

TARİHİ YIĞMA TÜTÜNSÜZ BABA TÜRBESİNİN MEKANİKSEL DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Mahmud Sami DÖNDÜREN¹, Atila DEMİRÖZ¹, Özlem ŞİŞİK¹

¹Konya Teknik Üniversitesi Müh ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, Edirne’de bulunan, 15.YY. ile 16.YY’da inşa edilmiş, Tütünsüz Baba türbesinin mekaniksel davranışları araştırılmıştır. Türbenin statik analizleri yapılarak, mevcut durumu değerlendirilmiştir. Yapılar Sap2000 V18 paket programında sonlu elamanlar modeli ile modellenerek çeşitli yükler altında oluşan kuvvetler ve gerilmeler hesaplanmıştır. Bu gerilmelere bağlı oluşan deformasyonlar belirlenmiştir. Hesaplanan deformasyon ve gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşip aşmadığı irdelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak makro modelleme yaklaşımı ile modellemeler yapılarak Sap2000 paket programı yardımıyla çözümler elde edilmiştir. Analiz sonuçlarında türbede oluşan asal gerilmeler değerlendirilmiş ve statik anlamda taşıyıcılık durumları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Yapılar, Tütünsüz Baba Türbesi, Yığma Yapı, Kemer, Güçlendirme

ABSTRACT

In this study, the 15th century in Edirne. The mechanical behavior of the tombless Tobacco Tomb, which was built in 16th century, was investigated. Static analysis of the tomb was performed and the current situation was evaluated. Structures were modeled in the Sap2000 V18 package with the finite element model and the forces and stresses under various loads were calculated. The deformations due to these stresses were determined. It is examined whether the deformations and stresses that are calculated exceed the safety stresses. By using finite element method, modeling is done by using macro modeling approach and solutions are obtained by using Sap2000 package program. In the results of the analysis, the main stresses in the tomb were evaluated and their carrier status was determined.

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar, üzerinde buldukları coğrafyanın sosyolojik, ekonomik, kültürel ve politik öğelerini bünyesinde barındırır. Zamanla hasara uğrayan tarihi yapılar inşa edildikleri dönemdeki yapımcı ustalığı sayesinde ayakta kalmayı başarmıştır. Bu yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için en uygun tekniğin belirlenmesi ve gerekli müdahalenin zamanında yapılması oldukça önemlidir.

Ülkemiz geçmişten günümüze kadar uzanan birçok medeniyetlerin tarihi özelliklerini taşıyan kaleler, surlar, camiler, köprüler, kiliseler gibi birçok tarihi yapıya sahiptir. Tarih öncesi çağlardan günümüze birçok önemli uygarlığın barındığı Anadolu, günümüzde tam olarak ortaya çıkarılmamış medeniyeti ve kavimleri ile dünya tarihine şahitlik etmiştir. Anadolu topraklarında uygarlık izleri bırakan, değişik kültürlerden kalan birçok eser, tarihi miras olarak bırakılmıştır. Bu tarihi mirasa ait yapılar doğal ve doğal olmayan birçok etkenlerden zarar görmektedirler. Tarihi eserler gelecek nesillere bırakacağımız en önemli mirastır. Bu nedenle tarihi eserleri korumak ve yaşatmak için bu eserlere ait bilgilerinin elde edilmesi gereklidir.

Cami ve türbe gibi yığma yapıların sayısal olarak modellenmesi ve gerçek davranışlarının belirlenmesi oldukça zordur. Bu tür yapıların taşıyıcı sistemlerinin geleneksel bina türü yapıların taşıyıcı sistemlerinden çok farklı olmaları nedeniyle ayrıntılar ve detaylar ön plana çıkmakta ve modellemeleri zorlaştırmaktadır. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemenin belirlenmesi için mevcut duvarları oluşturan bileşenler üzerinde kimyasal deneyler yapılmalıdır (Aköz, 2008). İlk başlarda toplama taşlar doğrudan harçla bağlanarak duvarlar örülmüştür. Daha sonraları taşlar işlenerek şekillendirilmiş ve böylece düzgün ve hatta estetik duvarlar inşa etmişlerdir (Akman, 2003). Taş yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı, genel olarak basınç dayanımının %25’i kadardır. Taşlarda genleşme çatlaklarına rastlanabilir. Bu durum, çekme gerilmelerinin, malzemenin çekme mukavemetini geçmesi halinde meydana gelir. Taşlarda, dış etkenlerden (sıcaklık değişimleri, rüzgâr, su...) kaynaklanan çatlaklar, aşınmalar ve bozulmalar meydana gelebilir (Ünay, 2002).

2.Yapısal Analiz İçin Oluşturulan Modellemelerde Kullanılan Parametreler

Tarihi binaların sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal analizlerinin sonuçlarının yorumlanması, günümüzün mühendislik teknolojileriyle üretilen yapıların hesaplarının yorumlanmasından biraz farklılık göstermektedir. Tarihi yapılardan örnek alınarak malzeme özelliklerini belirleyecek deneylerin yapılması her zaman mümkün olmadığından, hesap sonuçlarına göre yapı elemanlarının taşıyıcı kapasitelerinin tam olarak belirlenmesi bazen çok zordur. Yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesabında kullanılan parametreler aşağıda belirtilmektedir.

- A_0 (Deprem Bölgesi Katsayısı)= 0.1 (4.Bölge)
- Zemin Sınıfı ön görülmemişse DBYBHY gereğince $S(T)=2.5$ alınmıştır
- I (Yapı Önem Katsayısı)= 1.0
- R (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı)= 2

Malzeme örneği alma ve test etme olanağı bulunmadığından, yapı elemanlarının malzeme özellikleri benzer yapılar için daha önce yapılan çalışmalar sonucu üretilmiş ve uluslararası literatürde önerilen bağıntılardan yararlanılarak, yürürlükte olan Deprem Şartnamesinde yığma yapılar ve ahşap yapılar için önerilen değerler dikkate alınarak seçilmiştir. Taşıyıcı yığma duvar malzemesinin tanımlanmasında, yönetmeliğe göre duvar yapımında kullanılan kâgir birimlerin Elastisite Modülü, malzemenin karakter basınç dayanımının 200 katı yani,

$$E_d = 200 * f_d \text{ şeklinde verilmiştir. (7.1)}$$

TS 2510'a göre taşıyıcı duvarların yapımında kullanılacak doğal taşların basınç dayanımı 350 kgf/cm² den küçük olmamalıdır.

$$f_d = \text{serbest basınç dayanımı} * 0.5 \text{ (7.2)}$$

$$f_d = 0.5 * 350 = 175 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = f_d * 200$$

$$E = 175 * 200 = 35000 \text{ kg/cm}^2$$

2.1.Tütünsüz Baba Türbesi

Tütünsüz Baba Olarak bilinen Rıdvani Ahmet Bey II. Bayezid Devrinde defterdarlık görevinde bulunmuş, birçok şehirde sancakbeyliği yapmış bir devlet adamıdır. Kendisi aynı zamanda bir divan şairidir. Türbenin giriş kapsı üzerindeki kitabeye göre 1519 yılında vefat ettiği anlaşılmaktadır.

Bir hazire içerisindeki yapı, onikigen planlı ve üzeri kubbe ile örtülüdür. Bir sıra taş-üç sıra tuğla almasıyla inşa edilmiş kapalı bir türbedir. Kible yönünde yarım yuvarlak nişli bir mihrabı vardır. Giriş bu mihraba dik ve kuzey cepheadir. Girişin üzeri ahşap sundurmadır. Yapının içinde türbe mimarisinde ender karşılaşılan bir uygulama olarak kareye yakın dikdörtgen planlı, dışarıdan girişi olmayan mezar odası vardır. Bu mezarlık katına giriş, içerden alt kata inen merdivene açılan bir kapakla sağlanır. İki kat görüntüsü veren pencere dizileri ile aydınlık bir ortam oluşturulmuştur. Bir cephesinde altlı üstlü iki pencere, diğerinde tek olmak üzere atlamalı bir pencere sistemi vardır. İki penceresi olan cephelerde alttaki pencere dikdörtgen görünüşlü ve üzerindeki kemer aynalıdır. Bunun üzerindeki küçük pencere ise fil pencere şeklinde olup dekoratif bir görünüm vermektedir. Tek pencere bulunduğu cephelerde, pencereler bu fil pencere ile aynı hizadadır.

Yapı içerisinde mihrapta ve pencere aralarında yer yoğunlaşan kalem işleri geç dönem (Barok) özelliği göstermektedir. Yapının giriş kapısı üzerinde yer alan Arapça, istifli sülüs kitabesinde yapılan ebced hesabıyla, Rıdvani Ahmet Bey'in H.925 (M.1519) yılında vefat ettiği okunmaktadır. Yapıda bu tarihlere yapılmış olmalıdır. Plan şekli, yapı malzemesi ve inşa tekniği de bu döneme uygun düşerek bu görüşü destekler, Hazirede bulunan mezar taşları türbeden daha yeni tarihli olup H. 1125-1304 (M. 1713-1886) arasında değişir.

Tarihi Yığıma Tütünsüz Baba Türbesinin Mekaniksel Davranışının İncelenmesi

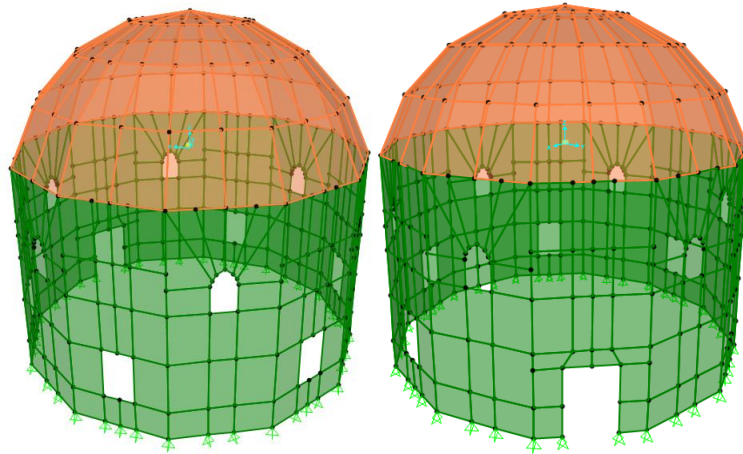


Şekil 1. Tütünsüz Baba Türbesinin restorasyon öncesi ve sonrası fotoğrafları (2005-2008)

2.1.1.Yapısal model ve analizler

Modellenme amacıyla SAP 2000 V18 sonlu eleman programı kullanılmıştır. Yapının duvarları esas olarak an az üç ana malzemeden oluşmaktadır, taş, tuğla ve harç (sıva). Ancak modellemede yapının genel davranışı söz konusu olduğu için taşıyıcı elemanların tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiş ve ilgili birim hacim ağırlığı, elastisite modülü ve Poisson oranı kullanılmıştır. Modelde yapısal çözüm iki defa ikincisi güçlendirme müdahalelerini de katarak bunların etkisini belirlemek için yapılmıştır.

Yapının röleve projesi esas alınarak, sayısal modelde duvar kalınlığı 1.0 m, kubbenin kalınlığı 0.3 m olarak tanımlanmıştır. Duvarın malzemesi taş, kubbenin malzemesi tuğla ve çekme çemberinin malzemesi de çelik olarak, malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Yapının taşıyıcı elemanları shell olarak modellenmiştir. Hazırlanan yapı modelinde 376 adet düğüm noktası kullanarak 296 shell (alan) oluşturulmuştur. Zemine aktarılan noktalarda 41 adet sabit mesnet tanımlanmıştır. Tütünsüz Baba Türbesine ait yapısal model Şekil 2’de verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarının, her bir düğüm noktasında ve her bir elemanda verilmesi oldukça zor olması nedeniyle elde edilen sonuçlar renkli gerilme dağılımları ve grafiklerle verilmiştir.

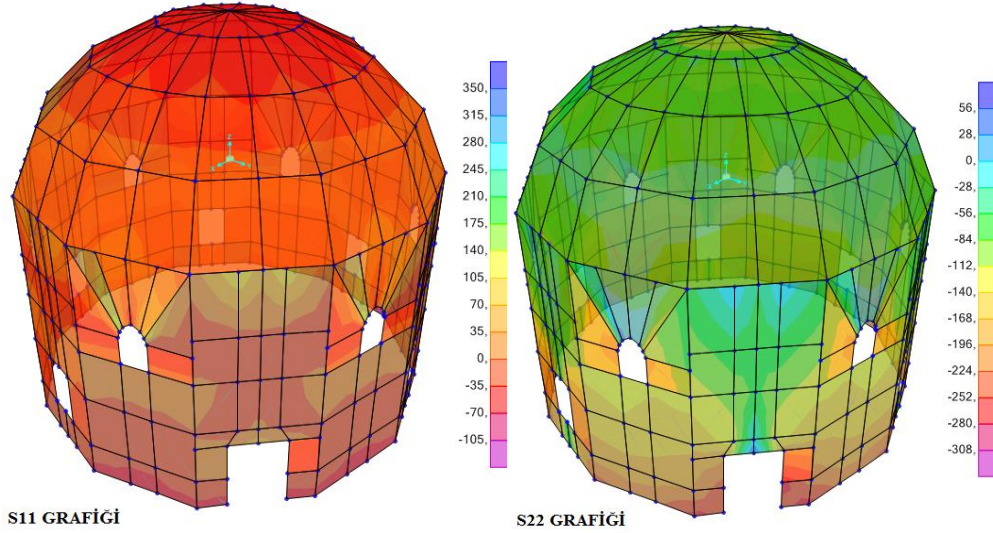


Şekil 2. Tütünsüz Baba Türbesinin yapısal modellenmesi

2.1.2. Ölü yükler altında yapının analizi

Yapı malzemelerinin birim hacim ağırlığı (γ), elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) tablo 7.2.’de hesaplanan değerler kullanılarak, yapının ağırlık etkisi göz önüne alınmıştır. Yapının ağırlığı $G= 7694.14$ kN’dur. Tütünsüz Baba Türbesi’nin üç boyutlu sonlu eleman modelinin kendi ağırlığı altında yapılan statik analizi neticesinde yapıdaki muhtemel gerilme dağılımlarına, şekil değiştirme değerlerine ulaşılmış ve çatlak oluşabilecek kritik yerler tespit edilmiştir. G yükü altında, yapıdaki en büyük yer değiştirme, kubbenin tepe noktasında düşey doğrultuda yaklaşık 3.94 mm olmaktadır. Bu analizde $R=2$ değeri kullanıldığı için elastik yer değiştirme $3.94 \text{ mm} \times 2 = 7.88 \text{ mm}$ olarak hesaplanmalıdır.

Tarihi Yığıma Tütünsüz Baba Türbesinin Mekaniksel Davranışının İncelenmesi



Şekil 3. G yüklemesi S11 (X doğrultusu) ve S22 (Y doğrultusu) gerilme dağılımı (kN/m²)

Yapının davranışını etkileyen G yüküne göre ayrı ayrı hazırlanan S22 ve S11 (çekme ve basınç) gerilme değerleri grafiği (Şekil 3) incelendiğinde, hesaplanan en elverişsiz basınç gerilmeleri S22 Grafiğinden 0.308 MPa ve en elverişsiz çekme gerilmeleri de S11 grafiğinden 0.305 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer de emniyetli kayma gerilmesi değerinin altındadır. Bu değer taş duvarların kayma emniyet gerilmesi değerini aşmamıştır.

2.1.3.Modal çözümleme

Spektral sismik çözümde sabit spektral katsayı $S(T)= 2.5$ ve etkili deprem katsayısı $A_0=0.1$ kabul edilmiştir. Deprem etkilerinin belirlenmesinde mod etkilerinin birleşimi yöntemi benimsenmiş ve tam karesel birleştirme yöntemi kullanılarak, yapının düşey ve deprem etkileri altında elastik davranışını elde etmek amaçlanmıştır. Bütün periyotlarda deprem yükü azaltma katsayısı $R= 2$ kullanılarak göz önüne alınmıştır.

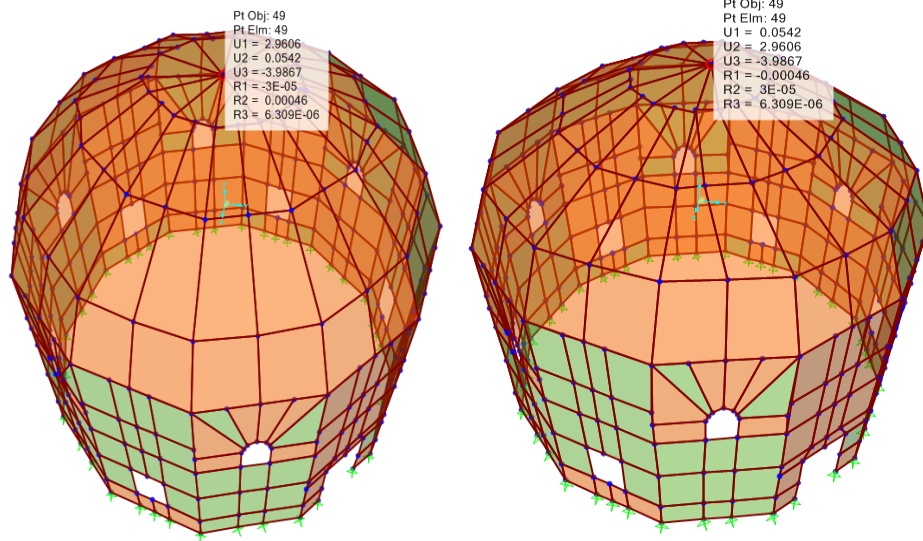
Modal çözümleme ile yapı sisteminin kütle ve rijitlik matrisleri kullanılarak, mod şekilleri ve periyotlar elde edilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı çerçevesinde DBYBHY 2007'ye göre yapıların dinamik analizi için hesaba katılacak yeterli titreşim mod sayısı, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmektedir. Modların süperpozisyonu gerçekleştirilirken istatistiksel yöntemlerden olan Kareleri Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi kullanılmıştır.

Tütünsüz Baba Türbesi sonlu eleman modelinin Sap2000 programında modal çözümlemesi yapılmıştır. Hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, bina toplam kütlelerinin %90'ından az olmamasının sağlanabilmesi için 120 tane mod şekli gerektiği görülmüştür. İlk 25 modta toplam kütle katılım oranı %70'e ulaşılıyor. Daha sonraki artış miktarları çok çok küçük olduğu için, model için 25 mod yeterli görülmüştür. Zaten elde edilen en yüksek doğal titreşim periyodu 0.142'dir ve bina oldukça rijittir.

2.1.4.G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri

Ölü yükler ile X ve Y doğrultusunda etki eden, deprem yükü azaltma katsayısı ($R=2$) ile azaltılmış deprem yükleri altında modal spektral çözümleme sonucu yapıda oluşan şekil değiştirmeler Şekil 4'de verilmiştir. G+E_x deprem yüklemesi X yönünde 2.96 mm yanıl ve 3.99 mm düşey ötelenme meydana getirmektedir. G+E_y deprem Y yönünde 2.96 mm yanıl ve 3.99 mm düşey ötelenme meydana getirmektedir. (Şekil 4) Yapılan analizler sonucunda, yapının statik durumunda en çok zorlanan bölümlerinin üst pencere boşluklarının kenarlarında ve kubbe ağırlığından dolayı beden duvarlarında olduğu tespit edilmiştir.

Tarihi Yiğma Tütünsüz Baba Türbesinin Mekaniksel Davranışının İncelenmesi



Şekil 4. Tütünsüz Baba Türbesi G+E_x ve G+E_y deprem yüklemeleri altındaki kubbenin yer değiştirmeleri (mm)

3.SONUÇLAR

Çalışma kapsamında incelenen, Tütünsüz Baba Türbesi, Osmanlı erken dönem mimari örneklerinden, kare planlı, üzeri tek hacimli kubbe ile örtülü tarihi yapılandıdır. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- **Tütünsüz Baba Türbesi:** Çekme çemberi ile üç bölgeden güçlendirilen yapıda oluşan en büyük gerilmeler çekme çemberi öncesi ve sonrası olmak üzere sırasıyla, maksimum basınç gerilmesi 0.308 MPa/0.270 MPa, maksimum çekme gerilmesi 0.960 MPa/0.540 MPa, maksimum kayma gerilmesi 0.220 MPa/0.180 MPa olarak hesaplanmıştır. Yapının Ocak 2017 itibariyle mevcut durumu incelenmiş, özellikle kuzey cephelerinde, zeminden yaklaşık 1-2 m yüksekliğe kadar rutubetlenmenin olduğu, yer yer beden duvarlarını oluşturan taşlarda dökülme ve ayrışmaların olduğu saptanmıştır. Bunun dışında kubbenin beden duvarlarıyla birleştiği bölgelerde ve pencere, kapı boşluklarında çatlaklara rastlanmamıştır. Bu durum, statik hesaplarda çıkan yüksek gerilme değerlerine rağmen, yapının hala stabilitesini koruduğu yönünde yorumlanabilir. Ancak zemin içerisindeki su yükselme hareketinin önüne geçilerek, bina etrafına drenaj yapılması binanın stabil durumunun devamı için gerekli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akman. M. S. (2003). "Yapı Malzemelerinin tarihsel gelişimi." Türkiye Mühendislik Haberleri 426.
- Aköz. A. H. (2008). DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ TARİHİ YIĞMA YAPILARIN ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Dabanlı. İ. M. M. Ö. (2008). "TARİHİ YIĞMA YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ"
- Ünay. P. D. A. (2002). Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. Türkiye. YEM.