

Galatasaray Panagia Ton İsodion Kilisesinin Davranışı

Tülay Aksu Özkul^a, O. İlkay Ergünes^a

^a *i.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 34469 Maslak-İstanbul*

ÖZET

Panagia Ton İsodion Kilisesi, Galatasaray’da Çiçek Pasajı yakınlarında bulunan İstanbul’un en eski kiliselerinden ve Beyoğlu’nun iki ana kilisesinden biridir. Tarihi kilise SAP2000 programı ile üç boyutlu sonlu elemanla modellenmiş, yapının kendi ağırlığı ve deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. Yapı, sistemin tüm taşıyıcı elemanlarını içerecek şekilde serbestlik derecesi 24 olan üç boyutlu sonlu elemanla modellenmiştir. Çalışmada, kilisenin yapısal sistemi tanımlanmış, yapının zati ağırlığı ve deprem yüklemesi altındaki davranışı belirlenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Panagia Ton Isodion Church, one of the old churches of Istanbul and one of the two main churches in Beyoglu, is located near Cicek Passage in Galatasaray. The historic church is analyzed with a three-dimensional finite element model by using SAP2000 program to understand its structural behavior under the action of static and earthquake loadings. The structure, including all essential elements of the system, is modeled by using the solid finite element with 24 degrees of freedom. Structural behavior and the dynamic characteristics of church are demonstrated.

1. GİRİŞ

Panagia Ton İsodion Kilisesi, Beyoğlu ilçesi, Galatasaray semtinde, doğuda İstiklal caddesi ve batıda Meşrutiyet caddesi arasında, Emir Nevruz çıkmazında Çiçek Pasajı yakınlarında bulunan İstanbul’un en eski kiliselerinden olan bir Rum Ortodoks kilisesidir. Bina 19. yüzyıl Bizans kilise mimarisinin tipik bir örneği olup günümüzde kilise olarak işlevini sürdürmektedir. Panagia Ton Isodion Kilisesi, 26 Haziran - 18 Eylül 1804 tarihleri arasında Padişah III. Selim’in fermanıyla inşa edilmiştir. Başlangıçta tek nefli ve bezemesiz bir yapı olan kilisenin 1831 yılında Sultan II. Mahmut döneminde verilen izinle iki yana doğru genişletildiği ve çatısının yenilendiği bilinmektedir. Ayrıca kilisenin 1860 yılında yanlardan tekrar genişletildiği ve 1875, 1890, 1904 yıllarında küçük onarımlar geçirdiği ifade

edilmektedir [1-2]. Binanın 2003 yılındaki İngiltere Konsolosluğunun bombalanması olayı sırasında zarar gördüğü bilinmektedir. Galatasaray Panagia Ton İsozion Kilisesi, yüksek yapıların çevrelediği bir avlu içinde yer almaktadır. Avlunun kuzeyinde yönetim birimleri, güneyinde sosyal amaçlı yapılar, güneybatısında kilise görevlisinin evi bulunmaktadır. Yapının güneyinde, ortada üst hizada yer alan yanları korkuluklu köprü biçimindeki geçiş, kilise ile güneyindeki yapı arasında bağlantı sağlamaktadır. Yapının kuzey ve güney köşelerinde bulunan kare kesitli kaidelerden kuzeydekiğin üzerinde yer alan çan kulesi sonradan eklenmiştir. Kilisenin naosuna açılan üç kapısı, güneyinde ise iki giriş kapısı vardır (Şekil 1).



Şekil 1. Galatasaray Panagia Ton İsozion Kilisesi.

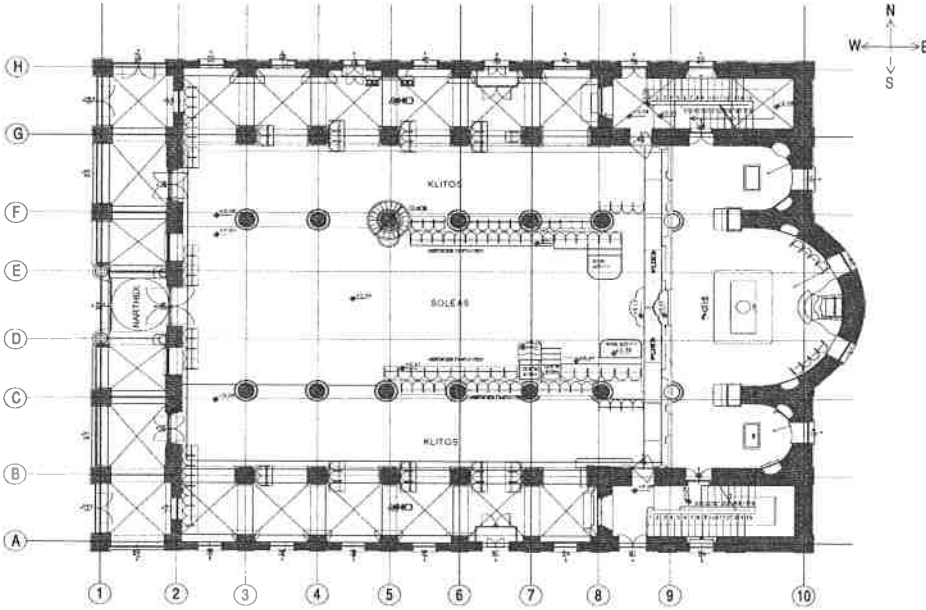
Panagia Ton İsozion Kilisesi uzun bir süre tadilat geçirmemiş olması ve dış etkenlerin olumsuz etkileri nedeni ile şu an hizmet verememektedir. Yapının inşasının üzerinden yaklaşık iki yüzyıl geçmesine rağmen yapıda ciddi anlamda bir deformasyon gözlenmemiştir. Çatı kaplama tahtalarında kırıklar ve çatının ortasındaki asma tonozun bağdadilerinde kılcal sıva çatlakları gözlenmiştir. Pek çok yerde sıvalarda, boyalarda dökülme ve çatlamlar olmuştur. Kadınlar mahfilindeki ahşap döşemelerin tamamına yakını bozulmuş ve zemin kat döşemesindeki mermer kaplamaların % 20'lik kısmında aşınma ve kırıklar tespit edilmiştir. Çatıyı taşıyan sütunların sıvalarında dikey çatlaklar gözlenmiş ve aynı sütunların ahşap kısımlarında çürümelere rastlanmıştır. 2. nefin zemin kat haçvari tonoz tavanında deprem dolayısıyla kuzey-güney yönünde boylu boyunca oluşmuş yapısal çatlaklar tespit edilmiştir. Panagia Ton İsozion Kilisesi, yapının özgünlüğünü bozmadan yapıyı yeniden dini hizmetleri karşılayacak duruma getirmek amacı ile tamir ve restore edilmek istenmektedir. Bu yüzden yapının statik ve deprem yükleri altındaki davranışını anlamak amacı ile tarihi yapı çözümlenmiştir.

Çalışmada, kilisenin yapısal sistemi tanımlanmış, yapının zati ağırlık ve deprem yüklemesi altındaki davranışı incelenmiştir. Analizde tarihi yapının modellenmesi, yapının tüm taşıyıcı

elemanlarını içerecek şekilde, SAP2000 bilgisayar programı ile üç boyutlu, sekiz düğüm noktalı eleman kullanılarak yapılmıştır. Yapılan modelleme ile Panagia Ton Isodion Kilisesinin zati ağırlığı altındaki ve deprem yüklemesi altındaki davranışı oluşan yer değiştirmeler ve elemanlarda meydana gelen gerilmeler açısından incelenmiştir.

2. PANAGIA TON İSODİON KİLİSESİNİN TAŞIYICI SİSTEMİ

Panagia Ton Isodion Kilisesi, 19. yüzyılda inşa edilmiş olan diğer tüm Fener Rum Ortodoks kiliselerinde olduğu gibi bazilikal plan tipindedir. Kilise, doğu-batı doğrultusunda dikdörtgen planlı, doğuda eksende, yarım yuvarlak apsis çıkıntılıdır. Beş nefli naos, doğusunda orta nef ve iç yan nefler hizasında, içte yarım yuvarlak apsiler ile sınırlanmaktadır. Dış yan neflerin doğusu, üst kata çıkan merdivenin başlangıç noktasıdır. Naosun batısında bulunan revaklı tipteki narteks, kuzey-güney doğrultusunda dikdörtgen planlıdır. Narteksi avluda sınırlayan arkad, bir sıra sütun ve sütunları bağlayan yuvarlak kemerlerle düzenlenmiştir. Naos'ta, orta nef ile iç yan neflerin ayrımı, yedişer sütunun bulunduğu sıralar ile sağlanmıştır. Yan neflerin kendi içindeki ayrımı ise, paye biçiminde beşer taşıyıcının bulunduğu sıralar ile sağlanmaktadır. Yan nefler, orta neften bir basamak yüksektir. Doğuda, orta nef ve yan neflerde, ilk sütunlar hizasında belirlenen bema, orta neften iki basamak, yan neflerden bir basamak yüksektir.



Şekil 2. Panagia Ton İsodion Kilisesinin Taşıyıcı Sistemi.

Yapının ana taşıyıcı sistemi, dış cephedeki taşıyıcı sütunlar ve duvarlar, iç mekândaki taşıyıcı sütunlar, Soleas kısmında bulunan daire kesitli sütunlar, sütunları her iki yönde birbirine

bağlayan tonozlar, batı cephesindeki ana giriş Narteks’de bulunan kubbe, doğu cephesinde Ieron’da bulunan üç yarım kubbe olarak verilebilir. Binanın kuzeydoğu köşesinde bir çan kulesi ve güneydoğu köşesinde ise merdivenlerle çıkılan bir kule bulunmaktadır (Şekil 2). Kilisenin çatısı düz olup ahşap malzmeden yapılmıştır.

3. PANAGIA TON İSODION KİLİSESİNİN ANALİZİ

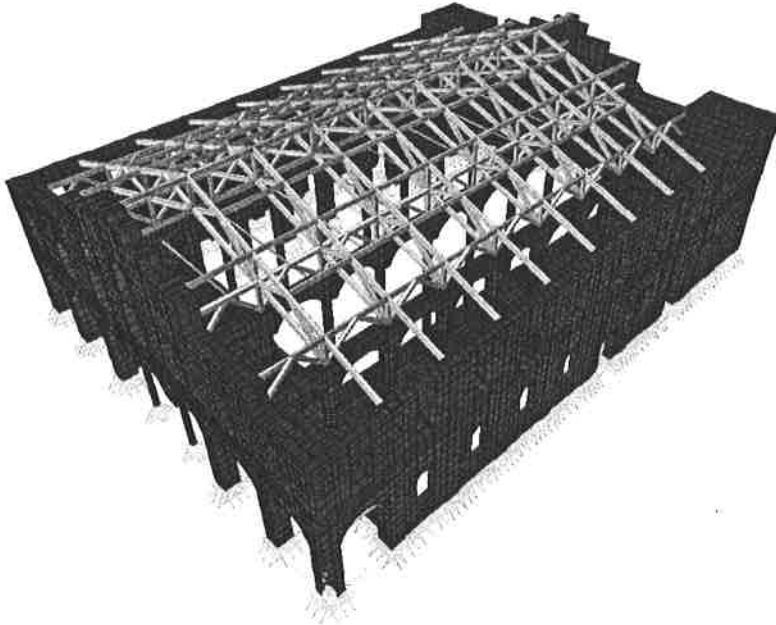
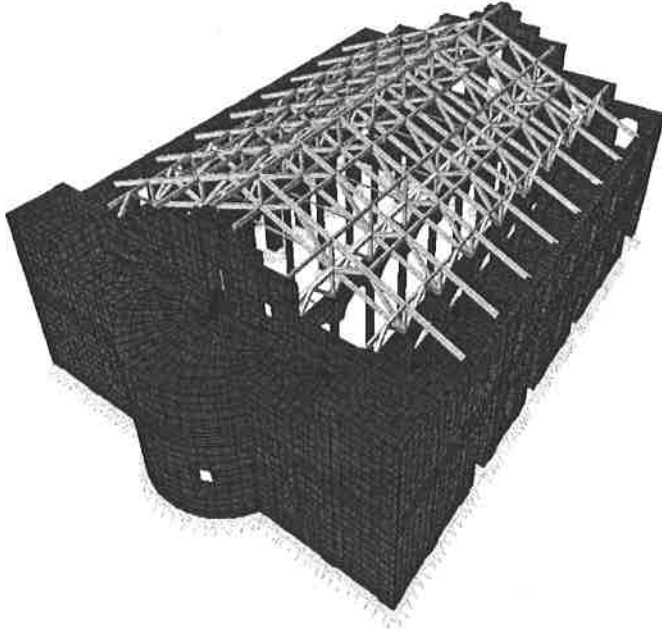
Çalışmada, kilisenin yapısal sistemi tanımlanmış, yapının zati ağırlık ve deprem yüklemesi altındaki davranışı incelenmiştir. Analizde tarihi yapının modellemesi, yapının tüm taşıyıcı elemanlarını içerecek şekilde, SAP2000 bilgisayar programı ile üç boyutlu, sekiz düğüm noktalı eleman kullanılarak yapılmıştır [3]. Modellemede, dış cephedeki taşıyıcı sütunlar ve duvarlar, iç mekandaki +0.00 kotundaki kare kesitli taşıyıcı sütunlar ve Soleas kısmında bulunan daire kesitli sütunlar, +4.82 kotunda kare kesitten daire kesite dönüşen sütunlar, sütunları her iki yönde birbirine bağlayan tonozlar, batı cephesindeki ana giriş Narteks’ de bulunan kubbe, doğu cephesinde Ieron’ da bulunan üç yarım kubbe dikkate alınmıştır. Yapının çatısı idealleştirilerek taşıyıcı sistemle birlikte düşünülmüştür. Soleas kısmında bulunan dairesel kesitli sütunların içinde (30cmx30cm) boyutlarında kare kesite sahip ahşap dikmeler olduğu ve ahşap dikmelerin harç malzemesi ile siva yapılmak sureti ile dairesel kesite dönüştürüldüğü izlenmiştir. Bu sebeple modelleme sırasında Soleas kısmında bulunan dairesel görünümlü sütunlar kare kesit olarak alınmış ve bu sütunları birbirine bağlayan gergi çubukları çubuk elemanla tanımlanmıştır. Ayrıca modelleme sırasında yapıdaki pencere boşlukları da dikkate alınmıştır. Yapının kuzeydoğu köşesinde bulunan çan kulesi ve güneydoğu köşesinde bulunan kule modellemede dikkate alınmamıştır. Taşıyıcı sistemin geometrisi, planda her kot için AUTO CAD yazılımı ile oluşturulmuş ve sonra SAP2000 programı içine aktarılmıştır. Sayısal çözümler için 501 çubuk eleman ve 30722 üç boyutlu elemandan oluşan sonlu eleman ağı tercih edilmiştir. Böylece, modellemede 47992 düğüm noktası ve 284139 sistem serbestlik derecesi dikkate alınmıştır. Sistemin üç boyutlu elemanla modellemesinin detayları Şekil 3’de verilmiştir.

Yapısal çözümleme farklı yük kombinezonları için gerçekleştirilmiştir. Bunlar SAP2000’deki gösterimi ile aşağıda verilmiştir.

$$G+Q, G+Q+Ex, G+Q-Ex, G+Q+Ey, G+Q-Ey \quad (1)$$

Burada G, Q, E sırası ile yapının kendi ağırlığını, hareketli yükü ve deprem etkisini göstermektedir. Hesaplarda hareketli yük Q, G sabit yük yanında çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

Çözümlemede malzemelerin birim hacim ağırlıkları, Elastisite Modülleri, basınç emniyet gerilmeleri, çekme emniyet gerilmeleri yazarların daha önceki çalışmalarında verildiği şekli ile kilisenin duvarlarından alınan numunelerle yapılan deney sonuçlarından elde edildiği gibi alınmış [4] ve yapısal çözümleme ile tahrik hesaplarında bu değerler kullanılmıştır. Poisson oranı ise tüm elemanlar için 1/6 olarak alınmıştır.



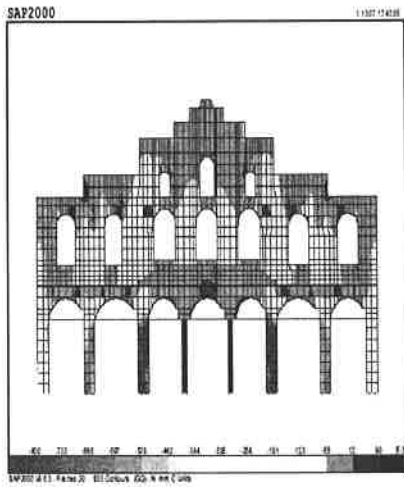
Şekil 3. Kilisenin Sonlu Eleman Modellemesi.

Yapılan dinamik hesap sonucunda yapının, x doğrultusundaki (yapının ön ve arka cephesindeki çatıya kadar yükselen üçgen duvarların hareketi) ve y doğrultusundaki (aradaki kare kesitli sütunlar ve (30cmx30cm) kare kesitindeki ahşap sütunları bağlayan kemerlerin zayıf yön hareketi) periyotları sırası ile $T_x=0.279$ saniye ve $T_y=0.232$ saniye olarak bulunmuştur. Yapısal çözümlerde deprem yükleri belirlenirken “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007) [5]” esas alınmış, buna göre statik deprem yükü katsayıları x ve y doğrultusunda 0.375 olarak hesaba katılmıştır. Bu değerler hesaplanırken, $A_0=0.30$, $S(T_1)=2.50$, $I=1$ ve $R_a(T_1)=2$ olarak göz önüne alınmıştır. Deprem hesabında göz önüne alınacak yapı ağırlığı 23018 KN olarak belirlenmiştir. Buna göre x ve y doğrultuları için 2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına uyularak belirlenen eşdeğer statik taban kesme kuvveti 8632 KN olarak hesaplanmıştır. Yukarıda verilen yük kombinasyonları için kesit tesirleri ve yer değiştirmeler elde edilmiş ve Panagia Ton Isodion Kilisesinin zati ağırlığı altındaki ve deprem yüklemesi altındaki davranışı incelenmiştir.

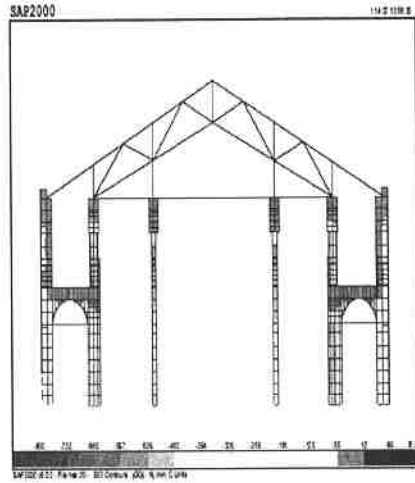
3.1. Düşey yükler altında oluşan düşey basınç gerilmesi ve çekme gerilmesi kontrolleri:

Panagia Ton Isodion Kilisesinin kendi ağırlığı altında elde edilen gerilme değerleri Şekil 4’de ve kontroller aşağıda verilmiştir.

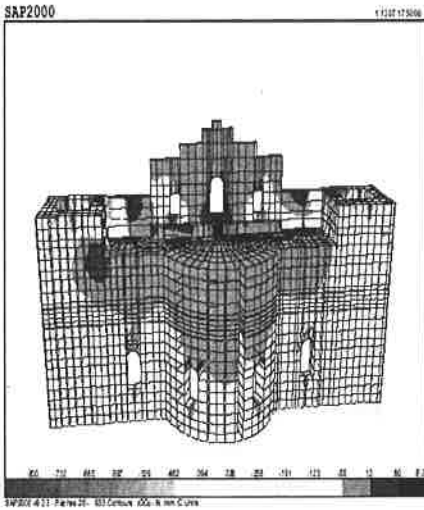
Yapının batı cephesinde yani ana girişteki kenar aks için (1 Aksı) ortada bulunan 2 kare kesitli sütunda basınç gerilmelerinin 0.85 N/mm^2 ve 2 mermer sütunda oluşan basınç gerilmelerinin 1 N/mm^2 mertebesinde olduğu ve ahşap sütunlar için basınç emniyet gerilmesi değerini yaklaşık %25 ($\sigma_{em}=0.80 \text{ N/mm}^2$) aştığı gözlenmektedir. Diğer noktalarda oluşan basınç ve çekme gerilmeleri sınır değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 4a). Yapının batı cephesinde bulunan kare kesitli sütunların bulunduğu 3 aksı için ahşap sütunların basınç gerilmesi 0.50 N/mm^2 mertebesinde olup sınır değerinin altındadır. Oluşan çekme gerilmeleri de sınır değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 4b). Yapının doğu cephesinde Ieron kısmında oluşan basınç gerilmelerinin basınç emniyet gerilmesi değerinden daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir. Ancak ufak kubbelerin üst kısmındaki duvarda oluşan çekme gerilmelerinin küçük bir bölgede 0.085 N/mm^2 mertebesinde olduğu görülmektedir (10 Aksı). Bu değer de sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 4c). Yapının güney cephesinde bulunan kenar aksta (A Aksı) basınç ve çekme gerilmeleri açısından bir problem görülmemektedir. Sadece kule tarafındaki üst kat pencere kenarında küçük bir bölgede oluşan çekme gerilmelerinin (0.085 N/mm^2) emniyet gerilmesini bir miktar aştığı gözlenmektedir (Şekil 4d). Yapının güney cephesi kenar aksına paralel bulunan kare kesitli sütunların bulunduğu B aksı için oluşan basınç gerilmeleri kadınlar mahfili kat hizasına yaklaşan kısımlarda $0.85\sim 0.9 \text{ N/mm}^2$ mertebelerine ulaşmaktadır. Bu gerilmeler, tuğla duvarlar için verilen sınır değer olan 1.00 N/mm^2 altında kalmaktadır. Çekme gerilmeleri de sınır değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 4e). Yapının Soleas kısmında bulunan ahşap sütunlar (C Aksı) için elde edilen gerilmeler incelendiğinde, oluşan en büyük basınç gerilmesinin 0.7 N/mm^2 mertebesinde kaldığı sadece kenarda bulunan sütunda basınç gerilmelerinin (yaklaşık 0.85 N/mm^2 değerinde) sınır değeri biraz aştığı gözlenmektedir. Ahşap dikmeler sadece kendi ağırlıklarını taşıdıklarından gerilmelerin küçük kaldığı anlaşılmaktadır. Bu sütunlarda çekme gerilmeleri açısından da problem oluşmamaktadır (Şekil 4f).



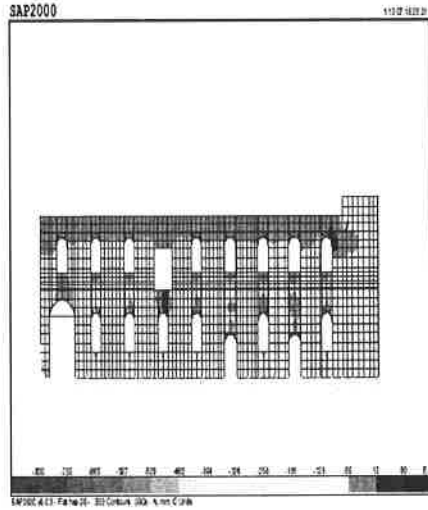
a) 1 Aksı



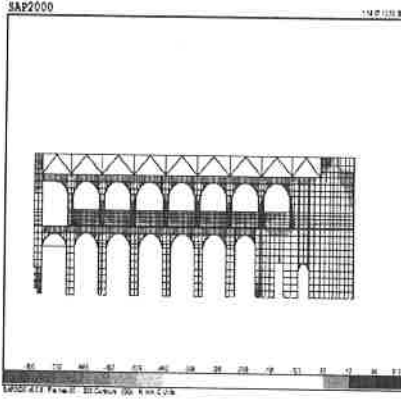
b) 3 Aksı



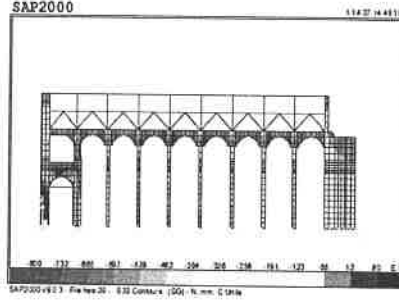
c) 10 Aksı



d) A Aksı



e) B Aksı



f) C Aksı

Şekil 4. Kendi Ağırlığı Altındaki Yüklerden Oluşan Gerilmeler.

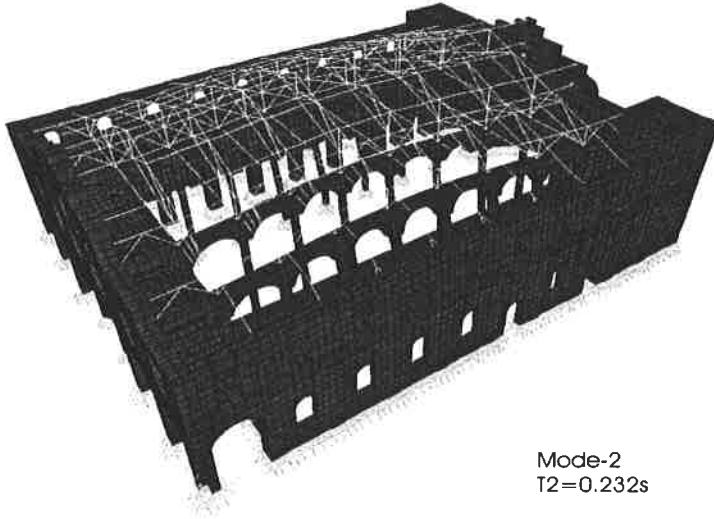
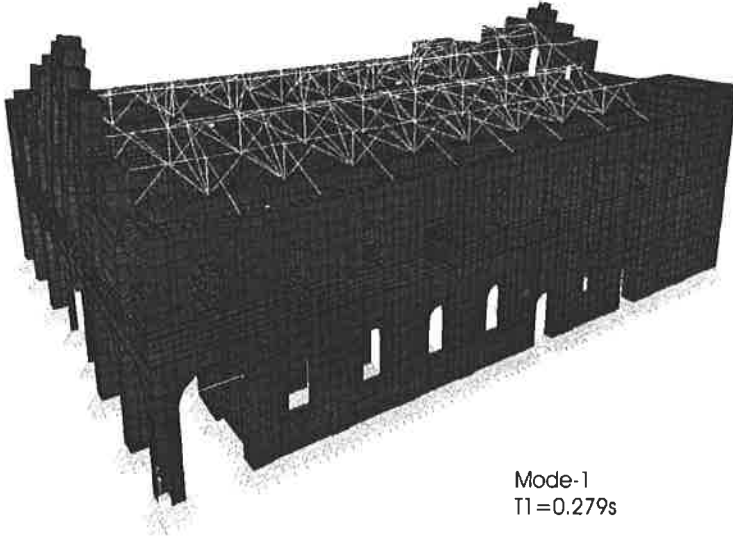
3.2. Deprem yüklemesi altında oluşan kayma gerilmeleri tahkikleri:

“2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [5] “de verilen hesap esaslarına göre yığma yapıların deprem yüklemesi altındaki gerilme kontrollerinin en önemli kısmını kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Deprem hesap yükünün duvarların yatay derzlerine paralel olarak oluşturduğu kayma gerilmeleri giriş katı seviyesinde (+1.365 kotunda) ve üst kat seviyesinde (+5.91 kotunda) hesaplanmıştır. Duvarlara gelen kesme kuvveti kat kesme kuvveti dikkate alınarak hesaplanmıştır. Duvara gelen deprem kuvveti duvar yatay enkesit alanına bölünerek duvarda oluşan kayma gerilmesi hesaplanmış ve duvar kayma emniyet gerilmesi ile birlikte Tablo 1’de verilmiştir. Kontroller yapılırken kullanılan duvar basınç emniyet gerilmesi 0.80 N/mm^2 ve duvar çekme emniyet gerilmesi ise duvar basınç emniyet gerilmesinin %10’u kadar yani 0.080 N/mm^2 olarak alınmıştır. Duvarın deprem hesabında çözümlene sonucu bulunan kayma gerilmesi ise $\tau_{em} = \tau_0 + \mu \sigma = 0.5 + 0.5 \sigma$ ifadesi ile hesaplanan kayma emniyet gerilmesi ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Deprem Yüklemesinden Duvarda Oluşan Kayma Gerilmeleri.

Kot ve Aks	Duvarda Oluşan Kayma Gerilmeleri (N/mm^2)	Kayma Emniyet Gerilmeleri (N/mm^2)
+5.91 Kotu, A Aksı	0.0292	0.039
+5.91 Kotu, F Aksı	0.0284	0.038
+5.91 Kotu, 1 Aksı	0.0365	0.049
+5.91 Kotu, 10 Aksı	0.0322	0.043
+1.365 Kotu, A Aksı	0.0940	0.125
+1.365 Kotu, F Aksı	0.0910	0.121
+1.365 Kotu, 1 Aksı	0.0820	0.110
+1.365 Kotu, 10 Aksı	0.0810	0.110

Tablodan duvarda oluşan kayma gerilmelerinin kayma emniyet gerilme değerlerinin altında kaldığı ve bu açıdan problem olmadığı gözlenmektedir. Yapının modal analizi sonucunda bulunan mod şekilleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Yapının Mod Şekilleri.

4. SONUÇLAR

Tarihi Panagia Ton İsoodion Kilisesi SAP2000 programı üç boyutlu sonlu eleman modeli kullanılarak kendi ağırlığı altında ve deprem yüklemesi altında çözümlenmiştir. Analizde tüm yapı üç boyutlu elemanla modellenmiştir. Sadece Soleas kısmında bulunan dairesel görünümlü sütunları birbirine bağlayan gergi çubukları ve yapının çatısı çubuk elemanla tanımlanmıştır. Yapının kuzeydoğu köşesinde bulunan çan kulesi ve güneydoğu köşesinde bulunan kule modellemede dikkate alınmamıştır.

Yapısal çözümleme sonuçlarının incelenmesi sırasında hem basınç hem de çekme gerilmeleri açısından yapının 2007 Deprem Yönetmeliğinde öngörülen hesap yöntemine göre belirtilen emniyet gerilmesi değerlerini aşmadığı gözlenmiştir. Bazı noktalarda oluşan gerilmelerin emniyet gerilme değerlerini aşma miktarı düşük yüzdelerde kaldığından yapıda basınç ve çekme gerilmeleri açısından bir olumsuzluk bulunmamaktadır. Kayma gerilmeleri ile ilgili +5.91 ve +1.365 kotları için yapılan hesaplamalardan görüleceği üzere oluşan kayma gerilmeleri de kayma emniyet gerilmelerinin oldukça altındadır.

Sonuç olarak yapının taş kısımları ile ilgili basınç, çekme ve kayma gerilmeleri açısından bir problem bulunmamaktadır. Yerinde yapılan gözlemlere dayanarak, sadece ahşap ve dökme demir gergi elemanların yapılacak restorasyon çalışması sırasında yenileri ile değiştirilmesi yapı güvenliği açısından uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Aleksandru, E., "19. Yüzyılda İstanbul Rum Ortodoks Kiliseleri", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul-1996.
- [2] Karaca, Z, "İstanbul Osmanlı Dönemi Rum Kiliseleri", Yapı Kredi Yayınları, Ankara, Türkiye-1994.
- [3] Wilson, E.L. ve H. Ashraf, "SAP2000, "Integrated Software for Structural Analysis and Design", User's Manual, Berkeley, California, USA: Computers and Structures Inc.-2003.
- [4] Aksu Özkul, T., M. Karagüler, O.İ. Ergüneş, Y. Kaya ve C.F. Pavlatos, "Static and Dynamic Analysis of Panagia Ton Isodion Church", SHHO7, Antalya, September 17-21, 535-542, 2007.
- [5] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Mart - 2007.

^a Prof. Dr. Tülay Aksu Özkul
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim Dalı
Maslak/İstanbul
E-mail: taksu@itu.edu.tr