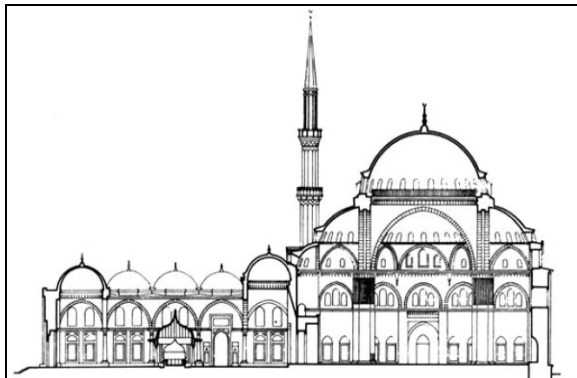
3. NÜMERİK UYGULAMA (NUMERICAL APPLICATION)

Bu çalışmada değeri ölçülemeyen anıt yapılarda deprem güvenliği açısından sismik taban izolasyon metodunun uygulanmasını değerlendirmek amacıyla, örnek sistem olarak Mimar Sinan'ın çıraklık eseri olarak nitelendirdiği Şehzade Mehmet Camisi (Şekil 2) seçilmiştir [9].

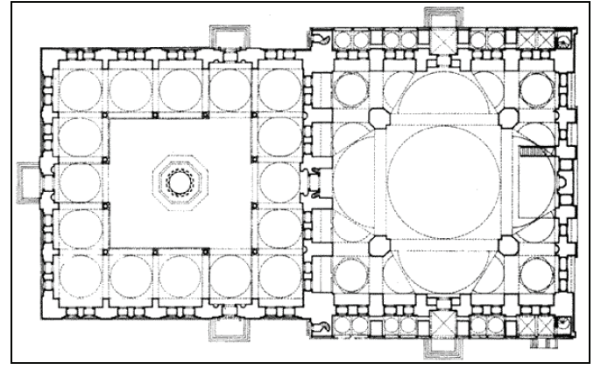


Şekil 2. Şehzade Mehmet Camisinin genel görünüm [9] (General view of Şehzade Mehmet Mosque)

Şehzade Mehmet Camisinde merkezi kubbe, dört serbest fil ayağı üzerine atılan kemerlere pandantiflerle oturmaktadır. Merkezi kubbeye dört yönde katılan yarım kubbeler ve her iki yanlarında yer alan eksedralarla orta hacim ana eksenler üzerinde dört yöne doğru genişletilmiştir. Merkezi kubbeyi taşıyan serbest fil ayakları, dışarıda kubbe kasnağına kadar daire planlı ağırlık kuleleri biçiminde yükselerek dilimli birer kubbe ile örtülürler. Şehzade Mehmet Camii 38x38 m kare planlıdır.



Şekil 3. Şehzade Mehmet Camisine ait kesit [12] (Profile view of Şehzade Mehmet Mosque)



Şekil 4. Şehzade Mehmet Cami planı [12] (Plan view of Şehzade Mehmet Mosque)

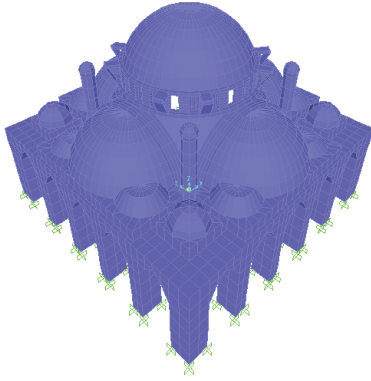
19 metrelik kubbe çapı ve 37 metrelik kubbe kilidi yüksekliği ile, Şehzade Mehmet Camisi tasarımı, Sinan'ın iç ve dış biçimlenişinde kubbeli yapının merkezi planlı ideal şemasını gerçekleştirerek ulaştığı ilk aşamadır [9-11]. Şehzade Mehmet Camisinde kullanılan yapı malzemesi; taş, tuğla ve harçtır. Ayaklar, kemerler, iç kemerler, fil ayaklar ve duvarlar taş bloklardan inşa edilmiştir. Şehzade Mehmet Camisine ait kesit ve plan çizimleri Şekil 3-4'de verilmektedir.

3.1. Caminin Sonlu Eleman Modeli (Finite Element Model of the Mosque)

Şehzade Mehmet Camisinin sonlu eleman metodu ile analizi SAP2000 [13] bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Şehzade Mehmet Camisinin sonlu elemanlar modeli 7468 düğüm noktası, 2976 kabuk ve 2352 katı elemandan oluşturulmuştur. Caminin sonlu eleman modelinde taşıyıcı elemanlar, dört fil ayağı, dört ana kemer, ikincil ayaklar, ikincil kemerler, ana kubbe, dört yarım kubbe ve eksedralarından (yarım kubbelerin her iki yanında) oluşmaktadır. Malzeme özellikleri Ayasofya ve Süleymaniye'de yapılan çalışmalara bakılarak elde edilmiştir. Tablo 1'de sonlu elemanlar modelinde kullanılan elemanlar ve malzeme özellikleri belirtilmiştir. Şehzade Mehmet Camisinin sonlu eleman modeli Şekil 5'de verilmektedir.

Tablo 1. Eleman malzeme özellikleri [14-15] (Material properties)

	Eleman cinsi	E (KN/m ²)	γ (KN/m ³)	Poisson Oranı (ν)	Kalınlık (m)
Kemerler	Katı (Solid)	850E+4	21,9	0,20	
Ayaklar	Katı (Solid)	850E+4	21,9	0,18	
Ana Kubbe	Kabuk (shell)	300E+4	20,0	0,18	0,5
Pendantifler	Kabuk (shell)	300E+4	20,0	0,20	0,7
Yarım Kubbeler	Kabuk (shell)	300E+4	20,0	0,18	0,7



Şekil 5. Şehzade Mehmet Camisinin 3 boyutlu sonlu eleman modeli (3D finite element model of Şehzade Mehmet Mosque)

Yapı sistemlerinin statik ve dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesi ve yapı elemanlarındaki gerilme durumunun elde edilmesinde en çok tercih edilen yöntem sonlu elemanlar yöntemidir.

3.2. Sismik Taban İzolasyonu Uygulaması (Seismic Base Isolation Application)

Şehzade Mehmet Camisinin sismik performansının artırılması amacıyla sismik taban izolatörü olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnet uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada taban izolatörleri tasarımında kullanılan UBC-97 [16] parametreleri aşağıda belirtildiği gibidir [17].

Sismik bölge faktörü	: Bölge 4; Z=0,40
Bölge zemin cinsi	: S _D kabul edildi
Sismik fay tipi	: A tipi (M _≥ 7)
	kayma oranı SR _≥ 5mm/yıl
Kaynak yakınlık faktörü	: Δ>15 km, N _A =1, N _V =1
DBE sallama yoğunluğu	: ZN _V =0,40(1)=0,40
MCE Tepki katsayıları	: M _M =1,25
Sismik katsayılar	: C _V =0,64; C _{VD} =0,64(1)=0,64
	C _A =0,44; C _{AD} =0,44(1)=0,44
	C _{AM} =1,1α α=M _M ZN _A
	C _{VM} =1,6α α=M _M ZN _V
Sönüm azaltma faktörü	: B=1,20
Taşıyıcı Sistem Azaltma Katsayısı	: R=0,8 yığma bina

Hedeflenen periyot 2,5 s olup, hesaplanan mesnet özellikleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetlerin Özellikleri (Properties of high damping rubber bearings)

İzolatör Tipi	Efektif Lineer Rijitlik (kN/m)	Başlangıç Rijitliği (kN/m)	Akma Kuvveti (kN)	α	Düşey Rijitlik (kN/m)	Mesnet Çapı (m)	Mesnet Yüksekliği (m)
Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet	398	2823,04	73,41	0,046	189290	0,35	0,356
	795	5642,27	146,71	0,046	378590	0,50	0,338
	1193	8461,5	220,01	0,046	570250	0,55	0,336
	1590	11280,73	293,31	0,046	759540	0,65	0,330
	2067	14665,34	381,31	0,046	991436	0,75	0,326

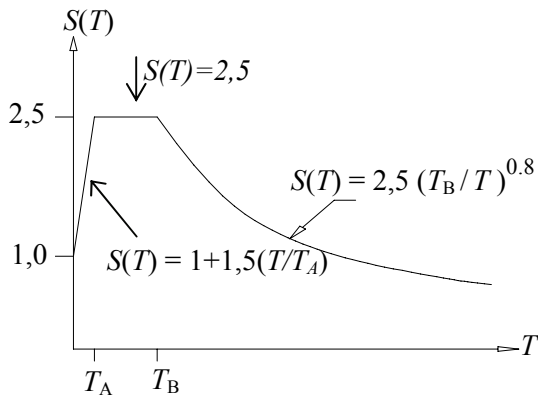
Tablo 3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetlerin Özellikleri (Properties of lead rubber bearings)

İzolatör Tipi		Sayısı	Efektif Lineer Rijitlik (KN/m)	Başlangıç Rijitliği (KN/m)	Akma Kuvveti (KN)	α	Düşey Rijitlik (KN/m)	Mesnet Çapı (m)	Kauçuk kalınlığı (m)	Kurşun Çekirdek Alanı (m ²)
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK1	500KN 8 adet	322	2430	31	0,1	150720	0,400	0,354	0,0028
Kurşun Kauçuk Mesnet	KK2	1000KN 41adet	644	4870	55	0,1	294450	0,500	0,280	0,0050
Doğal Kauçuk Mesnet	K1	1500KN 40adet	966	7310	86	0,1	453409	0,550	0,220	0,0078
Doğal Kauçuk Mesnet	K2	2000KN 36 adet	1288	9730	104,7	0,1	593670	0,600	0,200	0,0095
Kurşun kauçuk mesnet	KK3	2600KN 3 adet	1674	12660	134,6	0,1	791560	0,600	0,150	0,0122

3.3. Şehzade Mehmet Camisinin Dinamik Analizi (Dynamic Analysis of Şehzade Mehmet Mosque)

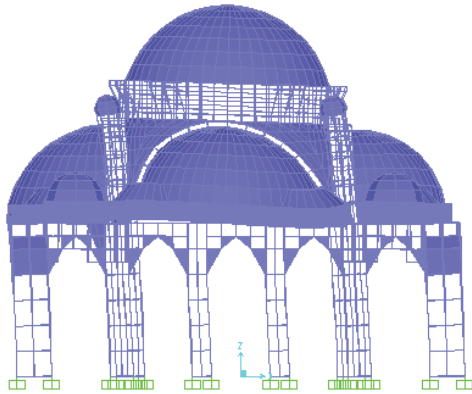
Gelecekte İstanbul'u etkileyecek depremler şehrin yaklaşık 20 km güneyinden geçen ve Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın bir bölümünü oluşturan Marmara Denizindeki graben sisteminden kaynaklanmaktadır. Aletsel büyüklüğü $M_s=7.0$ olan bu depremin ortalama her yüz yılda bir meydana gelme ihtimali bulunmaktadır [18].

Bu çalışmada maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum Yöntemiyle (Mod Birleştirme), Şehzade Mehmet Camisi analiz edilmiştir. Elastik tasarım ivme spektrumu 2007 Deprem Yönetmeliğine [19] göre belirlenmiştir (Şekil 6). Hesaplar 1. derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı için yapılmıştır.

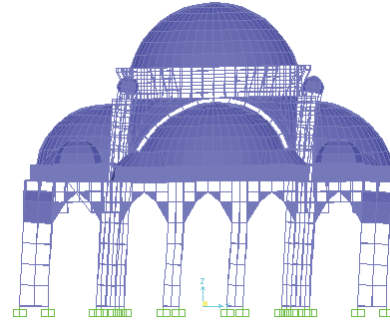


Şekil 6. Spektrum Katsayısı (Spectrum Coefficient)

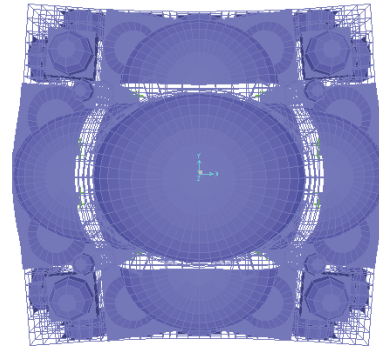
Davranış spektrum Yöntemi ile analizde 30 mod kullanılmış olup, mod katkılarının birleştirilmesi amacıyla tam karesel birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır. 30 modun dikkate alındığı Cami modeline ait ilk 5 mod Şekil 7-11'de verilmektedir. İlk iki mod x ve y yönlerinde yatay ötelenmeye karşılık gelirken, 3. mod sıkışma, 4. mod burulma ve 5. mod açılma şeklinde ortaya çıkmıştır.



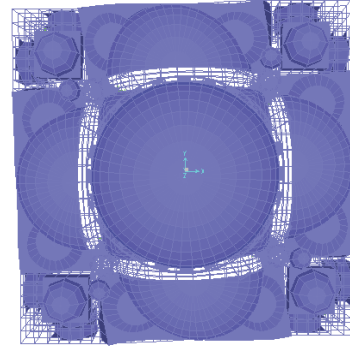
Şekil 7. Mod 1 (T=0,493s, x ötelenmesi) (Mode 1, T=0,493s, x translation)



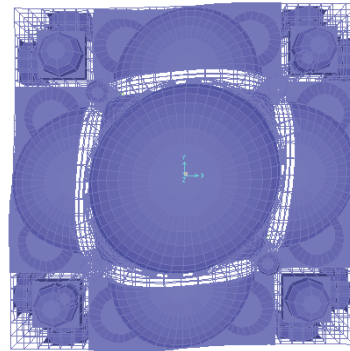
Şekil 8. Mod 2 (T=0,465s, y ötelenmesi) (Mode 2, T=0,465s, y translation)



Şekil 9. Mod 3 (T=0,44s, sıkışma) (Mode 3, T=0,44s, squeeze)



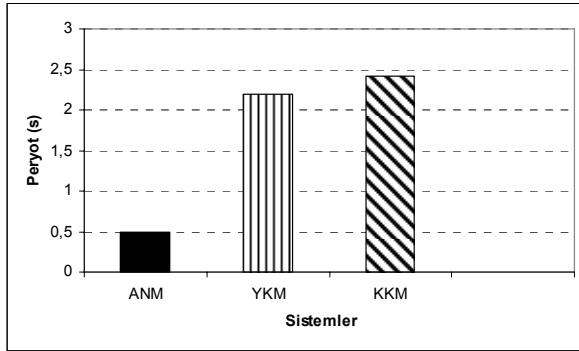
Şekil 10. Mod 4 (T=0,38s, burulma) (Mode 4, T=0,38s, torsion)



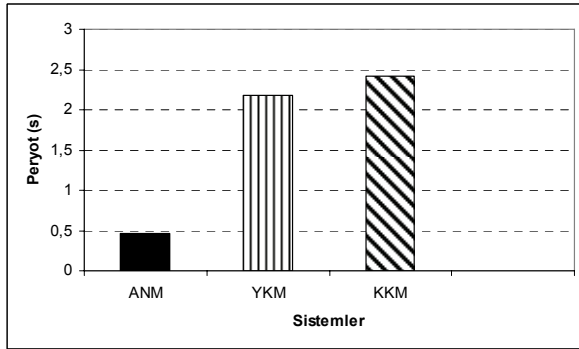
Şekil 11. Mod 5 (T=0,314s, açılma) (Mode 5, T=0,314s, opening)

İlk beş mod için izolatörlü sistemlerle ankastre mesnetli sistemin periyot değerlerinin karşılaştırması

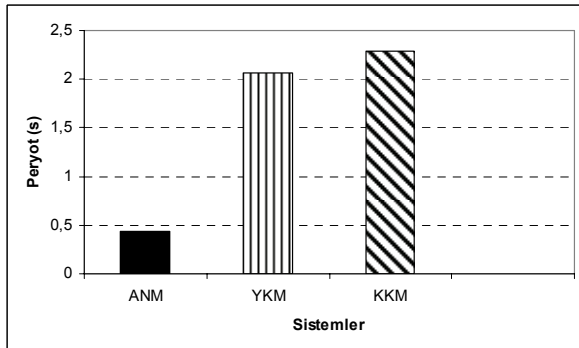
Şekil 12-16'da yapılmıştır. Modal analiz sonucunda caminin oldukça rijit bir davranış gösterdiği gözlenmiştir. Ankastr mesnetli caminin ilk mod değeri 0,493 s'dir. İzolatörlü sistemlere ait hedeflenen periyot değeri ise 2,5 s olarak seçilmiştir. Şekil 12'den de görüleceği üzere ilk moda ait periyot değerleri yaklaşık olarak 2,5 s civarındadır. Yine 2. ve 3. modlar için de sismik izolatörler kullanılmak suretiyle, periyot değerlerinde ankastr sisteme oranla önemli artışlar elde edilmiştir. Şekillerde ankastr tabanlı model, ANM, yüksek sönümlü kauçuk mesnetli model, YKM ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli model, KKM kısaltması ile gösterilmiştir.



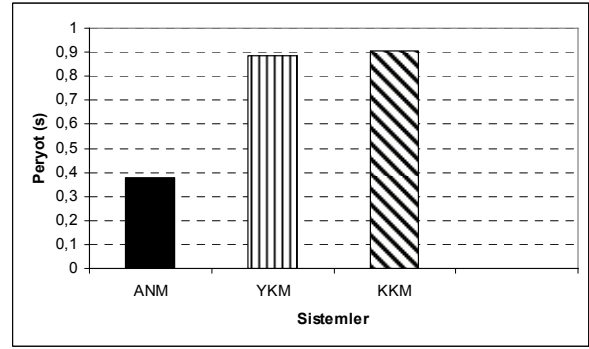
Şekil 12. Mod 1 (Mode 1)



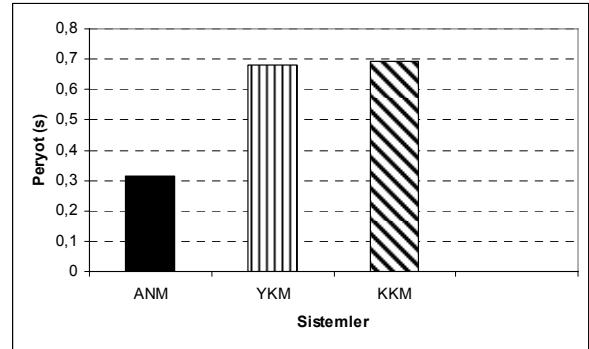
Şekil 13. Mod 2 (Mode 2)



Şekil 14. Mod 3 (Mode 3)



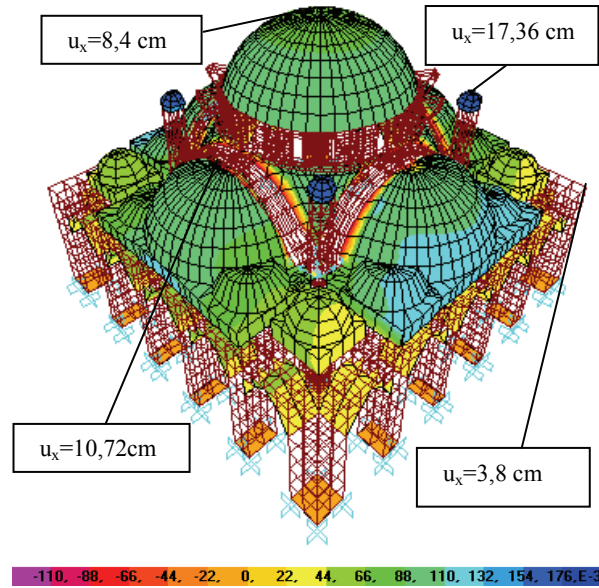
Şekil 15. Mod 4 (Mode 4)



Şekil 16. Mod 5 (Mode 5)

3.4. Şehzade Mehmet Camisinin Tepki Değerlerinin Karşılaştırılması (Comparison of Dynamic Responses of Şehzade Mehmet Mosque)

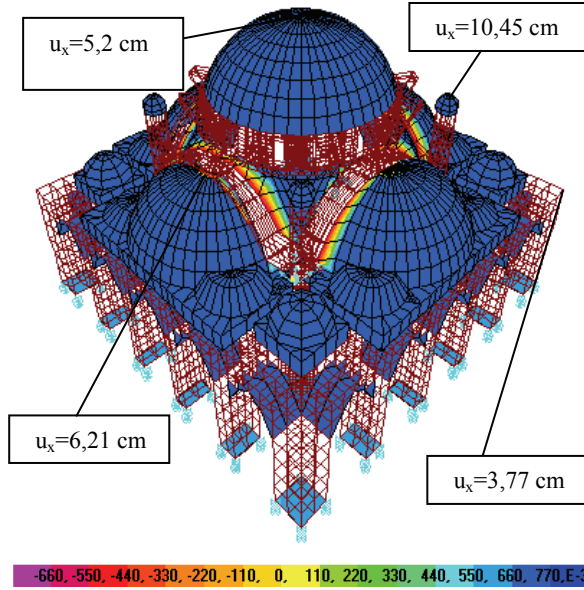
Deprem hareketinin x yönünde tanımlandığı ankastr mesnetli cami sisteminin deformasyon şekli Şekil 17'de verilmektedir.



Şekil 17. Bağlı yerdeğiştirme değerleri (Ankastr Mesnetli Sistem) (Relative displacements for fixed base system)

Yerdeğiştirmelerin eş yükselti eğrileri ile de tanımlandığı şekilde, ana kubbe tepe noktası

yerdeğiştirmesi 8,4 cm, kemer tepe noktası yerdeğiştirmesi 10,72 cm, kule tepe noktası yerdeğiştirmesi 17,36 cm ve kenar ayak üst noktası yerdeğiştirmesi 3,8 cm olarak hesaplanmıştır.

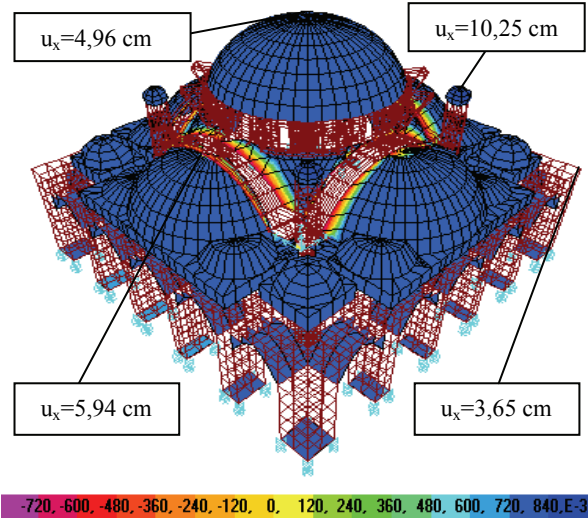


Şekil 18. Bağıl yerdeğiştirme değerleri (Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetli Sistem) (Relative displacements for high damping rubber bearing system)

Sismik izolatör olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistem kullanılması durumunda elde edilen yerdeğiştirme eş yükselti eğrileri Şekil 18'de verilmektedir. Bu durumda ana kubbe tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 5,2 cm, kemer tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 6,21 cm, kule tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 10,45 cm ve kenar ayak üst noktası bağıl yerdeğiştirmesi 3,77 cm olarak hesaplanmıştır.

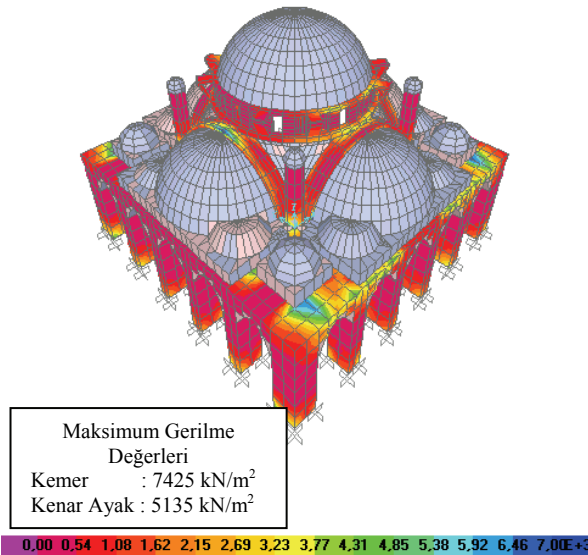
Sismik izolatör olarak kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanılması durumunda ana kubbe tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 4,96 cm, kemer tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 5,94 cm, kule tepe noktası bağıl yerdeğiştirmesi 10,25 cm ve kenar ayak üst noktası bağıl yerdeğiştirmesi 3,65 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 19).

Dikkat edilecek olursa kenar ayak dışında ankastre mesnetli sistem için hesaplanan diğer noktadaki yerdeğiştirmeler, sismik izolatör kullanılması durumunda ortalama olarak %38-45 azalmıştır. Bunun yanında yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki yerdeğiştirmeler, kurşun kauçuk mesnetli izolatör kullanılması durumundaki yerdeğiştirmelerden %2-5 daha fazla olmaktadır.

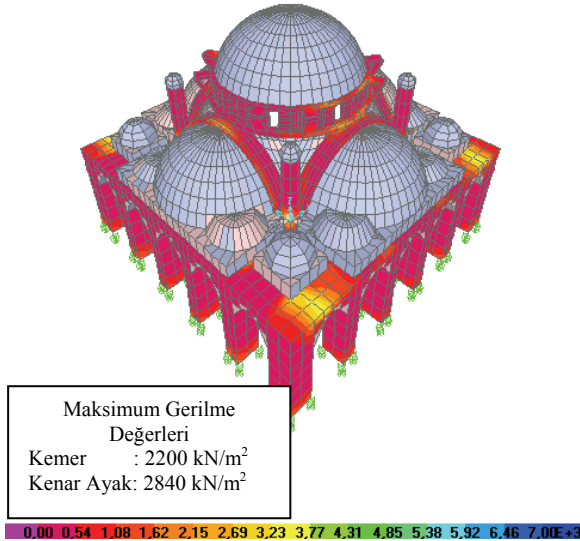


Şekil 19. Bağıl yerdeğiştirme değerleri (Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistem) (Relative displacements for lead rubber bearing system)

Ayrıca, cami sisteminin ankastre ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli olarak modellenmesi ile katı (solid) elemanlarda elde edilen S_{11} gerilmeleri Şekil 20-21'de eş yükselti çizgileri ile verilmektedir. Şekillerde de gösterilen kenar ayaktaki maksimum gerilme değerleri sismik izolatör kullanılması durumunda ankastre sisteme oranla ortalama olarak %45 azalırken, kemerdeki maksimum gerilme değerleri %70 oranında azalmaktadır.



Şekil 20. Ankastre sistemde katı elemanlardaki S_{11} gerilmelerine ait eş yükselti çizgileri (Contour lines of S_{11} stresses for the fixed base model)



Şekil 21. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistemde katı elemanlardaki S_{11} gerilmelerine ait eş yükselti çizgileri (Contour lines of S_{11} stresses for the system with high damping rubber bearing)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sismik izolasyon tekniğinin tarihi bir camide uygulanması ile, sistemin deprem performansının ne oranda iyileştiği üzerinde durulmuştur. Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmede ana ilke, yapılacak müdahalenin minimum düzeyde tutulmasıdır. Bu bakımdan sismik taban izolasyonu yapının orijinalliğini ve dokusunu bozmaması açısından alternatif bir metottur ve bu çalışmada anıt yapılarda deprem güvenliği açısından belirtilen metodun uygulanması değerlendirilmiştir. Şehzade Mehmet Camiinin ankastre mesnetli ve sismik taban izolatörü kullanılmak suretiyle gerçekleştirilen dinamik çözümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Temel periyodu (1. mod) 0,493 s olan Şehzade Mehmet Camisinin periyodu, sismik izolatörler kullanılmak suretiyle yaklaşık olarak 2,5 s hedefine yükseltilmiştir.

Taban izolasyonu sayesinde yapıya gelen deprem kuvvetleri beklenildiği gibi azalmış ve katlar arası bağıl deplasmanlar küçülmüştür. Temel izolasyonu ile Şehzade Mehmet Camisine ait yerdeğistirmelerde %45'e varan ve kabuk ve katı elemanlardaki gerilme değerlerinde %60-70'e varan azalmalar ortaya çıkmıştır. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilecektir.

Çalışmada sismik izolasyon amacıyla dikkate alınan kurşun çekirdekli kauçuk ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli sistemler yaklaşık olarak aynı dinamik davranışı sergilemiştir. İki sistem arasında sadece %2-

5 oranında farklılıklar ortaya çıkması, izolatör seçiminde maliyetin ön planda tutulmasını gerektirmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sesigür, H., Çelik, C. ve Çılı, F., "Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım Ve Güçlendirme", **Yapı**, Cilt 303, 1-12, 2007.
2. Bailey, J. and Allen, E., "Seismic Isolation Retrofitting: Salt Lake City and County Building", **APT Bulletin**, Cilt 20, No 2, 32-44, 1988.
3. Luca, A., Mele, E., and Molina, J., "Base Isolation for Retrofitting Historic Buildings; Evolution of Seismic Performance Through Experimental Investigation", **Earthquake Engng and Struct Dyn**, Cilt 30, 1125-1145, 2001.
4. Gavrilovic, P., Kelley, S.J. and Sendova, V., "A Study of Seismic Protection Techniques for the Byzantine Churches in Macedonia", **APT Bulletin**, Cilt 34, No 2, 63-69, 2003.
5. Antonucci, R., and Medeot, R., "Seismic Protection of Buildings Through Energy Dissipation and the Base Isolation System: The Italian Experience", **Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul, Paper No. AE-055, 26-30 Mayıs 2003.
6. Lee, S.N., Chang, K.C. and Hwang, J.S., "Application of Rolling Type Bearings for Equipment Isolation", **National Center for Research on Earthquake Engineering, 2004 ANCER Annual Meeting**, Honolulu, 94-98, 28-30 Temmuz 2004.
7. Robinson, W.H., "Seismic Isolation of Civil Buildings in New Zealand", **Progress in Structural Engineering and Materials**, Cilt 2, 328-324, 2000.
8. Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A. and Chung, R.M., "Passive Energy Dissipation Devices for Seismic Applications", **NISTIR 5923**, Gaithersburg, 11-45, 1996.
9. Akşit, İ., **İstanbul**, Ali Rıza Baksan Güzel Sanatlar Matbaası A.Ş., İstanbul, 1981.
10. Sönmezer, Ş., **İstanbul'daki Sinan Camilerinde Mekan İle Serbest Düşey Taşıyıcılar Arasındaki Boyut İlişkisi**, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
11. Kuban, D., **Sinan'ın Sanatı ve Selimiye**, Tarih Vakfı, Yurt Yayınları, İkinci Baskı, İstanbul, 1998.
12. Kuran, A., **The Grand Old Master of Ottoman Architecture**, Ada Pres Publishers, İstanbul, 1987.
13. SAP2000, **Integrated Structural Analysis and Design Software**, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 2005.
14. Artar, M., **Structural Identification of the Şehzade Mehmet Mosque Through Static and**

- Dynamic Analyses**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2006.
15. Kaya, S.M., Aydınoglu, M.N., Erdik, M. ve Yüzügüllü, Ö., “Determination of Dynamic Characteristics of Suleymaniye Mosque by Analytical and Experimental Methods”, **Compatible Materials for the Protection of European Cultural Heritage Pact 56**, İstanbul, 56-68, 1998.
 16. International Conference of Building Officials, Earthquake Regulations for Seismic Isolated Structures, **Uniform Building Code**, Chapter 23, Whittier, CA, 1997.
 17. Naeim, F. and Kelly, J.M., **Design of Seismic Isolated Structures**, John Wiley and Sons, New York, 1999.
 18. Tezcan, S.S., **Probability Analysis of Earthquake Magnitudes**, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TR 96-001, İstanbul, 1996.
 19. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 2007.

