mühendislikdergisi
Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Cilt: 7, Sayı: 3,455-470
Eylül 2016

Gaziantep Kurtuluş camisinin deprem davranışının incelenmesi

Hamza GÜLLÜ[*,1], **Murat KARABEKMEZ**[1],

[1] *Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep*

Makale Gönderme Tarihi: 12.05.2016 Makale Kabul Tarihi: 30.05.2016

Öz

Kültürel mirasımızın önemli parçasını oluşturan tarihi yapılar, potansiyel bir deprem tehlikesine sahip olan ülkemizde sürekli deprem etkisine maruz kalmakta ve depremler sebebiyle hasarlara uğramaktadırlar. Bu yüzden, tarihi yapıların deprem altındaki davranışlarının incelenerek, geleceğe güvenli bir şekilde aktarılması oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 125 yıllık tarihi yığma bir yapı olan Gaziantep Kurtuluş camisinin depreme karşı davranışı incelenmiş ve muhtemel hasar potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, katı elemanlar kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapının üç boyutlu sayısal modeli oluşturulmuştur. Deprem etkisi, zaman-tanım (time-history) alanında tanıtılan özel olarak seçilmiş 10 adet senaryo deprem kayıtları kullanılarak incelenmiştir. Yapıdaki davranışlar deprem hareketinin nonlineer etkisine göre hesaplanmıştır. Dinamik etkiler, alternatif olarak önerilen hızlı nonlineer analiz (FNA) yöntemi ile belirlenmiştir. Deprem hareketi X ve Y olmak üzere iki ayrı yönde uygulanmıştır. Analizler sonucunda deprem etkisi altında camide oluşan yer değiştirme, ivme, gerilme (çekme ve basınç), taban kesme kuvveti, doğal titreşim periyodu ve titreşim modları hesaplanmıştır. Analiz bulguları, camide bazı bölgelerde yer değiştirme ve çekme gerilmelerinin müsaade edilebilir sınır değerleri aştığını göstermiş olup hasar riski oluşturmuştur. Ayrıca, caminin hesaplanan doğal titreşim periyodunun (0.5s), depremin hakim periyoduna (0.35s) yakın seyrettiği belirlenmiştir. Bu durum deprem etkisi altında camide rezonans meydana gelebileceğine işaret etmiştir. Elde edilen bulguların camide yapılacak restorasyon çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Tarihi yığma yapılı cami; deprem; sonlu elemanlar; doğal titreşim periyodu; hasar;*

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: Hamza GÜLLÜ. hgullu@*gantep.edu.tr*; Tel: (342) 317 24 33

Giriş

Anadolu coğrafyası geçmişten günümüze kadar birçok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Özellikle Mezopotamya bölgesini buna önemli bir örnek olarak gösterebiliriz. Bu bölgenin jeopolitik konumundan dolayı ipek ve baharat yollarına sahip olması önemini daha çok arttırmıştır. Bundan dolayı, bölgede kervansaraylar, hanlar, hamamlar, camiler, kiliseler gibi oldukça eski tarihi yapılar bulunmaktadır. Bölgedeki tarihi yapılar özellikle deprem başta olmak üzere birçok dış etkene maruz kalıp, belirli oranlarda hasara uğrayarak ve/veya hasarlı-hasarsız günümüze kadar ulaşmıştır. Kültürel açıdan, geçmiş tarihimizi daha iyi öğrenmenin yanı sıra, mühendislik açıdan da deprem etkilerine karşı gösterdikleri direnç ve hasar potansiyellerini daha iyi irdelemek için, tarihi yapıların mühendislik yönlerinin araştırılarak korunması, yaşatılması ve gelecek nesillere aktarılması oldukça önemlidir (Çarhoğlu vd., 2014). Bu kapsamda günümüzde bilgisayar destekli olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi tarihi yapıların statik ve dinamik yükler altındaki tepkilerinin belirlenmesinde oldukça fayda sağlamaktadır (Çarhoğlu vd., 2014; Şeker vd., 2015). Bu amaç doğrultusunda, bu araştırmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tarihi Gaziantep Kurtuluş camisinin deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

Ülkemizdeki tarihi yapıların sonlu elemanlar kullanılarak deprem etkisindeki davranışlarının incelenmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamdaki bazı araştırmalar: Tokat Yağıbasan Medresesi (Korkmaz vd., 2013a), Van Akdamar Kilisesi (Korkmaz vd., 2013b), Tokat-Niksar Kulak Kümbeti (Çavuş, 2013), Malatya Ulu Cami (Erkek vd., 2013), Rize Kurşunlu Cami (Korkmaz vd., 2014), Kars Kümbet Cami (Çarhoğlu vd., 2014) ve Erzurum Lala Paşa Cami (Şeker vd., 2015) olarak sıralanabilir. Bu çalışmalarda, deprem hareketine maruz kalan tarihi yapılarda oluşabilecek yer değiştirme, gerilme, taban kesme kuvveti ve doğal titreşim periyotları gibi davranış tepkileri, lineer (doğrusal) ve/veya nonlineer (doğrusal olmayan) yapı davranışları kabul edilerek sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve tarihi yapıların oluşabilecek bir senaryo depremine karşı güvenli olup olmadıkları tartışılmıştır. Ancak, ülkemizde tarihi eserler hakkındaki çalışmalar hala sınırlı olup, daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, lineer davranış modeli ile yapılan çözümlerinin genel olarak tartışmalı olduğu, nonlineer davranış modellerinin ise gerçekçi olmakla beraber oldukça çaba gerektirdiği (Can vd., 2012) anlaşılmaktadır. Bu yüzden, tarihi yapıların deprem davranışlarının irdelenmesinde, alternatif yöntemlerin kullanılması yapısal çözümlere oldukça katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada, tarihi Gaziantep Kurtuluş camisinin depreme karşı davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yapısal davranış, zaman-tanım alanında hesaba katılan deprem hareketinin literatürdekilere alternatif olarak hızlı-nonlineer (fast-nonlinear) analiz (FNA) yöntemi kullanılması ile belirlenmiştir.

Gaziantep Kurtuluş Camisi

Gaziantep Kurtuluş Camisi (eski adı Meryem Ana Kilisesi) (Şekil 1), 1892 yılında kilise olarak inşa edilen 125 yıllık yığma bir taş yapıdır. Gaziantep'in Tepebaşı semtinde bulunan cami, kiliseden sonra 1980'e kadar cezaevi olarak kullanılmış, 1980'den sonra ise camiye dönüştürülmüştür. Bu kapsamda, çan kulesinin yarısı yıkılarak tek balkonlu minareye çevrilmiş, 1985 yılında ise bir minare daha eklenmiştir (Gaziantep VGM, 2016). Camide mevcut olan iki minareden, uzun olanın yerden yüksekliği 40m, kısa olanın ise 38m'dir.

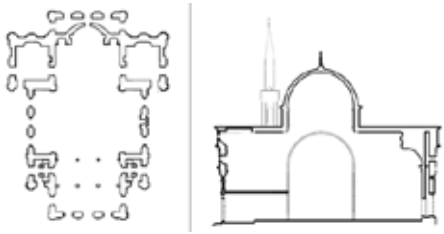
Cami, 32mX42m'lik alanda yaklaşık dikdörtgen bir plana sahip, genel olarak kemer duvarlar, kubbe ve minareden oluşmuştur (Şekil 2). Merkezi örten kubbe yaklaşık 12m çapındadır.

Kubbenin ve minarelerin yerden yüksekliği sırasıyla 30 ve 40 metredir. Yapısal olarak yığma yapı sınıfına giren cami (duvarlar, kemerler, kubbe, minare) doğal kesme taş (kireç taşı) ile inşa edilmiştir. Caminin dış kenarlarında süsleme için bazalt taşı kullanılmış olup yapısal görevi bulunmamaktadır. Yapı malzemesi olarak kullanılan kireç taşının mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kireç taşının (kesme taşı) basınç mukavemeti ortalama 40MPa olarak alınmıştır (Baykasoğlu vd., 2008). Çekme mukavemeti ise, basınç mukavemetinin 1/10'i (Pela vd., 2009; Şeker vd., 2015) olarak kabul edilip 4MPa alınmıştır. Kireç taşının elastisite modülü, birim hacim ağırlığı ve Poisson oranı sırasıyla 25000MPa, 25kN/m^3 ve 0.2 olarak kabul edilmiştir (Baykasoğlu vd., 2008). Tablo 1'de belirtilen malzeme özellikleri, caminin taşıyıcı sistemini oluşturan doğal kesme taş birimlerinin malzeme özelliği olarak değerlendirilmiş ve caminin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan sayısal modeli bu mekanik özellikler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu değerlerin taşıyıcı sistemin duvar elemanlarının özelliklerini de temsil edeceği kabulü yapılmıştır. Ayrıca, modelde duvar malzemesi olan taş ve harç üniform kabulü ile tek bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Böylece, taşıyıcı sistemi ve duvarları oluşturan taş blokların arasına yerleştirilen harç malzemesinin özelliklerinin de yüksek mertebede olacağı varsayılmıştır. Ancak bu kabullerin, karışık bir yapısal sisteme sahip Kurtuluş camisi için özel olarak yapıldığının vurgulanmasında fayda vardır. Camideki bazı yapısal elemanların (minare) desteklendiği yatay plakaların (döşeme) kendi düzlemleri içerisinde rijit olduğu (rijit diyafram etkisi) kabulü (Terzi vd., 2009) esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Gaziantep'te 1971 ve 1988'de iki deprem meydana gelmesine rağmen, cami ile ilgili yapıldığı tarihten (1892) günümüze kadar önemli bir deprem hasarına uğramadığı bildirilmektedir (Gaziantep Afad, 2016). Ancak, cezaevi olarak kullanıldığı tarihlerde camide önemli hasarlar meydana gelmiştir. 2006 yılında caminin bazı taşıyıcı duvarlarında, üst ve yan bölümlerinde çatlama ve çökmelerin oluştuğu gözlenmiş, bu yüzden 2008 yılından itibaren camide restorasyona başlanmıştır (Gaziantep VGM, 2016). Gaziantep'te oluşabilecek depremlerin tekrarlanma aralığının 100 yıldan fazla olacağı varsayılırsa (Güllü vd., 2008), restorasyondan sonraki kullanım periyodu içerisinde, camide oluşabilecek deprem etkileri ve caminin depreme karşı göstereceği yapısal tepkiler merak konusudur.



Şekil 1. Gaziantep Kurtuluş camisi.



Şekil 2. Gaziantep Kurtuluş camisi plan ve kesit görünüşleri.

Tablo 1. Sayısal modelde kullanılan cami yapı malzemesinin (kireç taşı) mekanik özellikleri.

Malzeme Özelliği	**Değer**
Elastisite modülü (MPA)	25000
Birim hacim ağırlığı (kN/m^3)	25
Poisson oranı	0.2
Basınç mukavemeti (MPa)	40
Çekme mukavemeti (MPa)	4

Deprem Kayıtları

Deprem yönetmeliğine (DBYBHY, 2007) göre, Gaziantep ili bölgesel olarak 1 ile 4 arasında değişen deprem bölgelerine sahiptir. Gaziantep merkez ise 3. derece deprem bölgesine girmektedir. Şekil 3 Gaziantep'in deprem bölgeleri haritasını göstermektedir (Gaziantep Afad, 2016). Bölgede, yıkıcı faya (Doğu

Anadolu Fayı) olan uzaklık 10 ile 80 km arasında değişmekte olup, yakın odaklı fay etkisi mevcuttur. Oluşabilecek bir senaryo depreminde Gaziantep bölgesine etkiyecek en büyük deprem ivmeleri 0.1g-0.4g arasında değişmekte olup, Gaziantep merkez için ise 0.2g ile 0.3g arasında olması beklenmektedir. Bu kapsamda Gaziantep Kurtuluş camisinin deprem altındaki davranışının belirlenmesi için, genel olarak bölgeyi (Gaziantep ili) ve spesifik olarak da Gaziantep il merkezini temsil edecek şekilde gerçek deprem kayıtlarının kullanılması benimsenmiştir. Bu doğrultuda, yakın odaklı depremler içerisinde en büyük ivme değerleri dikkate alınarak derlenen ve sayısal analizlerde kullanılan deprem kayıtları (PEER, 2016) Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de sunulan deprem kayıtları, sert zemin veya anakaya üzerinde elde edilmiş deprem kayıtları olacak şekilde seçilmiştir. Kurtuluş camisi, temel zemini, jeolojik olarak kayalık ve kireçtaşı formasyonlu sert veya anakaya olarak nitelendirilebilecek bir zemin yapısına sahip olduğu için, seçilen deprem kayıtlarının doğrudan anakayadan gelip temel tabanına etkiyerek yapıya ulaştığı düşünülmüştür. Kayıtlar anakayadan veya sert zeminden seçildiği için anakayadan gelen depremin direkt yapıya etkidiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla zemin-tepki (site-response) durumunun yapı üzerindeki spektral etkileri en az seviyeye indirilerek, bulgularda deprem etkisinin doğrudan yapı üzerindeki spektral etkileri elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda yapıda en elverişsiz etki gösteren (yani maksimum etki gösteren) depremin değerlendirmeler için esas alınması benimsenmiştir.



Şekil 3. Gaziantep ili deprem haritası (Gaziantep Afad, 2016).

Tablo 2. Sayısal modelde kullanılan deprem kayıtları (PEER, 2016).

No	Deprem	Tarih	Manyitüd (Mw)	Kayıt No	En büyük yer ivmesi (g)	Odak uzaklığı (km)
1	Chi-Chi	20/09/1999	7.6	TCU045	0.36	8
2	Hollister	09/04/1961	5.6	USGS STATION 1028	0.19	-
3	Iripinia	23/11/1980	6.9	Sturno (STN)	0.23	7
4	Kern	21/07/1952	7.3	Taft Lincoln School	0.11	16
5	Kobe	16/01/1995	6.9	KAKOGAWA(CUE90)	0.35	18
6	Kocaeli	17/08/1999	7.6	YPT060	0.35	17
7	Loma Prieta	18/10/1989	6.9	CDMG 47381	0.37	18
8	Taiwan	14/11/1986	7.8	SMART1 O12	0.14	34
9	Trinidad	24/08/1983	3.2	CDMG 1498	0.19	-
10	Westmorland	26/04/1981	7.2	Parachute Test Site	0.23	-

Sayısal Model ve Analizler

Gaziantep Kurtuluş camisinin sayısal modeli üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulmuştur. Bilindiği gibi sonlu elemanlar yöntemi, başta gerilme analizleri olmak üzere ısı transferi, elektro-manyetizma ve sıvı akışını içeren büyük ölçekli mühendislik problemlerine çözüm getiren sayısal bir analiz yöntemidir (Moaveni, 2003). Sonlu elemanlar modeli, çubuk (line), alan (shell) ve katı model (solid) elemanlarını kapsamakta olup, bu çalışmada katı (solid) elemanlar kullanılarak model oluşturulmuştur. Katı elemanlar, özellikle tarihi yapıların modellenmesinde oldukça faydalı bulgu ve sonuçlar vermektedir. Katı elemanın rijit bir yapıya sahip olması ve özellikle yığma yapılarda olduğu gibi dönme kabiliyetinin sınırlı olması, tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin davranışıyla örtüşmektedir (CSI, 2015). Caminin sonlu elemanlar modelinin elde edilmesinde, 15459 tane düğüm noktası içeren, 6612 katı eleman kullanılmıştır. Katı elemanın boyutları (hacim), yapısal elemanlara bağlı olarak 1mX1mX1m'ye kadar çıkmaktadır. Yerinde rölevesi yapılan proje esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı 1m, kemer kalınlığı 0.5m ve minare kalınlığı 0.2m alınmıştır. Sınır şartları (boundary conditions) olarak ise cami tabanında ankastre mesnet (fixed base) kabulü yapılmıştır. Yukarıda belirtilen şartlarda oluşturulan Gaziantep Kurtuluş camisinin üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 4'te gösterilmektedir. Oluşturulan sayısal modelde, sabit yükler ve zaman-tanım alanı (time-history) ile tanıtılan deprem hareketinin sebep olduğu etkiler göz önüne alınarak, iki ayrı yükleme durumu dikkate alınmıştır. Deprem hareketi, EQx ve EQy yüklemesi olmak üzere iki ayrı asal doğrultuda uygulanmıştır. Deprem etkisi için, G+EQx (Sabit yükler+x ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi) ve G+EQy (Sabit yükler+y ekseni doğrultusundaki deprem yüklemesi) yüklemelerinden oluşan iki ayrı yük kombinasyonu tanımı yapılmıştır.

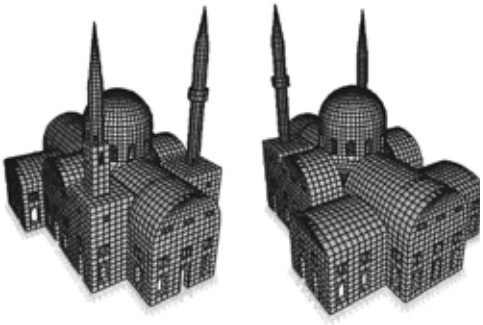
Sayısal modelin deprem hareketine karşı tepkileri, zaman tanım alanında (time-history) tekrarlı hareketin (deprem hareketininin) gösterdiği gerilme-deformasyon ilişkisinin nonlineer davranışı dikkate alınarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda hızlı nonlineer analiz (fast nonlinear analysis) (FNA) yöntemi kullanılmıştır. Hızlı nonlineer analiz yöntemi, geleneksel nonlineer yönteme göre daha hızlı hesap yapabilen bir yöntem olup zaman açısından oldukça fayda sağlamaktadır (Wilson, 2002). Geleneksel nonlineer analizlerde, tekrarlı yükleme durumları için zaman-tanım alanında eigen vektörler kullanılır. Bu durum, nonlineer analiz yönteminde, tanımlanan çubuk, alan ve katı eleman sayısına göre analiz süresini oldukça arttırmaktadır. Örneğin, binlerce katı elemanın tanımlandığı sistemlerde, bilgisayar işlemcisinin hızına da bağlı olmak üzere, hesap süresi 2-3 haftayı bulabilir. Ancak, bu süre yalnız bir deprem ivme kaydı için geçerli olup, diğer her senaryo depremi için hesap süresi orantılı olarak artar. Alternatif olarak önerilen hızlı nonlineer analiz (FNA) yönteminde ise, yükleme durumları için Ritz vektörleri kullanılmakta olup, hesap süresi oldukça düşürülmekte ve araştırmaların daha verimli olması sağlanmaktadır (Elizalde Siler, 2004; Hewett, 2010). Zaman tanım alanında Ritz vektörleri ile analiz edilen FNA yöntemi, Denklem (1) ile temsil edilen doğrudan analiz yöntemi (direct method) kullanarak hesaplama yapar (Wilson, 2003):

$$M\,\ddot{u}(t) + C\,\dot{u}(t) + K\,u(t) + R(t)_{NL} = R(t) \quad (1)$$

Bu denklemde, M, C ve K sırasıyla kütle, sönüm oranı ve rijitlik matrislerini göstermektedir. Zamana bağlı vektörler olan ü (t), u̇ (t), u(t) and R(t) ise sırasıyla ivme, hız, yer değiştirme ve dış kuvvettir. $R(t)_{NL}$ ise her düğüm noktasının iterasyonla hesaplandığı bütün nonlineer kuvvetlerinin toplamıdır.

Sayısal model üzerindeki bütün hesaplamalar, deprem kaydı ile tanıtılan tekrarlı yükler sebebi ile oluşan gerilme-deformasyon ilişkisinin nonlineer bir yapısal davranış göstereceği durumuna göre yapılmıştır. Bu davranışta yapısal sistemin sönüm oranı %5 olarak kabul edilmiştir. Seçilen bu sönüm oranı çoğunlukla

betonarme binalar için uygun olmakla beraber, yığma binalarda daha büyük sönüm oranlarına ulaşılacağı literatürde muhtelif çalışmalarda vurgulanmıştır (Chopra, 2007). Ancak sayısal modelde, taş ve harç üniform kabul edilerek tek bir malzeme olarak tanımlandığı için daha büyük sönüm oranlarının kullanılması benimsenmemiştir. Hem sonlu elemanlar modeli hem de deprem analizleri Sap2000 (v.18.1.0) (2016) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deprem etkisi altında Kurtuluş Camisinde oluşan tepkiler: i) yer değiştirme, ii) ivme, iii) gerilme, iv) taban kesme kuvveti ve v) değişik modlardaki doğal titreşim periyotları hesaplanarak değerlendirilmiş ve bulgular tartışılmıştır.



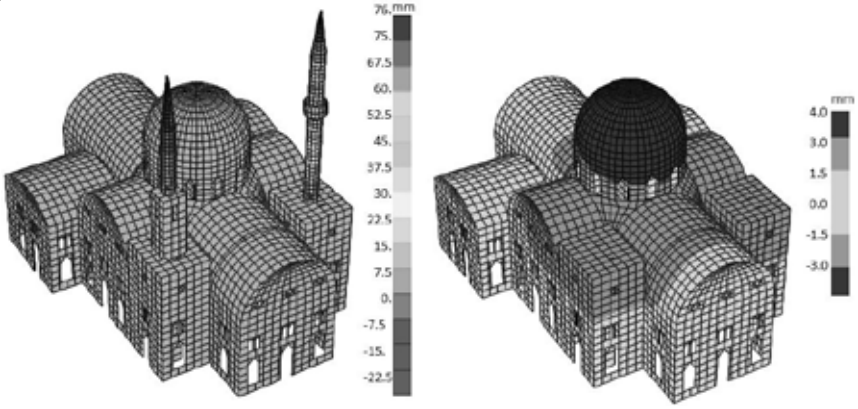
Şekil 4. Kurtuluş camisinin sonlu elemanlar modeli.

Analiz Bulguları ve Tartışmalar

Kurtuluş camisinde, uygulanan farklı depremler etkisinde oluşan yer değiştirmeler üç boyutlu olarak, diğer senaryo depremlerine göre daha büyük yer değiştirmelere sebep olan 1989 Loma Prieta depremi için Şekil 5'de gösterilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi deprem etkisinin değerlendirilmesinde en elvesişsiz olan deprem (yani maksimum etki gösteren deprem) esas alınmıştır. Camideki bütün yapı elemanları dikkate alındığında, en büyük yer değiştirmelerin 0.5mm'den başlayarak, 76mm'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, yer değiştirmelerin diğer yapı elemanlarına göre uzun minarede daha belirgin olduğunu göstermiş, minareden sonra ise cami kubbesi gelmiştir. Uygulanan bütün depremler için, elde edilen en büyük yer değiştirme X ve Y eksenleri yönünde kubbe ve minare dikkate alınarak Tablo 3'de verilmektedir. Tablo 3'de görüldüğü gibi, kubbede oluşan en büyük yer değiştirmeler 0.5mm ile 4mm arasındadır. Uzun minarede oluşan en büyük yer değiştirmeler ise, 17mm ile 76mm arasında değişmektedir. X-yönündeki 76mm'lik en büyük yer değiştirme, 1989 Loma Prieta senaryo depremi ile elde edilmesine rağmen, senaryo depremlerinin çoğunda minarede oluşan en büyük yer değiştirmelerin 45mm'den büyük olduğu gözlenmektedir. Oluşabilecek deprem hasarının yer değiştirmelerle orantılı olduğu bilinmektedir (Celep ve Kumbasar, 1993). Yer değiştirme oranı (δ) (yer değiştirme/kat yüksekliği) ile hasar arasındaki ilişki Celep ve Kumbasar (1993)'de verilen: i) δ=0.001 (taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar muhtemel), ii) δ=0.002 (taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar çok muhtemel), iii) δ=0.007 (taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar hemen hemen kesin, taşıyıcı elemanlarda hasar muhtemel) ve iv) δ=0.015 (taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kesin, taşıyıcı elemanlarda hasar çok muhtemel), kriterler ile değerlendirilebilir. Bu çalışmadaki, sayısal model koşulları ve senaryo depremleri dikkate alındığında, Kurtuluş camisinin minaresi için 45mm'den büyük hesaplanan yer değiştirme değerlerinin, minare yüksekliği 40m olarak hesaba katıldığında δ=0.00113'den büyük yer değiştirme oranlarına sebep olacağı söylenebilir. Bu oran, Celep ve Kumbasar (1993)'e göre kabul edilebilir sınırın (δ=0.001) üstündedir. Bu durum, deprem etkisinde cami minaresinin hasara uğrayabileceğine, dolayısıyla kabul edilebilir yer değiştirme sınırlarını aşmayacak şekilde minarenin güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Kubbe ve diğer yapı elemanları için hesaplanan yer değiştirme değerlerinin ise, kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğu, dolayısıyla güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

Camide deprem etkisinde oluşan en büyük ivme değerleri (1989 Loma Prieta senaryo depremi için) mesnet, orta ve tepe noktaları dikkate

alınarak bazı bölgeler için (minare, kubbe, kemer) Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'den görüldüğü gibi, yükseklik arttıkça ivmeler de artmaktadır. Ancak bu artış diğer bölgelere kıyasla minarelerde daha belirgindir. İvmeler özellikle minare orta noktasından sonra aşırı bir artış göstererek, tepede 3.54g (uzun minare) ve 3.46g (kısa minare)'lik maksimum değerine ulaşmaktadır. Uzun minarede oluşan yer değiştirme sınırlarının aşıldığı dikkate alındığında, hesaplanan 3.54g'lik ivmeden dolayı oluşacak kuvvetin muhtemel bir hasarda önemli rol oynayacağı söylenebilir.



Şekil 5. Kurtuluş camisinde deprem etkisinde oluşan yer değiştirme değerleri.

Tablo 3. Deprem etkisinde camide oluşan en büyük yer değiştirmeler (kubbe ve uzun minare).

No	Depremler	Kubbe (mm)		Minare (mm)	
		X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
1	Chi-Chi	2	1.3	49	47
2	Hollister	1.1	0.9	46	45
3	Iripinia	1.6	1.1	75	72
4	Kern	0.8	0.5	21	21
5	Kobe	2.4	1.5	72	74
6	Kocaeli	1.3	1.3	64	57
7	Loma Prieta	4	2.3	72	76
8	Taiwan	0.7	0.6	46	47
9	Trinidad	1.2	1.1	18	17
10	Westmorland	1.1	1.1	63	69

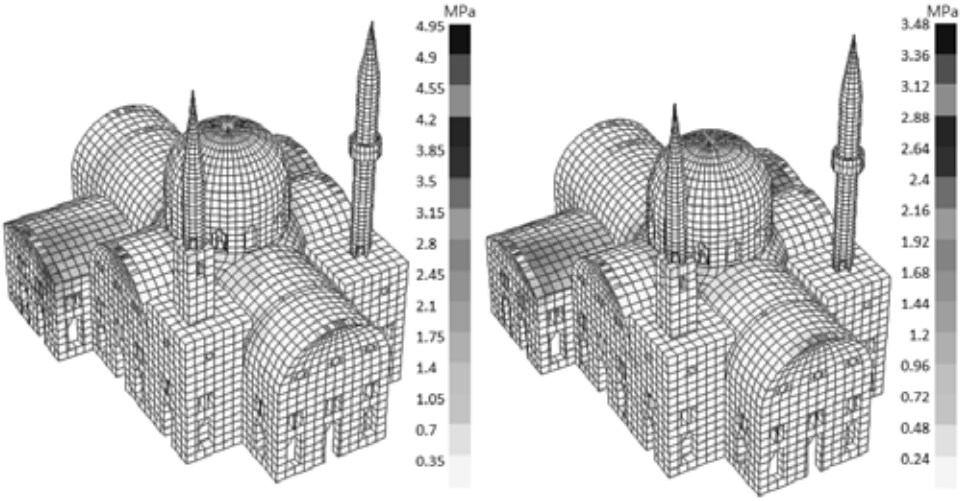
Tablo 4. Camide deprem etkisinde oluşan en büyük ivmeler.

Cami	Yerden yükseklik (m)	En büyük ivme (g)
Uzun minare-tepe	40	3.54
Uzun minare-orta	27.5	0.91
Uzun minare-mesnet	15	0.84
Kısa minare-tepe	38	3.46
Kısa minare-orta	30.5	0.94
Kısa minare-mesnet	23	0.84
Kubbe-tepe	30	0.88
Kubbe-orta	24	0.85
Kubbe-mesnet	18	0.83
Kemer-tepe	18	0.73
Kemer-orta	14	0.64
Kemer-mesnet	10	0.45

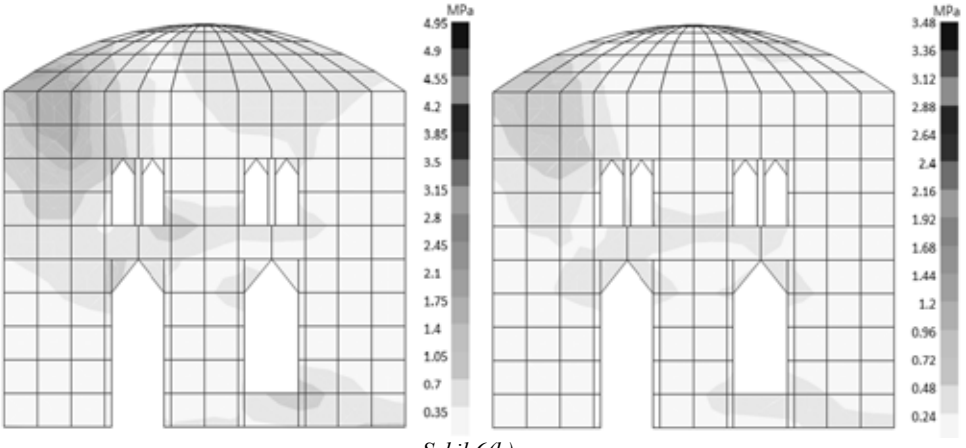
Deprem etkisi altında Kurtuluş camisinde oluşan gerilmeler, her bir senaryo depremi için X ve Y yönlerinde en büyük gerilme değerleri olarak Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'den görüldüğü gibi senaryo depremleri, çekme gerilmesi için 1.16 ile 4.95MPa, basınç gerilmesi için ise 1.2 ile 6.94MPa arasında değişen gerilmelere sebep olmaktadır. En büyük çekme (4.95MPa) ve en büyük basınç (6.94MPa) gerilmelerini üreten 1989 Loma Prieta senaryo depremi dikkate alındığında, camide oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin değişimi sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir. SOLID elemanlarda hesaplanan gerilmelerden, her elemanın kendi yerel eksenine göre düşey doğrultuda (SAP2000 programında S22 olarak tanımlanan) meydana gelen çekme veya basınç gerilmelerinin yapının deprem dayanımı hakkında en açıklayıcı sonucu verdiği bildirilmektedir (Can vd., 2012). Camideki çekme gerilmeleri incelendiğinde (Şekil 6) en büyük gerilmenin, caminin kuzey bölümünde yer alan iki odanın üst ve yan duvarlarında 4.95MPa (Şekil 6a, 6b, 6c), kubbe ile kemerlerin birleşim noktalarında 2.67MPa (Şekil 6c), kısa minarenin birleştiği mesnet noktalarında 3.81MPa ve uzun minarenin birleştiği mesnet noktalarında ise 4.81MPa (Şekil 6c) değerlerine ulaştığı hesaplanmıştır. Literatürde, Pela vd. (2009) ve Şeker vd. (2015) malzemenin basınç mukavemetinin %10 sınırına kadar çekme gerilmelerinin güvenli bir şekilde taşınabileceğini bildirmişlerdir. Bu kriter dikkate alınarak, daha önce de belirtildiği gibi bu çalışmada çekme gerilmesinin müsaade edilebilir sınırı 4MPa olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, deprem etkisinde caminin kuzey bölümündeki odalarda ve uzun minarenin mesnet noktalarında oluşan çekme gerilmelerinin 4MPa'lık müsaade edilebilir sınırı aştığı görülmektedir. Dolayısıyla deprem etkisinde caminin bu bölgelerinde potansiyel olarak hasar oluşabileceği söylenebilir. Basınç gerilmeleri incelendiğinde ise (Şekil 7), gerilmelerin 6.95Mpa değerine kadar ulaştığı belirlenmiş olup, bu değer güvenli kabul edilebilir sınırın (40MPa) oldukça altındadır.

Tablo 5. Camide deprem etkisinde oluşan en büyük gerilmeler.

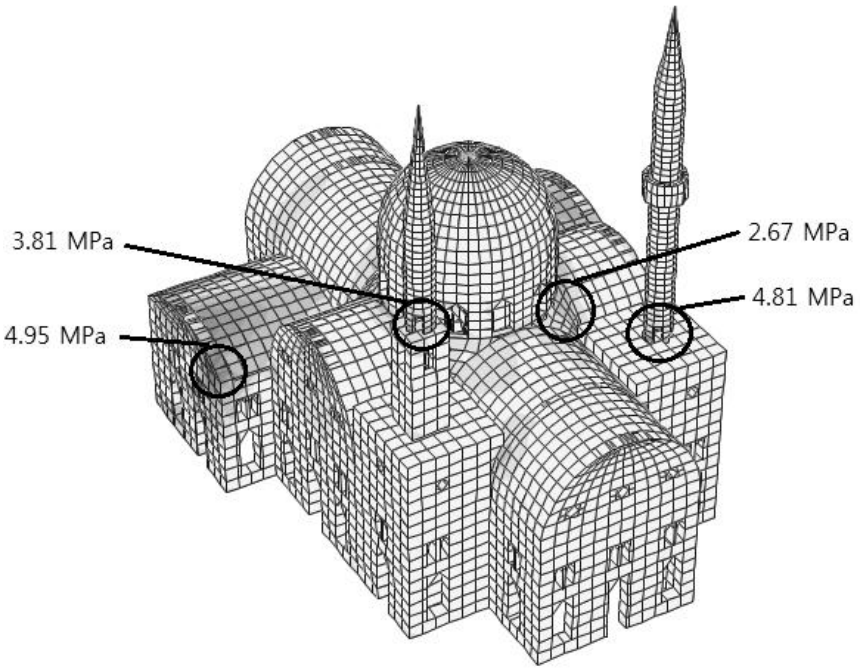
No	Depremler	Çekme gerilmesi (MPa)		Basınç gerilmesi (MPa)	
		X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
1	Chi-Chi	3.79	2.64	3.95	2.86
2	Hollister	2.85	1.99	2.52	2.21
3	Iripinia	4.33	4.32	5.04	3.33
4	Kern	1.37	1.16	1.78	1.2
5	Kobe	3.76	2.84	4.82	3.24
6	Kocaeli	4.57	3.2	4.34	2.73
7	Loma Prieta	4.95	3.48	6.94	4.54
8	Taiwan	3.72	2.72	3.16	1.94
9	Trinidad	1.52	1.65	2.71	1.9
10	Westmorland	4.89	3.88	5.27	3.28



Şekil 6(a)

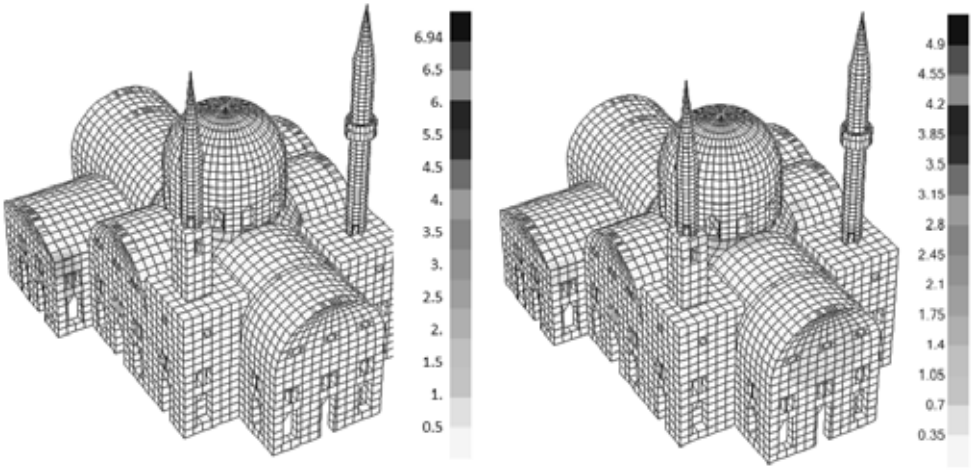


Şekil 6(b)



Şekil 6(c)

Şekil 6. Deprem etkisinde oluşan çekme gerilmeleri: a) genel görünüm, b) caminin kuzey bölümündeki iki odada meydana gelen gerilmeler, ve c) en büyük çekme gerilmeleri.



Şekil 7. Kurtuluş camisinde X ve Y yönlerinde oluşan basınç gerilmeleri.

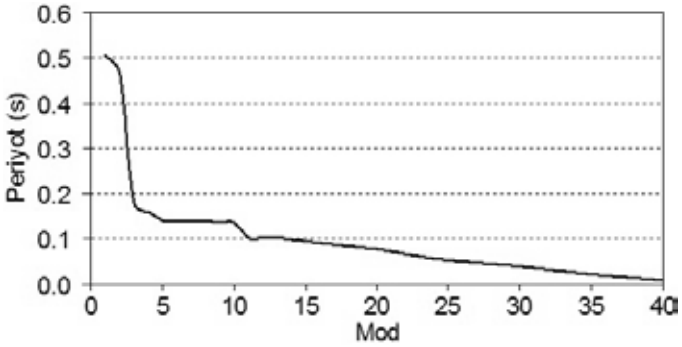
Deprem etkisi altında camiye etkiyen en büyük taban kesme kuvvetleri Tablo 6'da verilmektedir. Caminin toplam ağırlığı 89900kN olup, sayısal modelde deprem etkisi altında (1989 Loma Prieta senaryo depremi için) meydana gelen toplam taban kesme kuvveti X-ekseni doğrultusunda 39630kN, Y-ekseni doğrultusunda ise 38860kN olarak hesaplanmıştır. Bu taban kesme kuvvetleri, X yönünde toplam ağırlığının %44'üne, Y yönünde ise toplam ağırlığının %43'üne karşılık gelmektedir. DBYBHY (2007)'ye göre Gaziantep merkezi temsil eden etkin yer ivme değerlerinin (0.2g-0.3g) etkisi ile kıyaslandığında, hesaplanan bu taban kesme kuvvetlerinin daha büyük bir etkiye sebep olacağı söylenebilir.

Tablo 6. Camide deprem etkisinde oluşan taban kesme kuvvetleri.

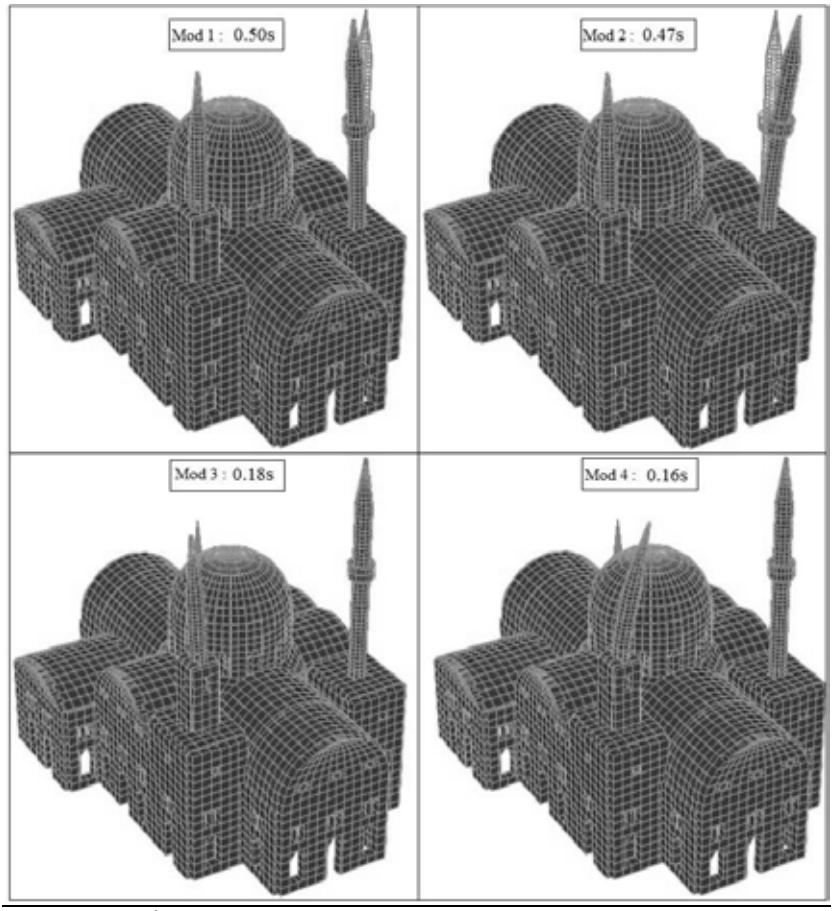
No	Deprem	Taban kesme kuvveti (kN)	
		G+EQx	G+EQy
1	Chi-Chi	31540	30690
2	Hollister	17780	18210
3	Iripinia	30390	29780
4	Kern	11135	11110
5	Kobe	35060	37660
6	Kocaeli	29700	28250
7	Loma Prieta	39630	38860
8	Taiwan	13710	13630
9	Trinidad	26260	28000
10	Westmorland	27070	26390

Kurtuluş camisinin deprem etkisi altındaki doğal titreşim periyotları, titreşim modlarına göre 40 moda kadar Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi, camide oluşan doğal tireşim periyodu, caminin ilk iki modunda en yüksek değerine ulaşmakta (sırasıyla 0.50s ve 0.47s), ondan sonra ise azalarak (3. mod için 0.18s, 4. mod için 0.16s, 5. mod için 0.14s, 40.mod için 0.01s) devam etmektedir. Titreşim modları, hareketin ilk iki modundaki doğal titreşim periyotlarının cami davranışında oldukça etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak şunu vurgulamak gerekirki, 0.5s periyoda sahip modlar çoğunlukla minarelerin titreşim modlarını yansıtmaktadır. Kütlenin önemli bir kısmının bulunduğu diğer yapı elemanlarının mod şekillerininin daha doğru temsil edilebilmeleri için modların kütle katılım oranlarının dikkate alınması gerekir. Bu hususun, cami hakkında daha detaylı yapılması planlanan gelecek bir çalışmada irdelenmesi amaçlanmaktadır. Kurtuluş camisinin deprem etkisindeki ilk dört moduna ait titreşim deformasyonları Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü minaredeki yer değiştirmeler diğer elemanlara göre daha belirgindir.

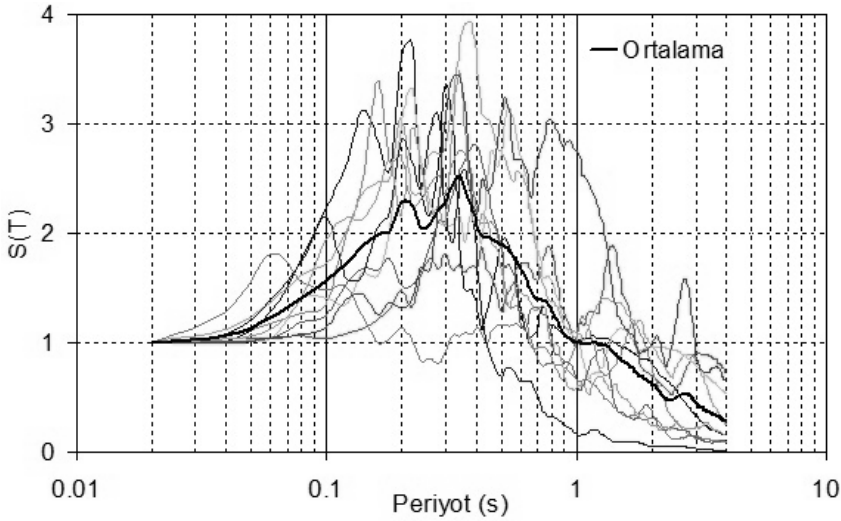
Bayülke (1989) yapılarda kat adetleri kadar doğal titreşim periyotları bulunmakla birlikte bunların birkaç tanesinin önemli olduğunu, yüksek modlardaki titreşimlerin çok büyük enerji gerektirdiği için çoğunlukla ilk birkaç ya da en çok 5 modda titreşim oluştuğunu bildirmiştir. Bu durum, Kurtuluş camisi doğal titreşim periyotlarından açıkca gözlenmektedir. Ayrıca, yapı dinamik özelliklerinden doğal titreşim periyodunun depremde yapıya gelen yer hareketinin hakim titreşim periyodu ile olan ilgisinin de önemli olduğu, gelen hareketin hakim periyodu ile yapının doğal titreşim periyodu birbirine yakın ise rezonans oluştuğu ve yapılardaki hasarın büyüdüğü bildirilmiştir (Bayülke, 1989). Bu durumda deprem yer hareketinin titreşim özelliklerini yansıtan spektrum grafiklerinden belirlenecek periyot özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, bütün deprem hareketlerinin spektal büyütme-periyot grafikleri elde edilmiş ve bir ön değelendirme için ortalamaları dikkate alınmıştır. Şekil 10 bütün senaryo depremlerinin spektrum grafiklerini ve ortalamasını göstermektedir. Şekil 10'daki ortalama spektrum grafiğinden de görüldüğü gibi, deprem hareketi 0.15s-0.5s arasında etkin olmakla beraber yaklaşık olarak 0.35s'lik bir hakim periyoda sahip olup, caminin dinamik yükleme altındaki doğal titreşim periyoduna (T=0.5s) oldukça yakın seyretmektedir. Bu durum muhtemel bir depremde camide rezonans olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir.



Şekil 8. Titreşim modlarına göre doğal titreşim periyotları.



Şekil 9. İlk dört moda göre Kurtuluş camisinde oluşan titreşim şekilleri.



Şekil 10. Senaryo depremlerinin spektrum grafikleri (S(T)=Spektrum Katsayısı=en büyük deprem ivmesine göre normalize edilerek belirlenen spektral büyütme).

Yüksek yapıların doğal titreşim periyotlarının uzun oluşundan dolayı uzakta (100km ve daha uzak) olabilecek şiddetli depremlerden ve/veya yumuşak zeminlerdeki deprem yer hareketinden etkilenebilecekleri, bunun tersi olarak da düşük katlı yapıların yakında (100km ve daha yakın) olabilecek şiddetli depremlerden ve/veya sert zeminlerdeki deprem yer hareketinden etkilenebilecekleri beklenebilir (Bayülke, 1989; Kramer, 1996). Kurtuluş Camisi gibi doğal titreşim periyodundan dolayı (T=0.5s) orta yükseklikte denilebilecek tipik yığma bir yapı olan caminin, bu çalışmada yapıldığı gibi sadece en büyük ivmeye göre seçilmiş depremlerden değil, aynı zamanda yakın ve/veya uzak mesafeli, veya düşük ve/veya yüksek periyotlu depremlerden nasıl etkileneceği de daha detaylı olarak incelenmesi gerekir. Bu kapsamda ayrı bir araştırma konusu olarak, mesafeye ve/veya periyoda bağlı olarak gruplandırılmış deprem hareketleri dikkate alınarak caminin gösterdiği dinamik tepkilerin irdelenmesi önerilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada yığma taş bir yapı olan Gaziantep Kurtuluş camisinin deprem etkisindeki davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda, katı (solid) eleman kullanılarak caminin sonlu elemanlar yöntemi ile üç boyutlu sayısal modeli oluşturulmuştur. Deprem hareketinin nonlineer davranışı dikkate alınarak, hızlı nonlineer analiz (FNA) yöntemi ile, zaman-tanım alanında 10 adet gerçek deprem ivme kaydından oluşan senaryo depremlerinin sebep olduğu dinamik tepkiler (yer değiştirme, ivme, gerilme, taban kesme kuvveti ve değişik modlardaki doğal titreşim periyodları) hesaplanmış ve bulgular tartışılmıştır. Çalışmada kabul edilen şartlar altında elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır:

1. En büyük yer değiştirme 76mm olarak hesaplanmış olup, minarenin tepe noktasında oluşmuştur. Bu değer, yerdeğiştirme oranı δ=0.001 olarak kabul edilen alt sınırın üzerinde olup, camide hasar riski oluşturmaktadır.

2. Camideki en büyük ivme (3.54g) minare tepesinde oluşmuştur. Bu bölgede ivmeler caminin diğer bölümlerine kıyasla oldukça

büyük bir değere ulaşmış olup muhtemel bir hasarda önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

3. Camideki en büyük çekme gerilmesi 4.95MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer çekme gerilmesinin 4MPa olarak kabul edilen müsaade edilebilir üst sınırının üzerindedir. Bu durum camide çekme gerilmelerinden dolayı hasar olabileceğine işaret etmektedir. En büyük basınç gerilmeleri ise 6.94MPa olarak hesaplanmış olup müsaade edilen üst sınır değerinin altında ve güvenlidir.

4. Deprem taban kesme kuvveti, bina ağırlığının X-yönünde %44'ü, Y-yönünde ise %43'ü olarak etkimektedir. Bu kuvvetlerin, Gaziantep merkezi temsil eden etkin yer ivmesi değerlerinden (0.2g-0.3g) daha büyük bir etki göstereceği düşünülmektedir.

5. Caminin doğal titreşim periyodu 0.5s olarak hesaplanmıştır. Senaryo depremleri ise 0.15s-0.5s arasında etkin olmakla beraber yaklaşık 0.35s'lik bir hakim periyoda sahiptir. Cami ile depremler birbirlerine yakın periyotlarda seyretmekte olup, bu durum rezonans olasılığını güçlendirmektedir.

Bu çalışma, Kurtuluş camisinin deprem etkisindeki davranışı hakkındaki bir ön araştırmayı sunmaktadır. Araştırmadan elde edilen bulgu ve sonuçların ileride cami ile ilgili planlanan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Ülkemizde, tarihi eserlerin deprem etkisindeki davranışları hakkındaki çalışmalar hala sınırlı olup, daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Gaziantep Kurtuluş camisi mimari projesi, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Gaziantep Bölge Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Yazarlar, katkılarından dolayı kuruma teşekkürlerini sunmaktadırlar.

Kaynaklar

Baykasoğlu, A., Güllü, H., Çanakcı, H., Özbakır, L., (2008). Prediction of compressive and tensile strength of limestone, *Expert Systems with Applications*, 35, 111-128.

Bayülke, N., (1989). Çok katlı yapılar ve deprem, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, *Çok Katlı Yapılar Sempozyumu*, 21-23 Eylül, pp.189-226.

Can, H., Kubin, J., Ünay, A.İ., (2012). Düzensiz geometrik şekile sahip tarihi yığma binaların sismik davranışı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi (Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University)*, 27(3), 679-686.

Çarhoğlu, A.I., Zabin, P., Korkmaz, K.A., (2014). Kars Kümbet Camisinin deprem davranışının incelenmesi, *Gazi Universitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part:C, Tasarım ve Teknoloji (GU J Sci Part:C)*, 2(1), 189-196.

Çavuş, M., (2013). Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin deprem altındaki sismik davranışının değerlendirilmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi,* 7, 80-90.

Celep, Z., Kumbasar, N, (1993). Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Sema Matbaacılık, ISBN: 975-95405-2-5, İstanbul, 343p.

Chopra A.K., (2007). Dynamics of structures, 3rd edition, Prentice Hall.

CSI (Computer and Structures Inc), (2015). CSI Analysis Reference For SAP 2000, ETABS and SAFE, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, http://docs.csiamerica.com/manuals/etabs/Analysis%20Reference.pdf, Last Access on 04 April 2016.

DBYBHY (Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik), (2007). (http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eski/DBYBHY-2007-KOERI.pdf), Last Access on 10 March 2016.

Elizalde Siler, H.R., (2004). Non-linear modal analysis methods for engineering structures, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Imperial College, University of London.

Erkek, H., Calayır, Y., Sayın., Karaton., M., (2013). Tarihi Malatya Ulu camisinin sismik davranışı, *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, MKÜ, Hatay, 1-9.

Gaziantep Afad, (2016). Gaziantep Valiliği, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, http://www.gaziantepafad.gov.tr/gaziantep-afetselligi, Last Access on 10 March 2016.

Gaziantep VGM (T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü, Gaziantep Bölge Müdürlüğü), (2016). http://gaziantep.vgm.gov.tr, Last Access on 10 March 2016.

Güllü, H., Ansal, A., Özbay, A., (2008). Seismic hazard studies for Gaziantep city in South Anatolia of Turkey, *Natural Hazards*, 44(1), 19-50.

Hewett, D.R., (2010). A fast, non-linear, finite element solver for earthquake response of buildings, *M.Sc. Thesis*, Department of Mechanical Engineering, University of Canterbury.

Korkmaz, K.A., Çarhoğlu, A.I., Usta, P., Hanifi, Y., (2013a). Tokat Yağıbasan medrese yapısının deprem riskinin değerlendirilmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 43-51.

Korkmaz, K.A., Çarhoğlu, A.I., Usta, P., Toker, S., (2013b). Tarihi kiliselerin deprem davranışının Van Akdamar kilisesi örneğinde incelenmesi, *SDU International Technologic Science*, 5(2), 22-29.

Korkmaz, K.A., Zabin, P., Çarhoğlu, A.I., Nuhoğlu, A., (2014). Rize merkez Kurşunlu camisinin deprem davranışının incelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 149-156.

Kramer, S.L., (1996). Geotechnical earthquake engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Moaveni, S., (2003). Finite element analysis: Theory and application with ANSYS, 2nd Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center), (2016). PEER strong motion database, http://ngawest2.berkeley.edu, Last Access on 10 March 2016.

Pela, L., Aprile, A., Benedetti, A. (2009). Seismic assessment of masonry arch bridges. *Engineering Structures*, 31, 1777-1788.

Sap2000 (v18.1.0), (2016). Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Berkeley, California, Computer and Structres Inc.

Şeker, B.Ş., Çakır, F., Doğangün, Durmuş, A., (2015). Sonlu elemanlar yöntemiyle tarihi Erzurum Lala Paşa Cami'nin yapısal davranışının incelenmesi, *Pamukkale Üniv Müh Bilim Derg. (Pamukkale University Journal of Engineering Sciences)*, 21(3), 82-87.

Terzi, M., Elçi, H., (2009). Perde-çerçeveli betonarme yapılarda A2 türü düzensizliğin kesit tesirlerine etkisi. *BAÜ FBE Dergisi*, 11(1), 83-94.

Wilson, E.L., 2002. Three-dimensional static and dynamic analysis of structures: A physical approach with emphasis on earthquake engineering, 3rd Ed., Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA, http://computersandengineering.de/downloads/manuals/ETABS/English/E-MAN-008.pdf, Last Access on 04 April 2016.

Investigation of earthquake response of Gaziantep Kurtuluş mosque

Extended abstract

The seismic assessment of historical structures is a fundamental issue nowadays for protecting the cultural heritage. In many countries, masonry structures still play a central role for representation of country's history and its development. Most of these structures have a historical and architectural value in both, thus they are permanently needed to ensure their reliable seismic safety with accurate analysis tools. Accordingly, nowadays, the most advanced computer based methods employing numerical package softwares available for structural assessment have been used to analyze the behavior of historical masonry structures, resulting in different levels of complexity and cost in the viewpoint of computational effort. Damage risk of the most vulnerable masonry historical structures should be minimized to avoid significant social and economical losses. These requirements are particularly evident in historical masonry mosques, since their assessment is strongly needed for restoration by administrative authorities frequently.

Several procedures have been employed in last decades in order to predict the behavior of masonry structures. The difficulty in representing the behavior of the material and the structural resistance requires the use of effective structural model. Nonlinear analysis is the most comprehensive procedures to study the complex behavior of masonry structures during an earthquake, since more reliable solution can be obtained as compared to conventional linear approaches such as collapse mechanisms, ductility, forces redistribution, damage, etc. In principle, nonlinear time-history analysis is the most suitable seismic assessment tool, but it needs fast algorithms to obtain the solutions more practice. Moreover, dynamic nonlinear analysis is strongly dependent on the input excitation and has a high computational time and effort, which must be seriously considered when complex structures are analyzed.

Historical buildings that become an important part of our cultural heritage in Anatolia are mostly subjected to earthquake effects in our country. Therefore, they have a dangerous earthquake potential, which results in significant damage. Thus, it is quite important to transfer the historical structures to next generations through the investigation of their responses under earthquake.

In this study, the behavior of a 125-years old historical masonry structure, Gaziantep Kurtulus mosque, was studied against earthquake effect, with an evaluation of possible damage potential. For this purpose, three-dimensional numerical model of Kurtuluş mosque was built with finite element method. Solid elements were used for the building of the numerical model due to finite element. The dynamic effects due to earthquake motions for the dynamic responses of structure are estimated in a time-history domain employing some possible records of scenario earthquakes. The scenario earthquakes included 10 strong ground motions that were selected to represent the earthquake effect to Gaziantep city in the viewpoint of peak ground acceleration as a preliminary assessment in this study. The earthquake motions have been exerted to the numerical model of structure under consideration of nonlinear stress-strain behavior of dynamic excitation. Fast nonlinear analysis (FNA) method was used for the nonlinear behavior of earthquake motion. The FNA methodology has also been applied to provide less time and computational effort in the study. Under the earthquake excitation, the structural behavior has been calculated and evaluated in the responses of displacement, stress, acceleration, predominant period and mode of vibration. The computations have been carried out using SAP2000 package software.

As a consequence of the analysis, the findings obtained show that displacements and tensile strengths in some part of the mosque exceed their allowable limits. This indicates that the mosque has a potential damage hazard under a possible earthquake. In addition, natural vibration period of mosque (T=0.5s) is found to close to predominat period of earthquake (T=0.35s). This could result in the mosque and earthquake vibration to be in resonance that could also cause a potential damage.

The study with the findings could be considered to be beneficial for the local authorities during the restoration of Kurtuluş mosque.

Keywords: *Historical masonry structure; earthquake; finite element; natural vibration period; damage*