

Tarihi Miralay Şerif Bey Konağının Malzeme Özelliklerine Bağlı Dinamik Davranışlarının Karşılaştırılması

Müslüm KILINÇ^{*1}, Erdal VURAL², Nurullah TOPKARAOĞLU³

^{*1} Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, KAYSERİ
² Amasya Üniversitesi Merzifon Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, AMASYA
³ Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KAYSERİ

(Alınış / Received: 27.11.2022, Kabul / Accepted: 19.10.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2023)

Anahtar Kelimeler

Tarihi yapılar,
Sonlu elemanlar yöntemi,
Sayısal modelleme,
Dinamik analiz

Öz: Tarihi ve kültürel miras açısından toplumlar için önemli olan yapıların gelecek kuşaklara kullanılabilir bir şekilde aktarılması amacıyla günümüz teknolojisinde kullanılan gelişmiş sensörler ile yapıya zarar vermeden frekans ve mod gibi yapının dinamik davranışları belirlenebilmektedir. Bu veriler yardımı ile yapının geometrisi ve malzeme özellikleri birleştirilerek doğru sayısal modeller oluşturulup yapılarda hasar tespiti yapılabilmektedir ve sonrasında ise gerekli tedbirler alınarak yapının servis ömrü uzatılabilmektedir. Bu çalışmada, Yozgat'ta 1890'larda inşa edilen Miralay Şerif Bey konağının sonlu elemanlar metodu yardımı ile sayısal modellenmesi yapılarak yapının dinamik analizi yapılmıştır. Çalışmada yerinde yapılan ölçümler sonucunda yapının boyutlar geometrisi ve malzeme özellikleri belirlenerek yapının sayısal modeli oluşturulmuştur. Yapıya ait malzeme özellikleri her kat için diğer katlardan bağımsız bir şekilde izotropik ve anizotropik malzeme olarak belirlenmiştir. Tanımlanan modellerin dinamik analizinin tamamlanmasının ardından yapı dinamik parametrelerinden mod şekilleri ve frekans değerleri hesaplanarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak farklı malzeme özellikleri ile oluşturulan modellerden elde edilen yapıların dinamik parametrelerinin belirgin şekilde değiştiği tespit edilmiştir.

Comparison of Dynamic Behaviors of Historical Miralay Şerif Bey Mansion Based on Material Properties

Keywords

Historical structures,
Finite element method,
Numerical modeling,
Dynamic analysis

Abstract: For the purpose of passing on the structures that are important for societies in terms of historical and cultural heritage to future generations in a healthy condition, dynamic behaviors of structures such as frequency and mode can be determined with advanced sensors used in today's technology without damaging the structure. By combining these data with geometry and material properties of structures and creating accurate numerical models, structural damages can be determined, and then service life of structures can be extended by taking necessary precautions. In this study, dynamic analysis of the Miralay Şerif Bey mansion, which was built in Yozgat in 1890s, was made by numerical modeling with finite element method. First, geometry of the structure along with its dimensions was determined and a numerical model was created with a realistic estimation of material properties. Material estimates were made for each floor as isotropic and anisotropic materials regardless of the other floors. After completing dynamic analysis of defined models, mode shapes and frequency values were calculated from the dynamic parameters of the structure and necessary comparisons were made. Consequently, It is determined that the dynamic parameters of the structure obtained from the numerical models created with different material properties change significantly.

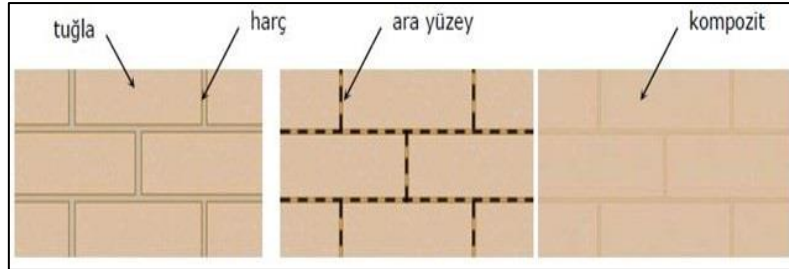
*Corresponding Author, e-mail: kilinc@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Tarihi yapılar, kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasını sağlayan ve tüm insanlığın ortak değeri olarak nitelendirilen yapılardır. Bu mirasın geleceğe güvenle aktarılması amaçlanmalıdır. Bunun için tarihi yapıların tarihi ve işlevsel özelliklerine bağlı olarak korunması, bakımı, onarımı ve güçlendirilmesi gereklidir. Özellikle yapıya zarar vermeden bu işlemlerin yapılması çok önemlidir ve gelişen teknoloji ile birlikte yapıya zarar vermeden analiz yapmak mümkündür [1].

Tarihi yapıların güvenli bir şekilde uzun yıllar boyunca ayakta kalabilmesi için bu yapıların özellikle deprem ve rüzgar gibi dinamik yükler etkisi altındaki davranışlarının bilinmesi gerekmektedir. Yapıların dinamik yükler altındaki davranışlarının bilinmesi ancak yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi ile mümkündür. Bu dinamik parametreler yapının periyodu ve doğal frekansı, mod şekilleri ile sönüm oranıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi yapının sayısal olarak modelinin oluşturulması ve ardından yapılacak dinamik analiz ile mümkündür. Yapının dinamik davranışını belirleyen bu parametreler yapıların tasarımında önemli yer tutan dinamik yüklerin hesaplanmasında ve önceden oluşturulmuş sayısal modelin güncellenerek daha uygun bir yapı modeli oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Bu dinamik parametreler yapının yapıldığı malzemenin özelliklerine, yapısal özelliklere, hasar durumuna ve sınır şartlarına bağlıdır. Yapı modeli oluşturulurken yapının geometrisi ölçümlerle belirlenmektedir fakat yapı malzemesinin özellikleri zamanla değişmektedir [1].

Tarihi yığma yapıların modellenmesinde en önemli husus yapıda taşıyıcı olarak görev yapan yığma duvarların modellenmesidir. Yığma yapıların sayısal olarak tasarımı malzemenin ve modelleme yöntemlerinin farklılığı sebebiyle geleneksel betonarme veya çelik taşıyıcı sisteme sahip bir yapının modellenmesine göre farklıdır. Yığma yapıların sayısal olarak modellenebilmesi için detaylı ve basitleştirilmiş mikro modelleme ile makro modelleme gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Detaylı mikro modellemede yapının taşıyıcı elemanı olan duvarın yapıldığı malzemenin mekanik özellikleri ayrı ayrı tanımlanır. Bu modelleme de çatlakların malzeme ile harcın arasındaki yüzeyde oluşacağı varsayılır. Basitleştirilmiş mikro modellemede birbirine komşu iki malzeme ile harç arasında kütle yoğunlaştırılması yapıldığı ve çatlakların yaklaşık olarak ara yüzeyde oluşacağı kabul edilerek harcın Poisson oranı yok sayılır. Makro modellemede ise malzeme ile harç beraber ve kompozit bir şekilde çalıştığı varsayılır. Bu yöntem genel olarak büyük yapılarda kullanılır. Yığma yapıların modelleme teknikleri Şekil 1'de gösterildiği gibidir [1].



Şekil 1. Yığma Yapı Modelleme Yöntemleri

Ayrıca tarihi yığma yapıların modellenmesi hem yapıyı oluşturan elemanların geometrik ölçülerindeki hem de yapıda kullanılan malzemelerdeki farklılıklar sebebiyle geleneksel taşıyıcı sisteme sahip yapılara göre daha karmaşıktır. Bu nedenle bu yapıların modellenmesinde yapıyı çok sayıda küçük parçalara bölerek çözümleme fikrine dayanan sayısal bir çözüm yöntemi olan Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) kullanılmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde elle çözülmesi çok karmaşık ve zor olan mühendislik problemleri SEM ile çözüme kavuşturulmaya başlanmıştır. Bu yöntemde ilk önce sayısal çözümü yapılacak olan yapı küçük parçalara bölünerek elemanlara ve düğüm noktalarına ayrılır. Sonra her bir elemanın fiziksel davranışları ayrı ayrı tanımlanır. Tüm yapının yaklaşık denklem sistemini oluşturabilmek için düğümlerdeki elemanlar şekil fonksiyonları yardımı ile birleştirilir. Düğümlerde bilinmeyenleri içeren denklem sistemleri çözülür ve seçilen elemanlardaki bilinmeyen değerler hesaplanır [2].

Tarihi yapılarda bir diğer önemli husus ise bu yapıların bakımı, onarımı ve güçlendirilmesi sırasında yapıya bir zarar verilmemesidir. Gelişen teknoloji ile yapıya zarar vermeden yapının mevcut durumu ve durumunda yaşanan değişiklikler Yapısal Sağlık İzleme (YSİ) ile anlık takip edilebilir. Yapısal sağlık izleme genellikle köprü ve gökdelen gibi daha fazla dinamik yüke maruz kalan yapılarda uygulansa da bu izleme işlemi tarihi yapılarda da uygulanarak yapıların dinamik davranışı belirlenebilir. Ayrıca gerektiği takdirde yapı tekrardan modellenebilir veya mevcut model güncellenebilir. Yapısal sağlık izleme ile dinamik parametrelerin belirlenmesi sismik titreşim ivmeölçerler ile mümkündür. İvme değerleri sismik ivmeölçerler ile belirlenir ve elde edilen verilerin analizi yapılarak yapının dinamik parametrelerin tahmini yapılır. Bu parametreler ışığında da yapının dinamik davranışı belirlenmiş olur.

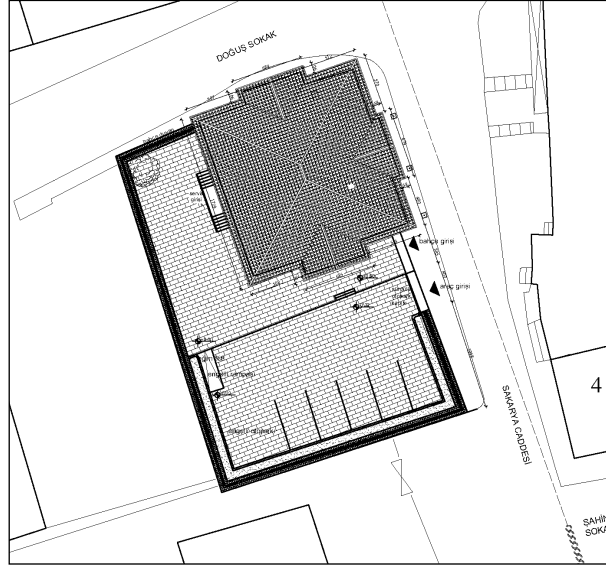
Bu yöntem yapıya ek olarak titreşim kuvveti verilmediği gibi herhangi bir yıkıma ve kalıcı hasara neden olmadığı için ayrıca çok pahalı ve kullanılması karmaşık cihazlara gerek duyulmamasından dolayı günümüzde tercih edilen bir yöntemdir. Yapı sadece çevresel (ortamsal) titreşimden (yapı çevresindeki yaya ve trafik hareketi, rüzgar ve deprem gibi yatay yükler gibi) etkilenmekte ve yapının bu titreşimlere verdiği tepkiler ölçülebilmektedir. Yapının verdiği bu tepkilere göre yapı dinamik parametreleri belirlenebilir.

Tarihi yapıların modellenmesi ve dinamik parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili ülkemizde ve dünyada çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Tarihi Lala Paşa Camii'nin statik ve dinamik davranışı sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Bu inceleme esnasında deprem yönetmeliği, malzeme özellikleri ve bilgisayar programlarından faydalanmışlardır. Statik analizde tarihi yapının kendi ağırlığı ile beraber şehrin iklimsel özelliklerinden dolayı kar yükünü kullanmışlardır. Dinamik analizde ise bölgeye yakın bir konumda 1992 yılında meydana gelen Erzincan depreminin ivme değerlerinden faydalanmışlardır. Yapının programda sayısal modelinin tamamlanmasından sonra yapılan statik analiz sonucunda yapıda en fazla zorlanan bölgenin pencere ve kapı kenarları olduğu belirlenmiştir. Dinamik analiz sonucunda yapının frekans ve mod şekillerinin bulunması ile yapıda ana kubbenin daha fazla zorlandığı sonucuna varılmıştır [3]. Tarihi Roma amfi tiyatrosu ve Canegliano katedralinde yapıların davranışlarını yüksek güvenle belirlemek amacıyla yapılar yaklaşık bir yıl boyunca izlenmiştir. Amfi tiyatro da ivmeölçerler aracılığıyla titreşim verilerini ve incelenen çatlakların yer değiştirmesini tespit etmek için bir yapısal sağlık izleme sistemi kurulmuştur. Katedrale ise farklı bir sistem olan optik izleme sistemi ile çatlakların genişliğini değerlendirilmiştir. Yapıları en iyi şekilde değerlendirmek, korumak ve belirsizlikleri azaltmak için istatistiksel modeller ve hasar tespit algoritmaları geliştirilerek uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda yapıda hasarın yol açtığı değişiklikler tahmini olarak hesaplanmıştır [4]. İki farklı yapı malzemesi kullanılarak inşa edilmiş kubbelerle sahip iki tarihi caminin dinamik parametreleri sismik ivmeölçerlerle hesap edilmiştir. Bu çalışmada camilerden biri yığma yapı olup kubbesi yığma tuğla ile yapılmıştır. Diğer cami ise betonarme bir kubbeye sahiptir. Her iki yapıda çevresel titreşime tabi tutulmuş ve yapıların doğal frekans değerleri, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda betonarme kubbeye sahip caminin diğer camiye göre daha yüksek frekans değerlerine sahip olduğu hesaplanmıştır [5]. 2009 yılında İtalya'da meydana gelen depremden etkilenen tarihi bir kilisenin zarar seviyesini tespit etmek ve yapının depreme karşı gösterdiği tepkinin test edilmesi amaçlanmıştır. Yapı yaklaşık olarak iki yıl boyunca statik ve dinamik açıdan incelenmiştir. Depremden kaynaklanan yer hareketi ve ortamsal titreşimler ivmeölçer vasıtasıyla izlenmiştir. Frekans bölge ayrıştırması yöntemini kullanarak yapının dinamik parametrelerinin ve deformasyonlarının yapıda herhangi bir titreşim etkisi oluşturan bir kuvvet vermeden hesaplanmıştır [6]. Tarihi Şinik taş kemer köprüsünün hem 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturularak hem de çevresel titreşimden yararlanılarak Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile yapının doğal frekansı, sönüm oranı ve mod şekilleri gibi dinamik davranışı belirleyen parametrelerin hesaplanması amaçlanmıştır. Deneysel ölçümler esnasında üç eksenli ve tek eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Sonuç olarak teorik ve deneysel modal analiz sonucunda ilk mod şekillerinin birbirini desteklediği ve ilk modun enine doğrultuda ötelenme olduğu belirlenmiştir. Fakat teorik ve deneysel modal analiz sonucunda yapıda oluşan frekansların birbirleriyle uyumlu olmadığı görülmüştür [7]. Bir başka çalışmada tarihi Tağar köprüsü sonlu elemanlar yöntemi ile modellendikten sonra doğrusal ve doğrusal olmayan sismik analizler yapılmıştır. Sismik etki oluşturmak amacıyla 1992 yılında gerçekleşen Erzincan depreminin ivme kayıtları dikkate alınmıştır. Yapıda gözlenen ilk çatlaklar, köprü kemerinin ve kemerin yan duvarının temel ile birleşen kısımlarında meydana gelmiştir. Köprü'nün titreşim hareketi nedeniyle sonradan yeni çatlak bölgeleri oluşmuş ve bu çatlaklar köprü içerisinde büyüyerek devam etmiştir [8]. Taş kemer köprülerin deprem anındaki dinamik davranışını belirlemek amacıyla Erzurum Kireçli köprüsü incelenmiştir. Köprü üzerine yerleştirilen ivmeölçer ile çevresel titreşimler kullanılarak yapının frekansları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Yapının sonlu elemanlar modeli oluşturularak yapılan modal analizi sonucunda yapının doğal frekansları ve mod şekilleri hesaplanarak deneysel yöntem ile karşılaştırılmıştır. Model iyileştirilmesi yapılarak sonlu elemanlar modeli üzerinde 1992 Erzincan depremi kaydı kullanılarak analizler yapılmıştır [9]. Tarihi taş kemer köprülerin doğal frekanslarını belirlemek için deneysel bir bağıntı geliştirmek amacıyla geometrisi farklı tarihi niteliğe sahip 30 adet taş kemer köprü belirlenmiştir. Seçilen köprüler önce sonlu eleman yöntemi ile modellenmiş ve modal analiz yapılarak doğal titreşim frekansları ile mod şekilleri belirlenmiştir. Daha sonra bu köprülerin geometrik boyutlarıyla doğal frekansları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla boyutlara bağlı frekans hesabı için deneysel bir bağıntı ortaya konulmuştur. Elde edilen deneysel bağıntının tek açıklıklı kemer köprülerin frekans değerlerinin tahmininde gerçek ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [10]. Dongjiang Kemer Barajı'nın dinamik parametrelerini belirlemek amacıyla barajın etrafına çeşitli patlayıcı maddeler yerleştirilerek yapı titreştirilerek barajın bu titreşimlere verdiği tepkiler belirlenmiştir. Çalışmada deneysel analizler ile yapının sonlu elemanlar metodu kullanılarak hazırlanan modeli üzerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma ile deneysel analiz ve sonlu eleman modeli üzerinden yapılan analiz sonuçlarının birbirine uyumlu olduğu tespit edilmiştir [11]. Tarihi yapıların deprem etkisi altındaki davranışının modelleme yaklaşımlarına göre belirlenmesi amacıyla Bursa Ulu Camii makro modelleme tekniği kullanılarak dört farklı şekilde modellenmiştir. Modeller sonlu elemanlar yöntemine göre oluşturulmuş ve dinamik analiz ise zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. 1. modelde minarenin tüm elemanları eksiksiz dikkate alınmıştır. 2. modelde merdiven, 3. modelde hem merdiven hem de kapı pencere boşluğu yoktur.

4. modelde ise merdivenli, kapı pencere boşluksuz, şerefesiz ve düz külahlı olarak modellenmiştir. İvmeölçerler kullanılarak yapıdan alınan titreşim kayıtları ile yapının dinamik özellikleri belirlenmiş ardından sayısal ve deneysel modeller karşılaştırılarak model iyileştirme yapılmıştır. Daha sonra yapıda hem modal analiz hem de 1999 Kocaeli Depreminde alınmış ivme değerlerine göre deprem analizi yapılmıştır. Sonuç olarak mod şekilleri incelendiğinde, bütün modellerin benzer modal davranış gösterdikleri görülmektedir. Sadece doğal titreşim periyotları dikkate alındığında merdivenli sistemde merdivensiz sisteme göre daha yüksek doğal titreşim periyodu olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebinin yapının kütlede meydana gelen artıstan kaynaklı olabileceği düşünülmüştür [12]. 17. yüzyılda inşa edilmiş La Iglesia de la Compañía de Jesus kilisesinde yapılan güçlendirmenin uygunluğunun doğrulanması amacıyla yapıyı sonlu elemanlar yöntemi ile modelleyerek seçilen bölgelerden titreşim verileri alınmıştır. Ortam titreşimleri Hybrid Bridge Evaluation System kurularak kaydedilmiş ve veriler dönüştürücü ile toplanıp bilgisayara aktararak işlendikten sonra frekans-domain ve time-domain metodlarını içeren bir yazılım ile işlenen verilerden yapının doğal frekansları ve mod şekilleri belirlenmiştir. 1998 yılında yapılan onarım çalışmasından sonra elde edilen frekanslar, 1999 yılında yapılan güçlendirme çalışmasından sonra elde edilen frekanslar, SAP2000 programında analitik olarak sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen yapının analizi sonucu elde edilen frekanslar ve 2001 yılında yapılan titreşim testi sonucu ivmeölçerler ile alınan kayıtların işlenmesinin ardından yazılım ile belirlenen frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yapının onarımdan sonra yapılan güçlendirme ile yapının rijitliğine bağlı olarak frekanslarının arttığı gözlemlenmiştir [13]. Tarihi St. Sergius -Bacchus kilisenin mevcut durumu ve dayanıklılığının tespiti amacıyla çoğunlukla tuğla taş ve harçtan inşa edilen yapının malzeme testleri yapılmış, yapının geometrisinin ölçülerek planlarının hazırlanmasının ardından hasarlı bölgeler tespit edilerek yapı sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek analizi yapılmıştır. Yapı üzerinde tespit edilen çatlaklar ile hesaplamalar sonucu tahmin edilen çatlaklar karşılaştırılarak eşleştirilmiştir. Ayrıca yapıyı tanımlamak için serbest titreşim ölçümleri yapının galeri katı seviyesinde ve kubbe halkasında yapılmıştır. Titreşimler sonucu elde edilen verilere göre beş adet frekans değeri ve mod şekli hesaplanmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre yapının restorasyonuna ve güçlendirilmesine başlanmıştır [14]. 1748-1755 yılları arasında inşa edilen tarihi Nur-u Osmaniye Camii'nin deprem yükleri altındaki davranışını ve dinamik parametrelerini belirlemek amacıyla yapı içerisine titreşim kayıtlarını elde edebilmek için gerekli cihazlar yerleştirilerek titreşim verileri kaydedilerek veri analizi yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen hâkim frekanslar ve mod şekilleri belirlenmiştir. Tarihi yapılarda kullanılan hasarsız test tekniklerinden olan Operasyonel Modal Analiz tekniği ile 2 adet sayısallaştırıcı ve 7 adet 3-Eksenli ivmeölçer kullanılarak yapıdan serbest titreşim kayıtları alınmıştır. İvme kayıtları kullanılarak hesaplanan Fourier ve güç spektrumu analizleriyle ana eksenler doğrultusunda 6 adet mod ve serbest titreşim frekansları elde edilmiştir. Elde edilen dinamik verilere göre ilk iki frekansın her iki doğrultudaki ötelenme şeklinde ve üçüncü frekansın burulma şeklinde ortaya çıkması nedeniyle yapı taşıyıcı sisteminin ve dinamik davranışının oldukça iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapının kible doğrultusundaki davranışın, kibleye dik doğrultudaki davranışına göre daha rijit olduğu sonucuna varılmıştır [15]. Tarihi yapıları korumak ve bu yapılarda hatalı uygulamaları azaltmak amacıyla yapılan çalışmada malzeme özelliklerinin en uygun şekilde belirlenmesi ve uygulamalar ile ilgili birtakım öneriler verilmiştir. Bu sebeple incelenen yapıdan laboratuvarında gerçekleştirilecek testler için ahşap, harç ve sıva malzemesi olmak üzere toplam 8 adet numune alınarak kimyasal ve mineralojik analiz testleri yapılmıştır. Teste yapılan harç ile sıva numunelerinde karbonat, sülfat, ve fosfat tuzlarına rastlanılmamıştır. Fakat klorürün var olduğu belirlenmiştir. Tüm numunelerde proteinin bulunması, harcın bağlayıcılığını arttırmak için organik bir malzeme kullanıldığını göstermektedir. Yapının dış cephe yüzeylerinde mineral sıvanın kaldırılması ve onun yerine sıva uygulanması ayrıca ahşap malzemenin dayanıklılığını yitirdiği kısımlarda ise kullanılan malzemenin aynı türden malzeme ile değiştirilmesi önerilmiştir [16]. Tarihi yapılarda oluşan hasarların tespitinin yapılması bu yapıların korunumu için önem arz ettiğinden hasarsız test yöntemleri kullanılarak Sevilla'da bulunan Tabernacle Şapeli sonlu elemanlar metodu ile değerlendirilmiştir. Çalışmada Dijital görüntü işleme, infrared termografisi, lazer seviyelendirme, ortam titreşim testleri ve yer radarı gibi yeni teknolojik yöntemler kullanılmıştır [17]. Porto Torres'teki (Sardinya, İtalya) en önemli Roma Hamamı olan "Re Barbaro" Sarayı'nın yerinde testleri ve yapısal analizlerinin yapıldığı çalışmada lazer tarayıcı, yüzey radar testleri, ses testleri, kızılötesi termografi testleri ve fiberskop incelemeleri gerçekleştirilerek toplanan veriler, sonlu elemanlar yapısal modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır [18].

Bu çalışmada Yozgat ilinin Merkez ilçesinde Aşağı Nohutlu mahallesinde imarda 9 pafta 261 ada 4 parselde bulunan Miralay Şerif Bey Konağı dinamik açıdan incelenmiştir. Miralay Şerif Bey Konağı dönemin kaynakları ve Başbakanlık Osmanlı arşivlerine göre 1890 yılında dönemin alay komutanı Miralay Şerif Bey tarafından inşa ettirilmiştir. Daha sonra 1924 yılı içerisinde Türkiye Cumhuriyeti kurucusu Gazi Mareşal Mustafa Kemal Atatürk ve eşi Latife Hanım Anadolu'daki resmi gezilerine çıktıklarında Miralay Şerif Bey Konağı'nda da istirahat etmişlerdir. Önceleri Ankara İl Özel İdaresinin kontrolünde bulunan konağın kullanma hakkı Yozgat İl Özel İdaresine devredilmiştir. Başlarda muallim mektebi olarak kullanılan konak, ardından hastane olarak hizmet vermiş olup, yapının zemin katı izcilik kurulu, üst katlar ise anaokulu olarak da kullanıldıktan sonra artık günümüzde yapı Kalkınma Bakanlığına bağlı olan Orta Anadolu Kalkınma Ajansının Yozgat ilindeki ofisi olarak varlığını sürdürmektedir.

Yapının elemanlarından üst salon ve çatı katındaki döşeme ile tavanlar önceleri ahşap iken 1959 yılında sökülerek betonarme bir yapıya dönüştürülmüştür. Zemin ve 1. kat döşemeleri ise 1989 yılında yapılan tadilat çalışmaları ile betonarmeye çevrilmiştir. Bu tadilatlar sonucunda yapının iç kısmında o dönemin özellikleri tamamen yok olmuştur. Fakat dış cephede hiçbir değişiklik yapılmamıştır. 2014 yılında Kalkınma Bakanlığına bağlı Orta Anadolu Kalkınma Ajansı tarafından yapıyı eski haline getirmek, döşeme ve tavanları tekrardan ahşap olarak inşa etmek amacıyla başlatılan tadilat 2017 yılında sona ermiştir. İç Anadolu'nun diğer geleneksel tarihi konaklarında da olduğu gibi bu tarihi yapıda dışarıdan iç kısımlara doğru sokak, bahçe, sofa ve oda sıralamasına göre inşa edilmiştir. Yapının güneyi ile batısı bahçeye, kuzeyi ve doğusu yola bakmaktadır. Konak biri zemin kat olmak üzere toplamda üç kattan oluşmaktadır. Güneyinde ve batısında iki giriş kapısı vardır. Konağın ana yapı malzemesi taştır ve tamamen yığma taş tekniği kullanılarak inşa edilmiştir. Yapının cephelerinde moloz taş, kesme taş ile harman tuğlası kullanılmış ve kat seviyeleri taş silmelerle belirlenmiştir [19]. Şekil 2 ve Şekil 3'de Miralay Şerif Bey konağının vaziyet planı ile restorasyon öncesi, sırası ve sonrası görünüşleri verilmektedir.



Şekil 2. Miralay Şerif Bey Konağı Vaziyet Planı



Şekil 3. Miralay Şerif Bey Konağı Restorasyon Öncesi, Sırası ve Sonrası Görünüşleri

2. Materyal ve Metot

Çalışmaya konu olan Miralay Şerif Bey konağının sayısal modellemesi ve analizi SEM kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda yapının modellenmesi ve analizi solid elemanlar kullanılarak yapılmıştır [2]. Tarihi yapıların yüzyıllar önce inşa edilmiş olması ve bundan kaynaklı özellikle bu yapılarda kullanılan malzemelerde ve yapı geometrisinde yaşanan belirsizliklerden dolayı bu çalışmada Miralay Şerif Bey konağının farklı malzemeler kullanılarak ve farklı şartlar altında 4 farklı durum için sayısal modeller oluşturulmuştur. Bu modellerde mekanik özellikleri ve davranışları doğrultuya ve yöne göre değişmeyen izotropik malzemelerden beton ve çelik yapı malzemelerinin kullanımı ile mekanik özellikleri ve davranışları doğru ve yöne göre farklılık gösteren anizotropik

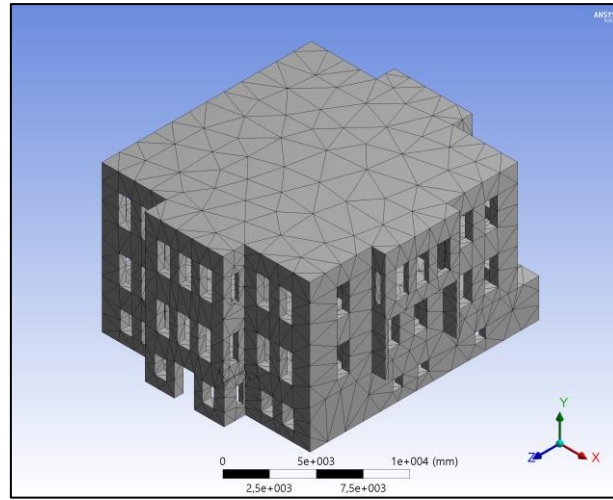
malzemelerden ahşap yapı malzemesinin kullanımı tercih edilmiştir. Bilgisayar programı ile modellenen dört farklı yapı modelinde dikkate alınan parametreler aşağıda verilmektedir.

- Tek Tip Yapı Malzemesi Kullanılarak Oluşturulan Yapı Modelleri
- Farklı Tip Yapı Malzemeleri Kullanılarak Oluşturulan Yapı Modelleri
- Yapının Katlarında Farklı Beton Sınıfları Kullanılarak Oluşturulan Yapı Modelleri
- Yapının Duvar ve Döşemelerinde Farklı Beton Sınıfları Kullanılarak Oluşturulan Yapı Modelleri

Yukarıda bahsedilen 4 modelde de kullanılan ortak parametreler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Sonlu elemanlar modelinde kullanılan ortak parametreler		
Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı	Minimum Eleman Boyutu (mm)
26112	13474	10,00

Şekil 4’de temeli sonlu elemanlar metoduna dayanan bilgisayar programında modellenen Miralay Şerif Bey konağına ait yapının sonlu elemanlar modeli verilmiştir.



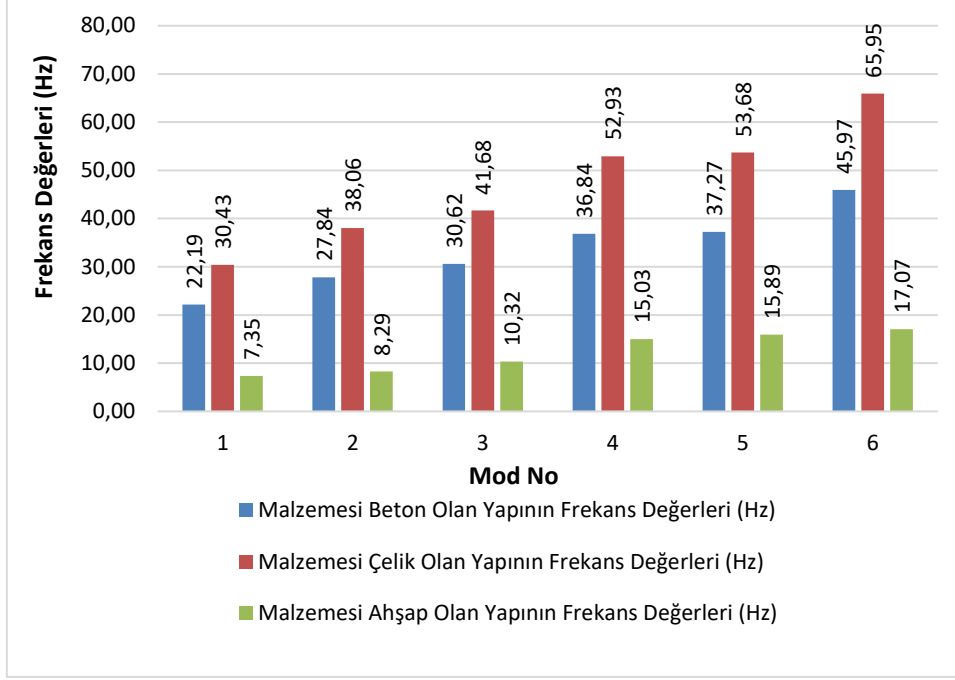
Şekil 4. Miralay Şerif Bey Konağı Sonlu Elemanlar Modeli

3. Bulgular

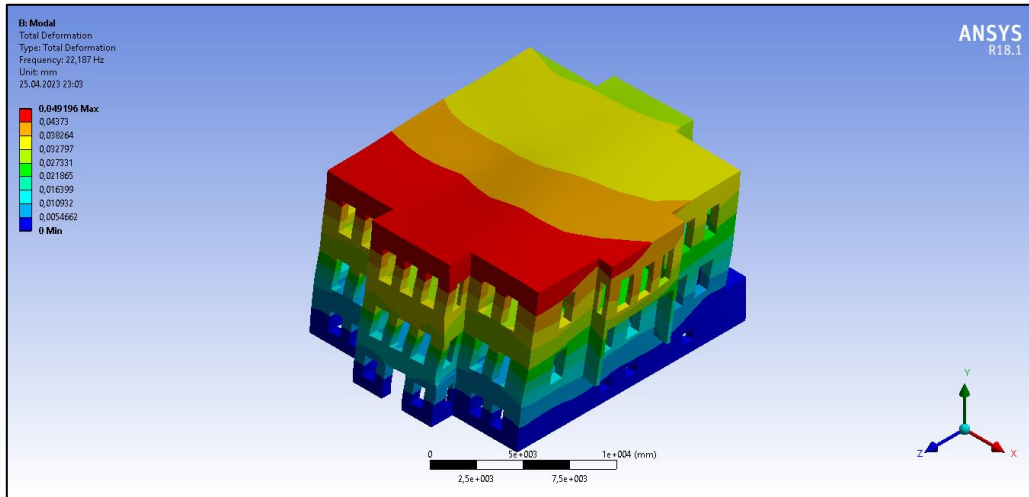
Sonlu elemanlar modeli tamamlanan Miralay Şerif Bey konağının dinamik davranışını belirleyebilmek için yapının sınır şartları belirlenmiş ve dinamik (modal) analiz yapılmıştır. 4 farklı model üzerinde yapılan analizler sonucunda yapının dinamik davranışını belirleyen en önemli parametrelerden olan yapının doğal frekansı ve mod şekilleri belirlenmiştir. Modellerde 6 adet frekans değerine karşılık gelen 6 adet mod şekli belirlenmiştir. Fakat ilk 3 mod şeklinin deprem anında baskın mod şekilleri olacağından bilinmesinden dolayı bu çalışmada mod şekilleri incelenirken ilk 3 adet mod şekli dikkate alınmıştır. Aşağıda 4 farklı model üzerinde yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen doğal frekans değerleri verilmiştir.

3.1 Tek tip yapı malzemesi kullanılarak oluşturulan yapı modelleri

Yapının modellenmesi aşamasında tüm yapıda tek bir yapı malzemesinin kullanılması tercih edilmiştir. Bu malzemeler izotropik malzemelerden beton ve çelik ile anizotropik malzemelerden ahşap olmak üzere 3 farklı yapı malzemesi kullanılarak 3 farklı yapı modeli elde edilmiştir. Bu şekilde yapı modellerinin oluşturulmasındaki amaç yapıda kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin ve davranışının doğrultu ve yöne göre değişip değişmemesinin yapının dinamik davranışına olan etkisini incelemektir. Çünkü özellikle yüzyıllar önce inşa edilmiş tarihi yapılarda günümüzdeki yapı modellerinin aksine daha çok mekanik özellikleri ve davranışları doğrultu ve yöne göre değişmeyen anizotropik malzemeler tercih edilmiştir. Tablo 2’de verilen frekans değerlerine göre izotropik malzemelerin anizotropik malzemelere göre daha rijit olması frekans değerlerini artırmış ve bu durumdan dolayı deprem esnasında yapılan salınım hareketinin daha kısa süreceği sonucuna varılmıştır. Modellerin analizi sonucu oluşan ilk 3 mod şekline de beklenildiği gibi ilk iki mod şekli her iki doğrultuda ötelenmenin oluşacağı, üçüncü mod şekli ise burulma etkisi olarak ortaya çıkacağı gözlemlenmiştir.

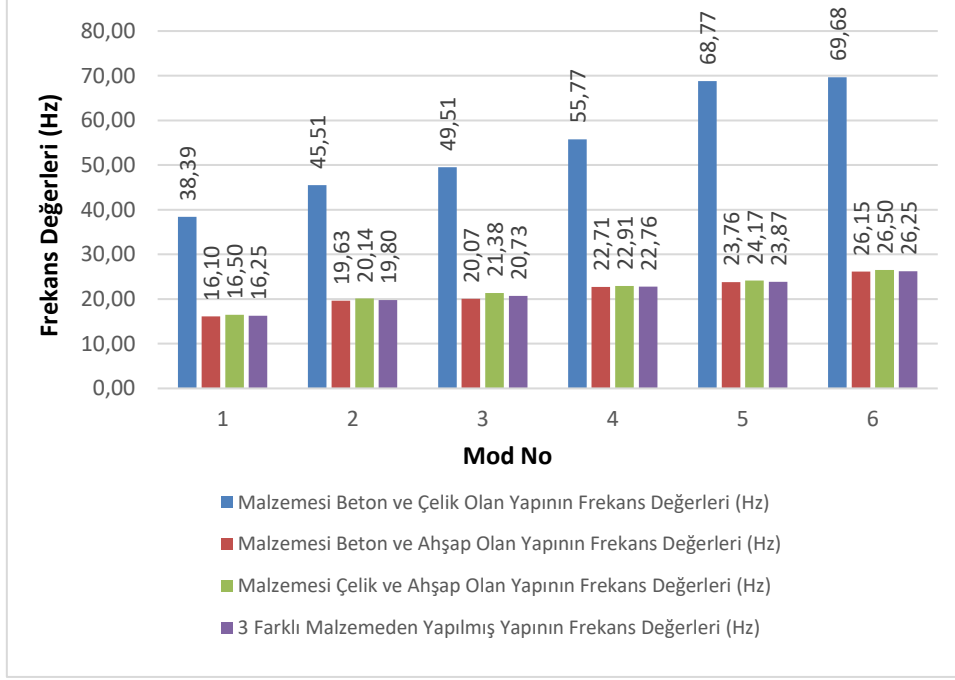
Tablo 2. Tek tip yapı malzemesi kullanılarak oluşturulan yapı modellerinin frekans değerleri

Malzemesi beton olan yapı modelinin dinamik analizi sonucunda oluşan 1. mod şekli aşağıda Şekil 5'de verilmektedir.

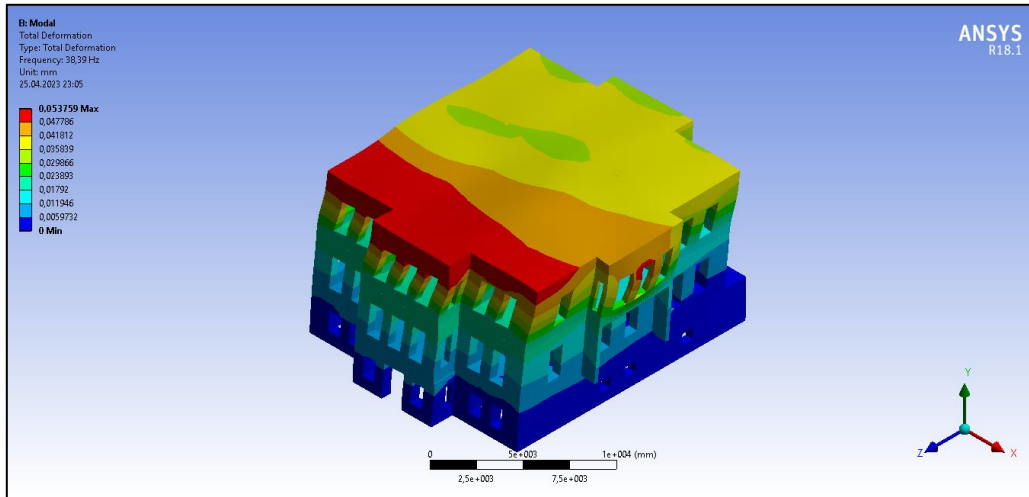
**Şekil 5.** Tek Tip Yapı Malzemesi Beton Olan Modelin 1. Mod Şekli

3.2 Farklı tip yapı malzemeleri kullanılarak oluşturulan yapı modelleri

Tek tip malzeme ile modellenen yapılardan farklı olarak birden fazla malzeme bu modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Burada yapının alt kısmındaki iki katında da rijitliği fazla olan malzeme kullanılırken, yapının en üst katında ise daha az rijit olan malzeme kullanılmıştır. Örneğin yapının zemin ve birinci katı beton malzemesi ile modellenirken ikinci katı ise ahşap malzemesi ile modellenmiştir. Aynı şekilde beton ile çeliğin ve çelik ile ahşabın da kullanıldığı modeller de bulunmaktadır. Ayrıca üç farklı malzeme türünün de rijitliklerine göre farklı katlarda kullanıldığı modelde mevcuttur. Yapılan analizler sonucunda Tablo 3' de görüleceği gibi ahşap rijitliği beton ve çeliğe göre daha az olan bir malzeme olduğu için kullanıldığı yapının frekans değerini düşürmektedir. Bu durumun tam tersi olarak çelik ise rijitliğinin diğer malzemelere göre fazla olması sebebiyle kullanıldığı yapının frekansını artırmaktadır. Mod şekilleri ise tek tip malzeme ile üretilen modellerde olduğu gibi ilk 2 mod şeklinde ötelenme üçüncü mod şeklinde burulma hareketi göstermektedir.

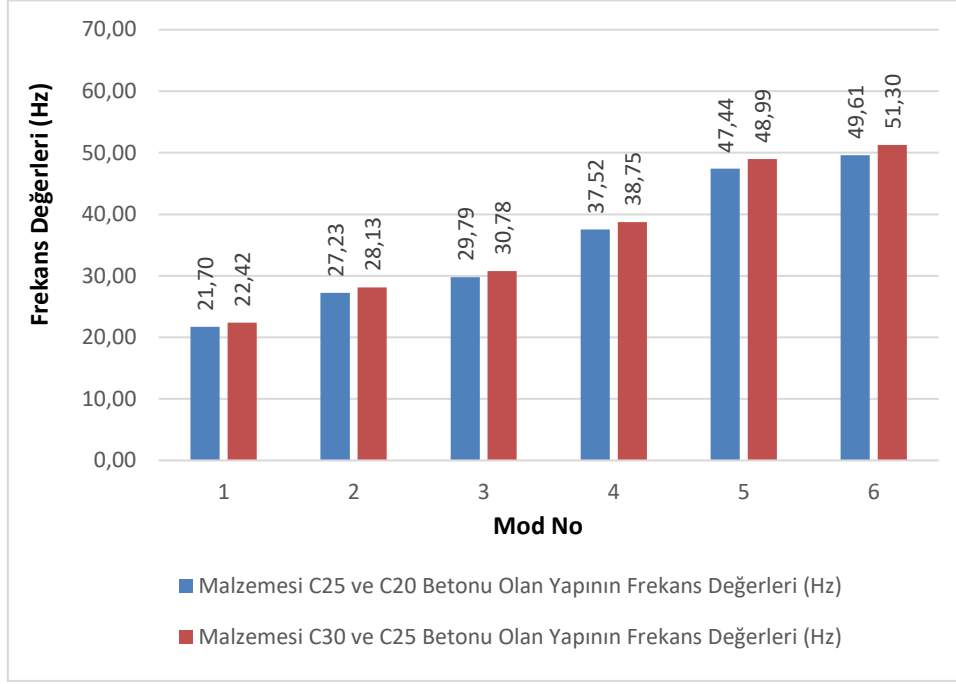
Tablo 3. Farklı tip yapı malzemeleri kullanılarak oluşturulan yapı modellerinin frekans değerleri

Beton ve çelik malzemesi kullanılarak modellenen yapının dinamik analizi sonucunda oluşan örnek 1. mod şekli aşağıda Şekil 6'da verilmektedir.

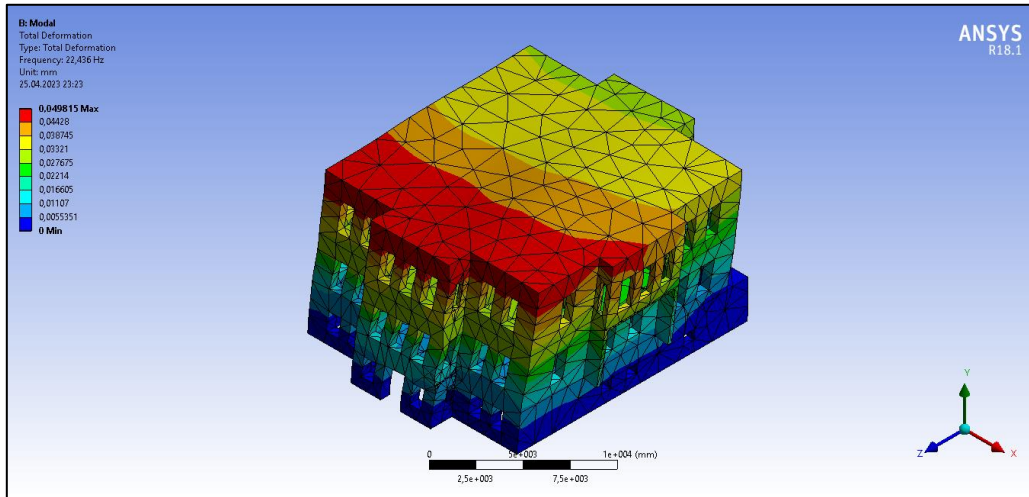
**Şekil 6.** Farklı Tip Yapı Malzemesi Beton ile Çelik Olan Modelin 1. Mod Şekli

3.3 Yapının katlarında farklı beton sınıfları kullanılarak oluşturulan yapı modelleri

Bu bölümde üç farklı elastisite modülüne sahip beton sınıfı modellerde farklı katlarda kullanılmıştır. Elastisite modülü fazla olan beton zemin ve birinci katta kullanılırken, elastisite modülü daha az olan beton ikinci katta kullanılmıştır. Örneğin elastisite modülü 32000 MPa olan C30 betonu zemin ve birinci katta kullanılarak ve elastisite modülü 30000 MPa olan C25 betonu ikinci katta kullanılarak yapı modellenmiştir. Aynı şekilde elastisite modülü 28000 MPa olan C20 betonu da modellerde tercih edilmiştir. Tablo 4'den de anlaşılacağı gibi kullanılan malzemenin elastisite modülü arttıkça yapı modellerinin frekansları artmakta fakat bu artışın kullanılan malzemelerin elastisite modülleri arasında çok farkın olmaması nedeniyle düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Bu durum yine de elastisite modülünün artışına bağlı olarak deprem anında yapının daha kısa sürede salınım yapmasına neden olacaktır. Mod şekilleri ise diğer modellerde olduğu gibi ilk iki mod şeklinde ötelenme üçüncü mod şeklinde burulma hareketi göstermektedir.

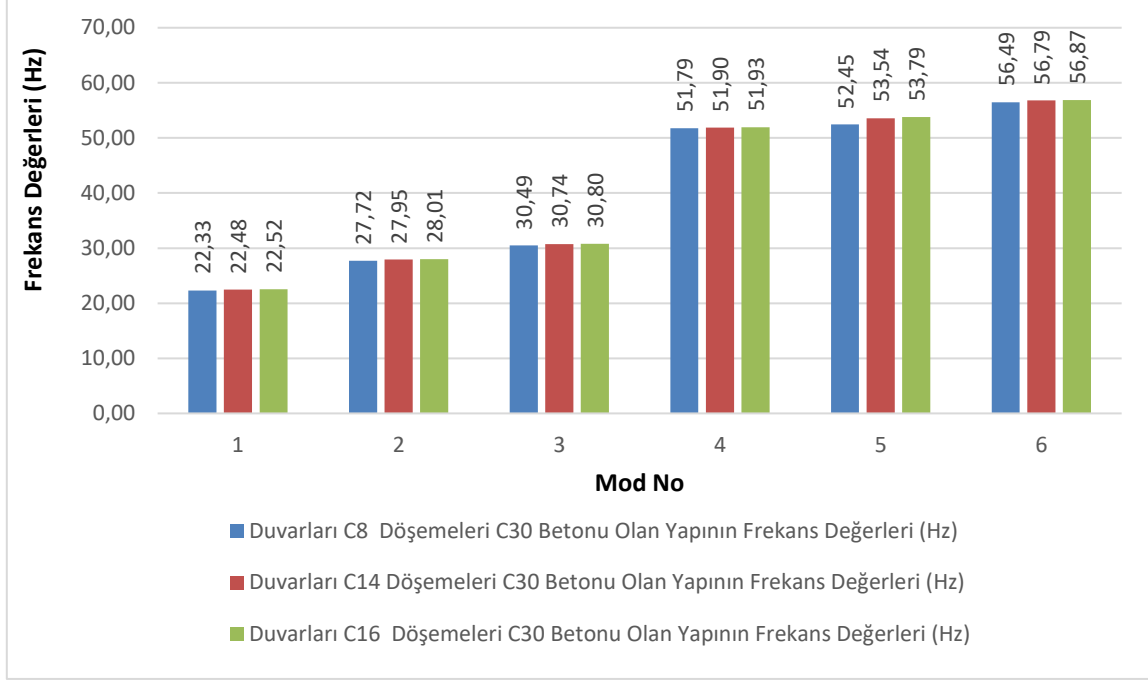
Tablo 4. Yapının katlarında farklı beton sınıfları kullanılarak oluşturulan yapı modelleri

Yapının katlarında C25 ve C30 betonu kullanılarak modellenen yapının dinamik analizi sonucunda oluşan 1. mod şekli aşağıda Şekil 7'de verilmektedir.

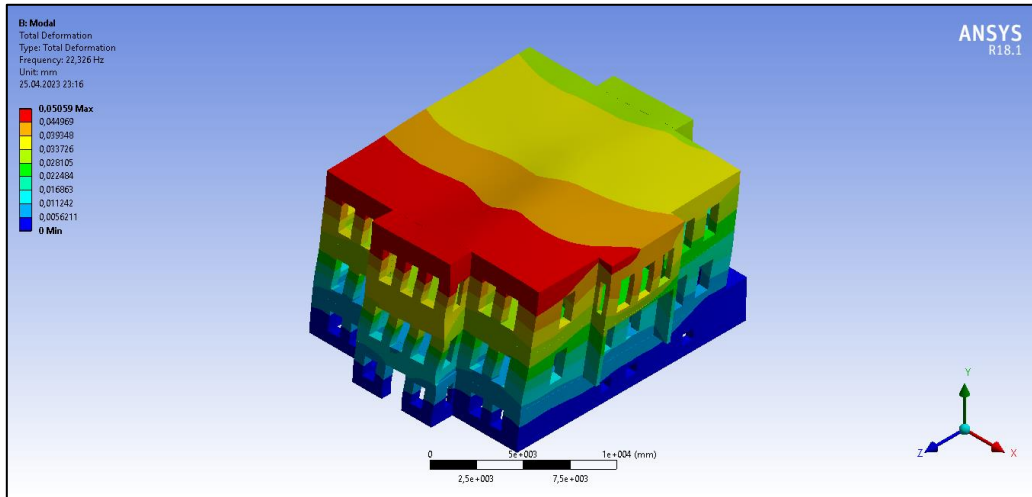
**Şekil 7.** Yapının Katlarında Farklı Beton Sınıfları Kullanılarak Oluşturulan Modelin 1. Mod Şekli

3.4 Yapının duvar ve döşemelerinde farklı beton sınıfları kullanılarak oluşturulan yapı modelleri

Bu aşamada ise elastisite modülü çok düşük beton ile elastisite modülü daha yüksek olduğu bir betonun yapıda beraber uygulanmasının yapının frekans ve mod şekillerinde meydana gelecek değişikliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için bazı duvarlarda elastisite modülü çok düşük olan C8 betonu, C14 betonu ile C16 betonu kullanılırken döşemelerde ise tamamen C30 betonunun kullanılarak üç farklı yapı modellenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5'de verilmektedir. Analiz sonucuna göre elastisite modülü ve rijitliği düşük olan beton sınıfının yapıda kullanılması yapının deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Mod şekillerinde ise diğer modellere göre herhangi bir değişiklik yoktur.

Tablo 5. Duvar ve döşemelerde farklı beton sınıfları kullanılarak oluşturulan modellerin frekans değerleri

Yapının duvar ve döşemelerinde farklı beton sınıfı kullanılarak modellenen yapının dinamik analizi sonucunda oluşan 1. mod şekli aşağıda Şekil 8'de verilmektedir.

**Şekil 8.** Yapının Duvar ve Döşemelerinde Farklı Beton Sınıfları Kullanılarak Oluşturulan Modelin 1. Mod Şekli

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada tarihi özellikleri ve işlevsel yönü nedeniyle medeniyetler için önemli olan tarihi yapıların korunması, gelecek nesillere aktarılması ve yapısal sağlığın takip edilebilmesi için ele alınan Yozgat'ta 1890 yılında inşasının tamamlandığı tahmin edilen, günümüze kadar birçok defa tadilat görmüş ve kullanım amacı değiştirilmiş üç kattan oluşan Miralay Şerif Bey konağının sonlu elemanlar metodu ile sayısal olarak modellenmiş ve dinamik analizi yapılmıştır. Yüzyıllar önce inşa edilmiş tarihi yapıların geometrisinde ve kullanılan malzemelerinde yaşanan değişimler düşünülerek ele alınan yapının 4 farklı durumda farklı şekillerle modellenmesi yapılmıştır. Bu yapı modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler sonucunda oluşturulan yapı modellerinin dinamik parametrelerinden olan frekans değerleri hesaplanmış ve mod şekilleri belirlenmiştir. Bu dinamik parametreler yapının özellikle deprem ve rüzgar gibi dinamik yükler etkisi altındaki davranışını belirlemektedir.

Dinamik analizler sonucunda yapıda kullanılan malzemenin rijitliği arttıkça frekans değerinin artacağı ve periyot değerinin azalacağı gözlemlenmiştir. Çalışmada da görüldüğü gibi izotropik malzemelerin rijitliğinin anizotropik malzemelerin rijitliğine göre daha fazla olması sebebiyle izotropik malzemelerin kullanıldığı yapı modellerinde daha yüksek frekans değerlerinin olduğu görülmüştür. Rijitliği daha az olan anizotropik malzemenin (ahşap) farklı malzemeler kullanılarak oluşturulan yapı modellerinden de görüldüğü gibi yapının sadece tek bir katında

kullanılması halinde bile frekans değeri azalmaktadır. Bu durumda anizotropik bir malzemenin yapının taşıyıcı elemanlarında kullanılması halinde olabilecek bir deprem anında yapı daha fazla salınım yapacaktır. Diğer modellerde de görülebileceği gibi elastisite modülünün artması da rijitliği artıracığından dolayı elastisite modülü büyük olan beton veya çelik gibi bir malzemenin yapıda kullanılması da frekans değerini artıracaktır. Tam tersini düşünecek olursak, yine modellenen yapılarda da görüldüğü gibi yapının taşıyıcı elemanlarını etkileyen herhangi bir deprem sonrasında yapıda elastisite modülü ve rijitliği düşen bir elemanın oluşması halinde yapının frekansı azalacak ve periyodu artacaktır. Bu durum depremin sonrasında oluşabilecek başka bir deprem veya artçı sarsıntılarda yapının daha fazla salınım yapmasına neden olabilir. Yapıların taşıyıcı sistemlerinin inşası aşamalarında gerekli beton teknolojisi kurallarına uyulmaması halinde yapının bazı taşıyıcı elemanlarının dayanımı diğer taşıyıcı elemanların dayanımına göre daha az olabilmektedir. Yapılan yapı modellerinin analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi bu gibi durumlarda yapının herhangi bir elemanın beton dayanım sınıfının diğer elemanlara göre daha düşük olması yapının deprem gibi yatay ve dinamik yükler karşısında gösterebileceği dinamik davranış performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Oluşturulan modellerin analizleri sonucunda yapının toplam yüksekliğinin artması frekans değerini azaltacaktır. Bu durum yüksek yapıların deprem esnasındaki salınımı da artıracaktır. Başka bir açıdan bakılacak olursa, yapı toplam yüksekliğinin artışı yapının kendi ağırlığını da artıracak ve bu durum yine yapının frekansını azaltacak ve yapı hem daha fazla deprem yüküne maruz kalacak hem de daha fazla salınım yapacaktır. Sonuç olarak bu nedenlerden dolayı yapıların dinamik analizi özellikle de var olan tarihi yapıların dinamik analizi deprem ve rüzgar gibi dinamik bir yük altında yapıların göçmeden ayakta kalıp kalmayacağını önceden tespit etmek ve yapıyı tekrardan modellenmesi ile birlikte gerekli yapısal sağlık takibini başlatarak yapının hasar görmesini engellemek ve servis ömrünü artırmak açısından son derece önemlidir.

Teşekkür

Yazarlar tarihi yapının projeleri ve sanat tarihi raporunun temininde göstermiş oldukları destekten dolayı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına bağlı Orta Anadolu Kalkınma Ajansına içten teşekkürlerini iletmektedir.

Kaynakça

- [1] P. B. Lourenco, "Computational strategies for masonry structures," Delft University of Technology, 1996.
- [2] Y. Liu, Finite Element Method. CEA Research Laboratory Mechanical Engineering Department University Of Cincinnati, USA, 1997.
- [3] B. Ş. Şeker, F. Çakır, A. Doğançün, and A. Durmuş, "Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tarihi Erzurum Lala Paşa Cami'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi," Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, vol. 21, no. 3, pp. 82–87, 2015, doi: 10.5505/PAJES.2014.57441.
- [4] F. Lorenzoni, F. Casarin, M. Caldon, K. Islami, and C. Modena, "Uncertainty quantification in structural health monitoring: Applications on cultural heritage buildings," Mech Syst Signal Process, vol. 66–67, pp. 268–281, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.YMSSP.2015.04.032.
- [5] İ. Çalık, İ. Yük Müh, V. Trabzon Bölge Müdürlüğü Alemdar Bayraktar, K. İnşaat Mühendisliği Bölümü, and Y. Doç Temel Türker, "Yığma ve Betonarme Kubbeli Tarihi Camilerin Deneysel Dinamik Davranışlarının Karşılaştırılması," Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları, no. 8, p. 20, 2015.
- [6] S. Russo, "On the monitoring of historic Anime Sante church damaged by earthquake in L'Aquila," Struct Control Health Monit, vol. 20, no. 9, pp. 1226–1239, Sep. 2013, doi: 10.1002/STC.1531.
- [7] A. Bayraktar, A. C. Altunışık, T. Türker, and B. Sevim, "Tarihi Yığma Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi," Ankara: Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu 1, Sep. 2007, pp. 429–440.
- [8] O. Onat and E. Sayın, "Tarihi Taşar Köprüsünün Doğrusal Olmayan Sismik Analizi," in 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, G. Balint, B. Antala, C. Carty, J.-M. A. Mabieme, I. B. Amar, and A. Kaplanova, Eds., Erzurum, 2015, pp. 301–312. doi: 10.2/JQUERY.MIN.JS.
- [9] G. S. Özkaya, İ. Kazaz, and D. Okuyucu, "Kemerli Yığma Köprüsünün Sismik Davranışının Sonlu Eleman Yöntemiyle İncelenmesi," in 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, Oct. 2015, pp. 43–57.

- [10] B. Çoruhlu, T. Türker, Y. Yanık, and A. Bayraktar, "Tarihi Taş Kemer Köprülerin Modal Davranışlarının Köprü Boyutlarına Bağlı Olarak Tahmin Edilmesi," in Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu , 2017, pp. 381–389.
- [11] Y. Ghanaat, R. W. Clough, and B. B. Redpath, "Experimental Study of Dam-Water-Foundation Interaction," in Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, 1992, pp. 1573–1578.
- [12] Ö. Mutlu and A. Şahin, "Investigating The Effect Of Modeling Approaches On Earthquake Behavior Of Historical Masonry Minarets-Bursa Grand Mosque Case Study," Sigma J Eng & Nat Sci 7, vol. 7, no. 2, pp. 123–136, 2016.
- [13] M. Turek, C. Ventura, and P. Placencia, "Dynamic Characteristics of a 17 th Century Church in Quito, Ecuador," in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2002.
- [14] A. Koçak and T. Köksal, "An example for determining the cause of damage in historical buildings: Little hagia sophia (Church of St. Sergius and Bacchus) – Istanbul, Turkey," Engineering-Failure-Analysis, vol. 17, no. 4, pp. 926–937, Jun. 2010.
- [15] Ö. Dabanlı, F. Çılı, and Y. Kahya, "Nur-u Osmaniye Camii'nin Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi," Restorasyon Yıllığı Dergisi, no. 10, pp. 46–57, 2015.
- [16] B. Sayın, "Tarihi yağma yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve uygulama önerileri," Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, vol. 7, no. 3, pp. 387–398, 2016.
- [17] E. Diz-Mellado et al., "Non-destructive testing and Finite Element Method integrated procedure for heritage diagnosis: The Seville Cathedral case study," Journal of Building Engineering, vol. 37, p. 102134, May 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2020.102134.
- [18] L. Guerriero, M. Guadagnuolo, I. Titomanlio, and G. Faella, "An integrated approach for the conservation of archaeological buildings: The 'Re Barbaro' Palace in Sardinia," Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, vol. 27, p. e00244, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.DAACH.2022.E00244.
- [19] T. Çaylar, "Yozgat Miralay Konağı Sanat Tarihi Raporu," Kayseri, 2015.