

GAZİANTEP NİZİP TAHTANI (LEYLEK) CAMİ YAPISAL ANALİZ VE DEĞERLENDİRMESİ

Ali URAL*^{ID}
Tülin ÇELİK*^{ID}

Received: 08.10.2020; revised: 27.10.2020; accepted: 12.01.2021

Öz: Kültürel mirasımızın parçası olan tarihi yapıları korumamız ve yaşatmamız gerekmektedir. Bunun için tarihi yapıların davranışının bilinmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada, Gaziantep'te bulunan 18. yy yapılan Tahtani (Leylek) Caminin yapısal durumu incelenmiştir. Bu cami üzerinde daha önceden güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Yapının mevcut durumu incelendiğinde caminin beden duvarlarında ve tonozlarda bulunan yapısal hasarlar belirlenmiştir. Çalışmada 3 boyutlu sayısal modeli oluşturmak için sonlu elemanlar yöntemini (SEY) esas alan LUSAS yazılımından yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile caminin mevcut durumu (MD) ve restorasyon sonrası durumu (RD) analiz edilmiştir. Çalışmada caminin yapısal hasarlarının nedenleri belirlenerek camide daha önce yapılan restorasyon hatalarının düzeltilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Tahtani Camisinin onarım ve güçlendirilmesi için yığma birimlerde meydana gelen hasarlarda yeniden örme uygulaması, beden duvarı derzlerindeki ayrılmalarda enjeksiyon uygulaması, bütün sütunlar arasında da gergi demiri uygulamasının yapılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, gerilme analizleri, çekme şekil değiştirmesi, sonlu elemanlar analizi.

Gaziantep Nizip Tahtani (Leylek) Mosque Structural Analysis and Evaluation

Abstract: We should preserve and keep historical structures which are part of our cultural heritage. For this purpose, the structure of historical structures is needed to be known correctly and also be analyzed by using suitable software. In this study, the structural state of the 18th century Tahtani (Leylek) Mosque in Gaziantep has been assessed. Reinforcement work was done before on this mosque before. Structural damage was detected on the bearing walls and vaults on current situation of the historical mosque. The LUSAS software based on the finite element method (SEY) was used to create a 3D numerical model. The current state (MD) and post-restoration state (RD) of the mosque were analyzed using the finite element method. In the study, the reasons for the structural damages of the mosque were determined and suggestions were made to correct the restoration mistakes made before in the mosque. In order to repair and strengthen the Tahtani Mosque, re-knitting application has been carried out on the damaged masonry units, injection application in the separation of the body wall joints and the application of tension iron between all columns were recommended.

Keywords: Historical structures, stress analysis, tensile strain, finite element analysis.

*Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 68100
İletişim Yazarı: Tülin Çelik (tulinsandikci@gmail.com)

1. GİRİŞ

Geçmişte İslam toplumunun sosyal ve kültürel alanda gelişmesinde büyük rol oynamak gibi birçok görev üstlenen camiler, günümüzde yalnızca ibadet yeri olarak kullanılmaktadır. Külliye ve zaviyeli camiler bunların en büyük örneği olarak gösterilebilir.

Tarihi yapılar arasında yer alan camilerin, geçmişten günümüze mimari özellikleri değişmiştir. Camilerdeki mimari değişimi; toplumun ihtiyaçları, yapım tekniği ve coğrafi koşullardan kaynaklanmıştır. Camiler ilk olarak tek kubbeli yapılar olarak ilerleyen yıllarda camideki kubbe sayısı artmıştır. Camiler daha geniş alanlarda daha büyük ve görkemli yapılmıştır. Camilerin geniş alanlara yapılması sonucu kubbe, kemer, sütun, şerefelerin sayısı da artmıştır.

Tarihi camilerde yapı malzemesi olarak; Selçuklu döneminde daha çok tuğla malzeme kullanılırken, Osmanlı döneminde taş malzeme kullanılmıştır. Taşıyıcı malzeme olarak kullanılan taş ve tuğlayı birbirine bağlamak için horasan harcı kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılar, yığma birim elemanları ile harç arasındaki bağlantılarının zayıf olması sebebiyle gelen yatay kuvvetlerden etkilenmiştir. Bu sebeple tarihi yapıların hasar görmesindeki en önemli etken depremlerdir. Ülkemiz aktif deprem kuşağı üzerinde bulunan bir bölgede yer almaktadır. Yüzyıllar boyunca birçok tarihi cami bu depremlerin etkisiyle hasar görmüş ya da yıkılmıştır.

Tarihi yapılarda onarım ve güçlendirmeye yönelik yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde;

Aşıkoğlu vd., (2019) Tarihi Kütahya Kurşunlu Camii'nin sismik performans değerlendirmesini, güçlendirme öncesi ve sonrasını olarak incelemişlerdir. Caminin depreme karşı güçlendirilmesinde sonlu element yöntemi kullanmışlardır. Tarihi Camii'nin sismik performansını değerlendirmek için doğrusal olmayan itme analizi ve dinamik analiz yapmışlardır. Sayın vd. (2019) çalışmalarında mevcut durumundaki tarihi yapının deprem yükleri altında sismik performansını değerlendirmek için sayısal analiz yapmışlardır. Yapının taşıyıcı elemanlarına yönelik güçlendirme uygulamaları önermişlerdir. Maraveas, (2019) Yunanistan Plomari'deki tarihi bir duvar yapısının sismik performansının kapasitesi ve geliştirilmesi için çalışma yapmıştır. Yapının sismik analizlerini karşılaştırma için statik olarak uygulanan yük ve zaman alanı analizi yapmıştır. Sonuç olarak yığma duvarlar için bazı güçlendirme yöntemleri önermiştir. Aghabeigi vd., (2020) Tarihi çarşı Mozaffarieh Timche'nin üç boyutlu bir sonlu eleman modelini yapmışlardır. Tarihi çarşının sayısal modelleme ve dinamik analizlerini yapmışlardır. Sonuçlar olarak dikey duvarların ve tonozların yanall yüklerle karşı yeterli dirence sahip olmadığını ortaya koyarak uygun güçlendirilmeleri önerilerinde bulunmuşlardır. Soti vd., (2020) Gorkha Nepal depreminin (2015) tarihi bir Pagoda tapınağı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir doğrusal uygulamalı eleman yöntemi (AEM) modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. Deprem etkisini ayrıca doğrusal FEM modelini kullanarak incelemişlerdir. Her iki modellemede yapının deprem öncesi ve sonrası durumları karşılaştırılarak iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.

Dünyada meydana gelen depremler sonucunda hasar gören tarihi cami ve kiliseler konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Anagnostopoulou vd., (2010) yaptıkları çalışmada Darfield depreminden hasar gören kiliselerin yapısal davranışlarını ve hasar tiplerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda birçok kilise için onarım ve güçlendirme yöntemleri önermişlerdir. Krstevska vd., (2010) Üsküp'teki Mustafa Paşa camisini 1/6 ölçeğinde küçülterek yaptığı modelin sismik değerlendirmesini yapmışlardır. Mustafa Paşa cami modeli üzerinde güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumlar için analizler gerçekleştirmişlerdir. Sav ve Kuşüzümü (2010) çalışmasında Kocaeli depreminden hasar gören Mihrimah Sultan Camii'nde onarım ve güçlendirme çalışmaları yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda; kemer için gergi uygulaması, ana kubbedeki çatlaklar için çekme çemberi uygulaması yapmışlardır. Ersen vd., (2011) bu çalışmasında Süleymaniye Caminin 2007-2010 yılları arasındaki restorasyon çalışmalarını incelemişlerdir. Bu kapsamda kubbedeki ve minarelerdeki hasarlar üzerine onarım ve güçlendirme teknikleri uygulamışlardır. Çılı ve Yıldız (2013) çalışmalarında 1766 depreminde

hasar gören Fatih Camii'ni ve 1999 Kocaeli depreminde hasar alan I. Mahmut Kütüphanesini değerlendirmişlerdir. Fatih Camii ve I Mahmut Kütüphanesindeki geniş çatlaklar için çelik kenetler ile dikiş yöntemini, kubbedeki hasar için ise çekme çemberi uygulamışlardır. Mustafaraj ve Yardım (2013) çalışmalarında birçok depremden hasar gören Mirahor İlyas Bey Camisinin yapısal şartlarını ve mimari özelliklerini inceleyerek onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunmuşlardır. Taşıyıcı duvardaki küçük çatlaklar için; kireç esaslı tamir harçlarının enjeksiyon yöntemiyle uygulanması, büyük çatlaklar için FRP çubukların kullanılmasını önermişlerdir. Brencich vd., (2014) çalışmalarında Cenova'daki depremden hasar görmüş Carignano S. Maria kilisesinin kubbesini incelemişlerdir. Kilisenin modellemesinde sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Kubbedeki hasarların kubbenin içinde yer alan çelik kasnağın etkisiyle oluştuğu sonucuna varmışlardır. Chmielewski ve Kruszk (2015) çalışmalarında depremden hasar gören St. Anna tarihi kilisesini statik açıdan değerlendirmişlerdir. Yığma kubbenin üç boyutlu yapısal modelini analiz etmişlerdir. Kubbenin güçlendirilmesi için FRP ve sarmal çelik çubuklar kullanmışlardır. Milani ve Valente (2015) 2012 İtalya depreminde hasar gören yedi yığma kilisenin hasarlarını incelemişlerdir. Yığma kilise hasarlarını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yavuzer (2016) yaptığı çalışmada Zal Mahmut Paşa Camii'nin mimari ve yapısal özelliklerini inceleyerek maruz kaldığı deprem etkilerini araştırmışlardır. Camiyi sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek statik ve dinamik analizlerini yapmışlardır. Çalık vd., (2017) 10. yy. inşa edilen Ortahisar Fatih Camisinin mevcut durumuna ilişkin analitik model oluşturulmuş ve camisinin yapısal hasarlarına yönelik yapılacak onarım ve güçlendirme önerilerini sunarak bu önerileri cami üzerinde uygulamışlardır. Gürsoy vd., (2018) Köprülü Mehmet Paşa Camii'nde yapılan onarım, güçlendirme ve restorasyon çalışmaları irdelemişlerdir. Doğal ve çevresel etkenler nedeniyle cami yapısının taşıyıcı sisteminde oluşan hasarları incelenerek camii ile ilgili bazı sonuç ve öneriler sunmuşlardır. Döndüren vd., (2019) Tütünsüz Baba türbesinin mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Türbenin statik analizleri yapılarak, mevcut durumu değerlendirmişlerdir. Sonlu elemanlar modelinde çeşitli yükler altında oluşan kuvvetler ve gerilmeler hesaplanarak bu gerilmelere bağlı oluşan deformasyonları belirlemişlerdir. Sonuç olarak türbede oluşan asal gerilmeler değerlendirilmiş ve statik anlamda taşıyıcılık durumları belirlenmiştir. Usta vd., (2020) Afyon Sandıklı Ulu Camii sayısal olarak modellenmiş ve analiz etmişlerdir. Analizlerin sonuçlarına göre yapının deprem etkisi altındaki davranışı, elde edilerek yapının en çok etkilenen bölgeleri belirlenmiş ve yer değiştirmeye bağlı olarak yapısal davranış incelemişlerdir.

Gaziantep ili Nizip ilçesinde bulunan 257 yıllık tarihi Tahtani (Leylek) Camii'si meydana gelen depremler sonucunda hasarlar oluşmuştur. Tahtani Camii'inde meydana gelen bu hasarların giderilmesi için son 20 yılda çeşitli restorasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bazı restorasyon çalışmaları tarihi yapının uygun olmayan ve tarihi yapının dokusunu bozan restorasyon çalışmalarıdır. Bu çalışmada Tahtani camisinde meydana gelen hasarlar ve hatalı restorasyon çalışmaları belirlenmiştir. Camide meydana gelen hasarlar dikkate alınarak caminin sonlu elemanlar modeli oluşturulup analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre caminin restorasyonu için bazı önerilerde bulunulmuştur.

2. TAHTANI (LEYLEK) CAMİSİNİN YAPISAL DURUMU

Tahtani (Leylek) Cami 1761 yılında Gaziantep ili, Nizip ilçesinde yapılmış 257 yıllık tarihi bir camiidir (Şekil 1). Caminin yapısal durumu incelendiğinde, daha önceden camide çeşitli onarımların yapıldığı anlaşılmaktadır. Aşağıda Şekil 2'de görüldüğü üzere betonarme döşeme ve betonarme giriş mevcuttur. Tahtani Camii'nin yapısal durumunu incelediğimizde beden duvarı olarak kesme taş malzemesi kullanılmıştır. Caminin mevcut sütunları kare kesitli olup yüksekliği yaklaşık 2,5 m. yüksekliğine sahiptir. Tahtani Camisinde çatı döşemesini çapraz formda tonozlar taşımaktadır. Caminin minaresi tek şerefeli olup yaklaşık 33 m. yüksekliğe sahiptir. Caminin minaresi camiden ayrı olarak inşa edilmiş ve minarede herhangi bir hasar tespit edilememiştir.

Tahtani Camisinde yapılan önceki restorasyon çalışmalarında cami döşemesi betonarme olarak inşa edilmiştir. Bunun yanında çatıda 25 cm kalınlığında betonarme örtü yapılmıştır. Yapılan önceki onarım ve güçlendirme çalışmalarında caminin son cemaat kısmı yapılmış ve bu kısmın ana cami kütesine bağlantısını sağlamak amacıyla giriş kapısının olduğu beden duvarının üstüne betonarme kiriş yerleştirilmiştir.



Şekil 1:
Gaziantep Nizip Tahtani (Leylek) Cami

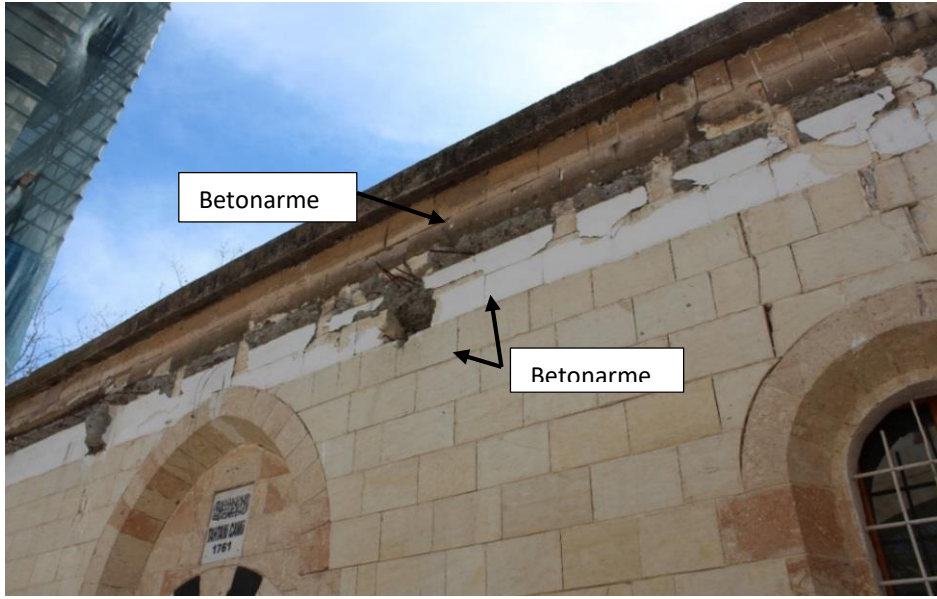
2.1. Tahtani (Leylek) Camisinin Yapısal Hasarları

Son 20 yıllık zaman zarfında restorasyon çalışmalarında yapılan en önemli hatalardan biri betonarme elemanların sisteme eklenmesi olmuştur. Son yıllarda yapılan restorasyon çalışmalarında bu yanlıştan dönülerek, önceden yapılan betonarme elemanlar tarihi yapılardan uzaklaştırılmaya başlanmıştır.

Tahtani Cami'nde betonarme elemanların geçmiş restorasyon çalışmalarında uygulandığı görülmektedir. Bu elemanlar taban döşemesi, tavan döşemesi ve giriş kapısının olduğu beden duvarının üstünde boylu boyunca uzanan betonarme kiriştir (Şekil 2).

Yapının üstünü kaplayan betonarme döşeme kalınlığı yaklaşık olarak 25 cm'dir. Betonarme konutlarda plak döşemelerin kalınlığı yaklaşık 14-15 cm olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle bu camideki 25 cm'lik bir betonarme kalınlık yapıda dikkate değer gerilme artışlarına sebep olmaktadır. Tahtani Caminin betonarme üst döşemenin toplam ağırlığı 99 ton civarındadır. Bu ağırlıktaki bir kütle yapıya sürekli olarak gelen basınç kuvvetini yansıtmaktadır.

Yapının beden duvarlarında özellikle de köşe noktalara yakın kısımlarında taşlar arasındaki düşey derzlerde açmalar meydana gelmiştir. Aşağıda Şekil 3'deki fotoğraflarda bu açılmalar net bir şekilde görülebilmektedir.

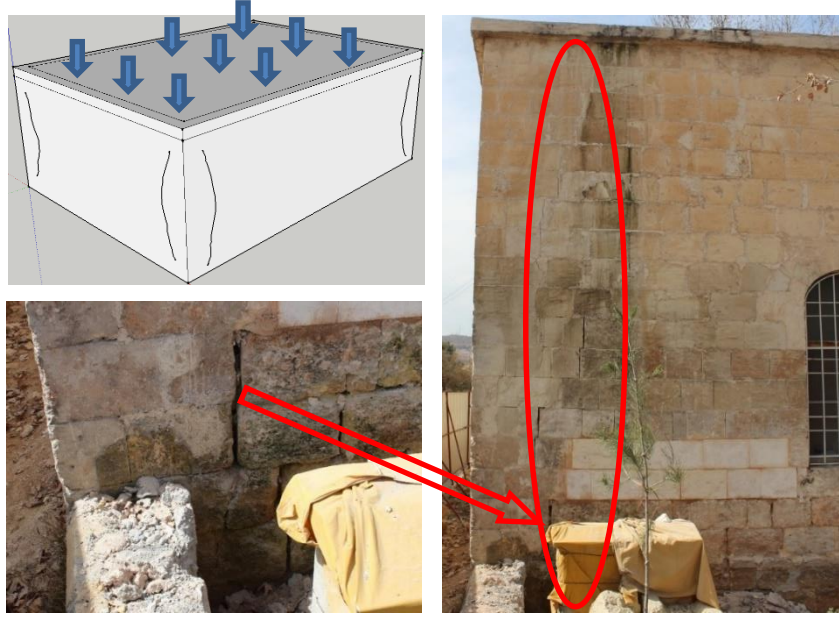


Şekil 2:
Yapıya sonradan eklenmiş betonarme elemanlar



Şekil 3:
Beden duvarlarındaki açılmalar

Bu deformasyonların başlıca sebebinin üst kısımda yer alan ağır betonarme döşemeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle üzerine oturduğu tonoz yapının köşe noktalarının daha zayıf olması sebebiyle bu bölgelere yakın beden duvarlarında açılmalar gözlemlenmiştir. Şekil 4’de temsili 3 boyutlu çizim ve yapının fotoğrafları gösterilmiştir.



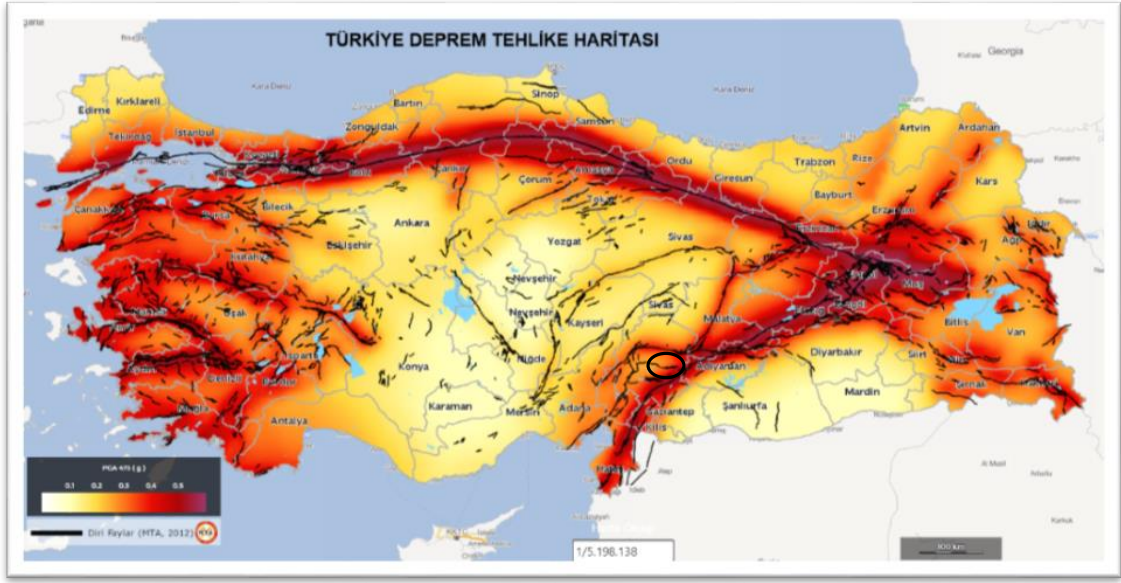
Şekil 4:
Caminin güney-doğu köşesindeki deformasyon

Kırmızı daire içerisine alınan bölgede çekme gerilmelerinin çekme dayanımını aşmasından kaynaklanan çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar üst kısımda ve alt kısımda yok denecek kadar azdır. Çatlaklar incelendiğinde bunların sadece derzlerde meydana gelmeyip kesme taşlarda da meydana gelmesi, bu bölgede oluşan çekme gerilmelerinin çok fazla olduğunu göstermektedir.

Cami sütunları arasında gergi demiri bulunmamaktadır. Cami köşelerindeki dışarıya doğru meydana gelen küçük çaptaki deformasyonlar üstteki çapraz tonozlarda da kendini göstermiştir. Haremin içinden bakıldığında çapraz tonozları oluşturan taş örgüsünde yer yer deformasyonlar meydana gelmiştir.

2.2. Bölgenin Depremselliği

Genellikler büyüklüğü > 5 'ten büyük depremler yapılara hasar vermektedir. Bu sebeple Gaziantep'te meydana gelen 5 büyüklüğündeki depremler incelenmiştir. Gaziantep il sınırları içerisinde deprem riski dikkate alındığında ilin güney-batı kısımlarında deprem oluşması riski kuzey ve doğuya gidildikçe arttığı görülmektedir. Yapının deprem hesabına esas teşkil edecek şekilde T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığına ait Deprem Bölgeleri Haritası dikkate alınmıştır. (Şekil 5).



Şekil 5:

Türkiye deprem tehlike haritasında Gaziantep, Nizip ilçesinin yeri (AFAD)

Tahtani Camisinin konumu 37.007466° enlem, 37.792203° boylam coğrafi koordinatlarında yer almaktadır. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı'nın internet sayfasında yapılan taramaya göre (AFAD) 1900-2020 yılları arasında Gaziantep'te büyüklüğü 5,0'dan büyük olan 5 adet deprem meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6 ve Tablo 1).



Şekil 6:

Gaziantep ilinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen > 5.0 büyüklüğündeki depremler (AFAD)

Tablo 1. Gaziantep ilinde meydana gelen 5.0 büyüklüğünde depremler (AFAD)

Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik	Büyükük
24/03/1953	37.2838	37.1398	22.35	5.0
29/06/1971	37.1330	36.8560	40.80	5.5
11/07/1971	37.1600	36.8320	7.10	5.8
03/08/1986	37.1690	37.1610	48.80	5.0
19/09/2012	37.2838	37.1398	22.35	5.0

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tahtani Camisinin mevcut yapısındaki taşlardan ve caminin restorasyonda kullanılması planlanan taşlardan numuneler alınarak, Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği Laboratuvarında teste tabi tutulmuştur. Mevcut yapıdan 3 adet, restorasyonda kullanılması planlanan taşlardan ise 4 adet numune test boyutlarına (50 x 50 x 50 mm³) getirilerek basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur (Şekil 7). Bunun yanında, taşların özgül ağırlıkları da hesaplanmıştır.



Şekil 7:
Taş numuneleri

Tablo 2. Mevcut taşların mekanik özellikleri

No	Boyutlar (mm)		Kütlesi (gr)	Hacmi (ml)	Yoğunluğu (kg/m ³)	Kırılma Yükü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
	b	h					
1	45	48	209	120	1742	16,88	7,81
2	47	47	214	110	1945	15,05	6,81
3	45	47	208	120	1733	16,15	7,64
Ortalama					1807	16,03	7,42

Tablo 3. Restorasyonda kullanılacak taşların mekanik özellikleri

No	Boyutlar (mm)		Kütlesi (gr)	Hacmi (ml)	Yoğunluğu (kg/m ³)	Kırılma Yükü (kN)	Basınç Dayanımı (MPa)
	b	h					
1	49	50	297	120	2478	72,53	29,6
2	47	50	241	105	2295	36,52	15,54
3	45	50	223	103	2161	48,63	21,61
4	46	48	252	100	2512	41,48	18,79
Ortalama					2362	49,79	21,4

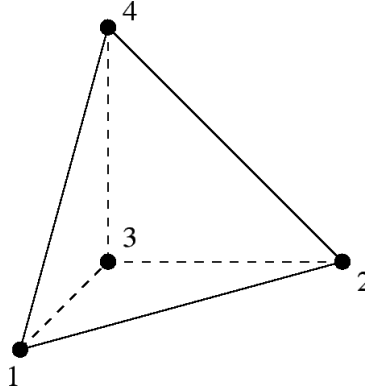
Yukarıdaki Tablo 2 ve Tablo 3’de görüldüğü gibi restorasyonda kullanılması planlanan taşların özgül ağırlıkları ve basınç dayanımları mevcut taşlardan daha fazladır. Caminin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesinde yukarıda elde edilen sonuçlara bağlı değerler kullanılmıştır.

Yapı duvarının basınç dayanımı TS EN 1996-1-1’de “Genel Amaçlı Harç ile Yapılan Donatısız Kâgir Karakteristik Basınç Dayanımı” başlığında belirtilen ve aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır (Eurocode 6).

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (1)$$

Burada f_k duvarın karakteristik basınç dayanımı, f_b taşın f_m ise harcın basınç dayanımlarıdır. K ise söz konusu yönetmelikte yer alan bir katsayıdır. Burada K katsayısı 0,40 alınmıştır. Horasan harcın basınç dayanımının 1 MPa, kesme taşın basınç dayanımı da 7,42 MPa’dır. Caminin beden duvarlarının karakteristik basınç dayanımı yaklaşık olarak 1,47 MPa, çekme dayanımı yaklaşık olarak 0,15 MPa olarak alınmıştır.

Tahtani Caminin sayısal modellemesi sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Bu modellemelerde ve gerçekleştirilen analizlerde LUSAS yapısal analiz programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağı (mesh) oluşturulurken kullanılan dört farklı 3D eleman tipi bulunmaktadır (LUSAS, 2020). Bunlar; dörtyüzlü (tetrahedral), altıyüzlü (hexahedral, tuğla), üçgen prizma ve piramittir. Tetrahedral elemanlar, çoğu problem için varsayılan eleman tipidir. Bu çalışmada eğrisel yüzeyler olması sebebiyle modellemede tetrahedral elemanlar kullanılmıştır. Bu elemana ait temsili gösterim aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 8). Bu elemanlar şekilden de görüleceği üzere 4 adet düğüm noktasına sahip olmaktadır ve her düğüm noktasının 3 adet deplasman serbestlik dereceleri vardır.

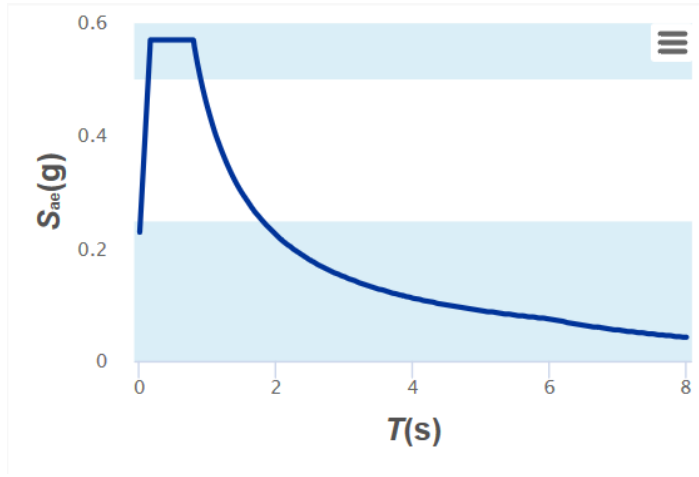


Şekil 8:
Tetrahedral eleman

3.1. Caminin Yapısal Analizi

Cami sonlu elemanlar modelleriyle iki farklı tipte analiz gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi zati yük analizi, ikincisi ise deprem spektrum analizi olarak incelenmiştir. Türkiye bina yönetmeliğine göre Zemin sınıfı (ZE), yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)=0.569$ ve deprem yükü azaltma katsayısı olan $R_a(T1)=1.67$ olarak seçilmiştir. Analizlerde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde bahsedildiği şekilde Yatay Elastik Tasarım Spektrum grafiği dikkate alınarak elde edilen İvme-Periyot verileri sonlu elemanlar programına girilerek modeldeki tepkiler elde edilmiştir (Şekil 9).

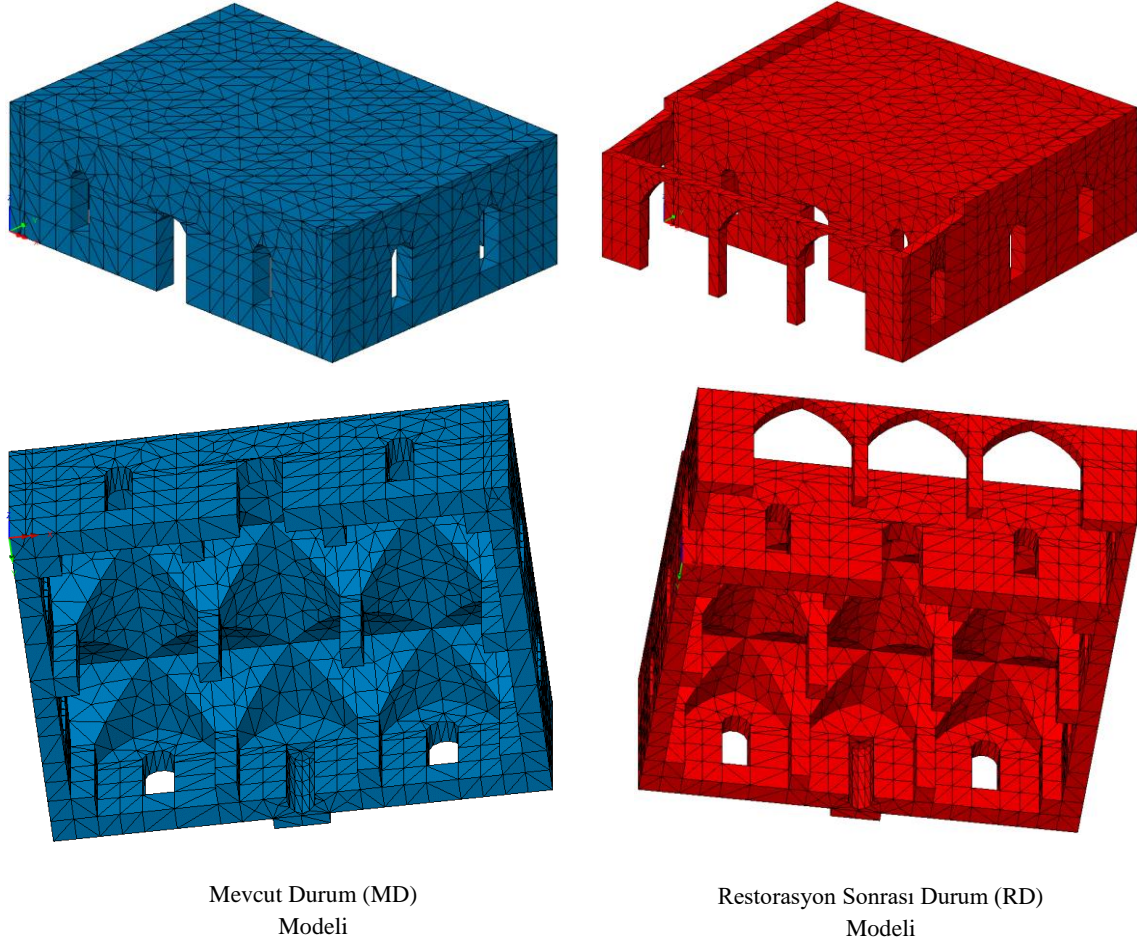
Caminin minaresi camiye bitişik olarak yapılmamıştır ve minaresinde herhangi bir hasar görülmemiştir. Bu sebepten hem yapısal incelemede hem de sayısal analiz modelinde minareden bahsedilmemiştir.



Şekil 9:
Yatay elastik tasarım spektrumu grafiği.

İki farklı sonlu elemanlar modeli üzerinde ikişer adet sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. İlk model yapının Mevcut Durumunu (MD) temsil etmekte olup ikinci model ise restorasyon projelerinden elde edilen bilgiler ışığında Restorasyon Sonrası Durumu (RD) temsil etmektedir. Aşağıda Şekil 10'da her iki durumun sonlu elemanlar modeli gösterilmiştir. MD modelinde son cemaat kısmı olmamakla birlikte betonarme kısımlar, bu modelde mevcuttur. RD modelinde ise son cemaat kısmı da sayısal modele eklenmiştir. Yapı malzemeleri başlığı altında özellikleri çıkarılan malzemeler her iki modelde beden duvarlarında kullanılmıştır. RD modelinde restorasyonda kullanılacak olan taşların mekanik özellikleri sadece son cemaat kısmı ile beden duvarlarının tavan döşemesi hizasında kullanılmıştır.

Cami Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak MD ve RD durumları için modellenmiş ve aşağıdaki şekilde görülmektedir. Buna göre oluşturulan modellerde MD için 8004 adet tetrahedral tipte sonlu eleman, 2346 adet düğüm noktası tanımlanırken, RD için ise 9492 adet tetrahedral tipte sonlu eleman, 2901 adet düğüm noktası tanımlanmıştır. Sayısal modeller tabandan deplasman serbestlikleri tutulmuş, dönme serbestlikleri tutulmamış haliyle mesnetlenmiştir. Aşağıda Tablo 4 'te sayısal modellere ait tanımlanan malzeme özellikleri verilmiştir.



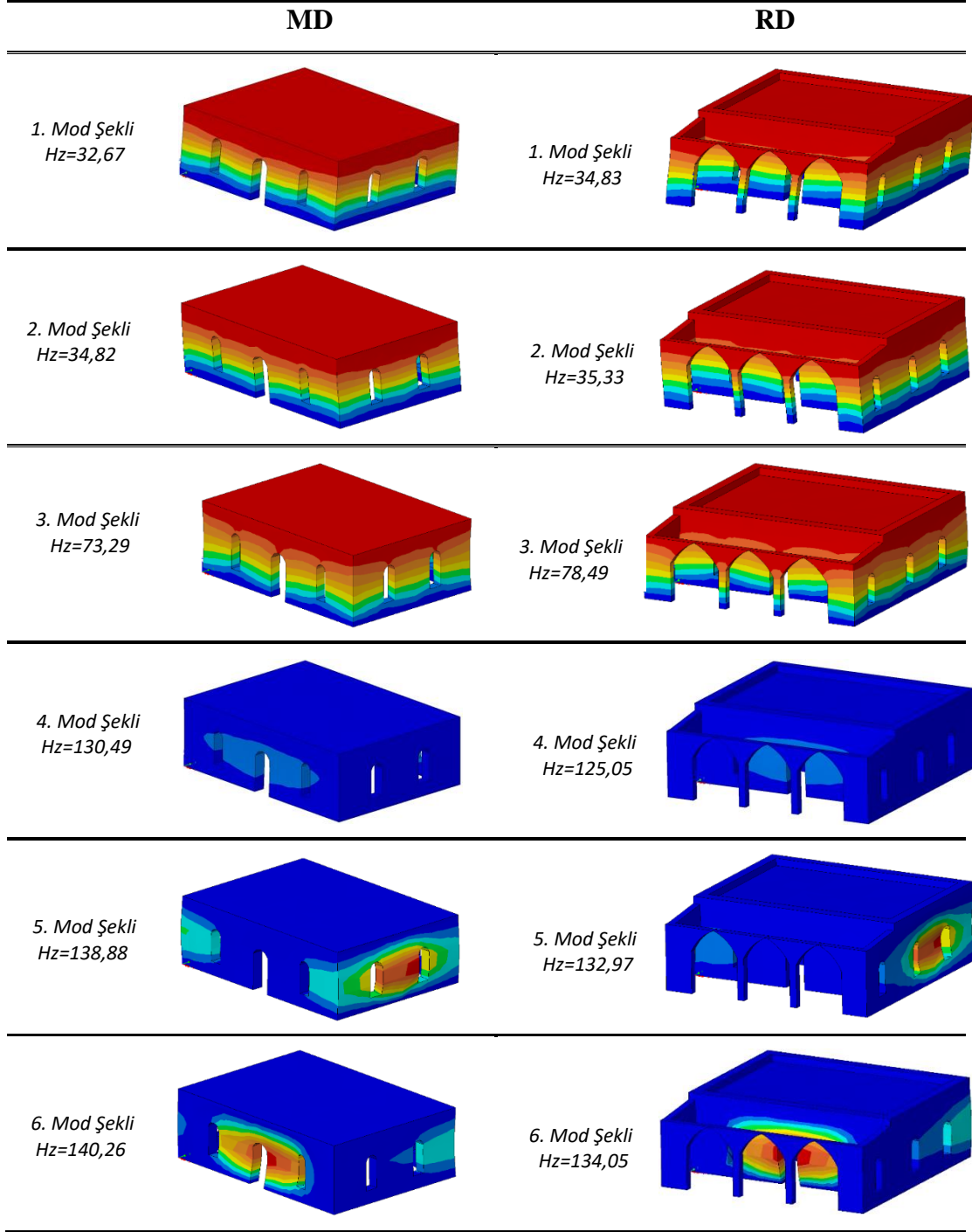
Şekil 10:
Mevcut Durum ve Restorasyon Sonrası Durum için oluşturulan sonlu elemanlar modelleri

Tablo 4. Sayısal modellere ait tanımlanan malzeme özellikleri

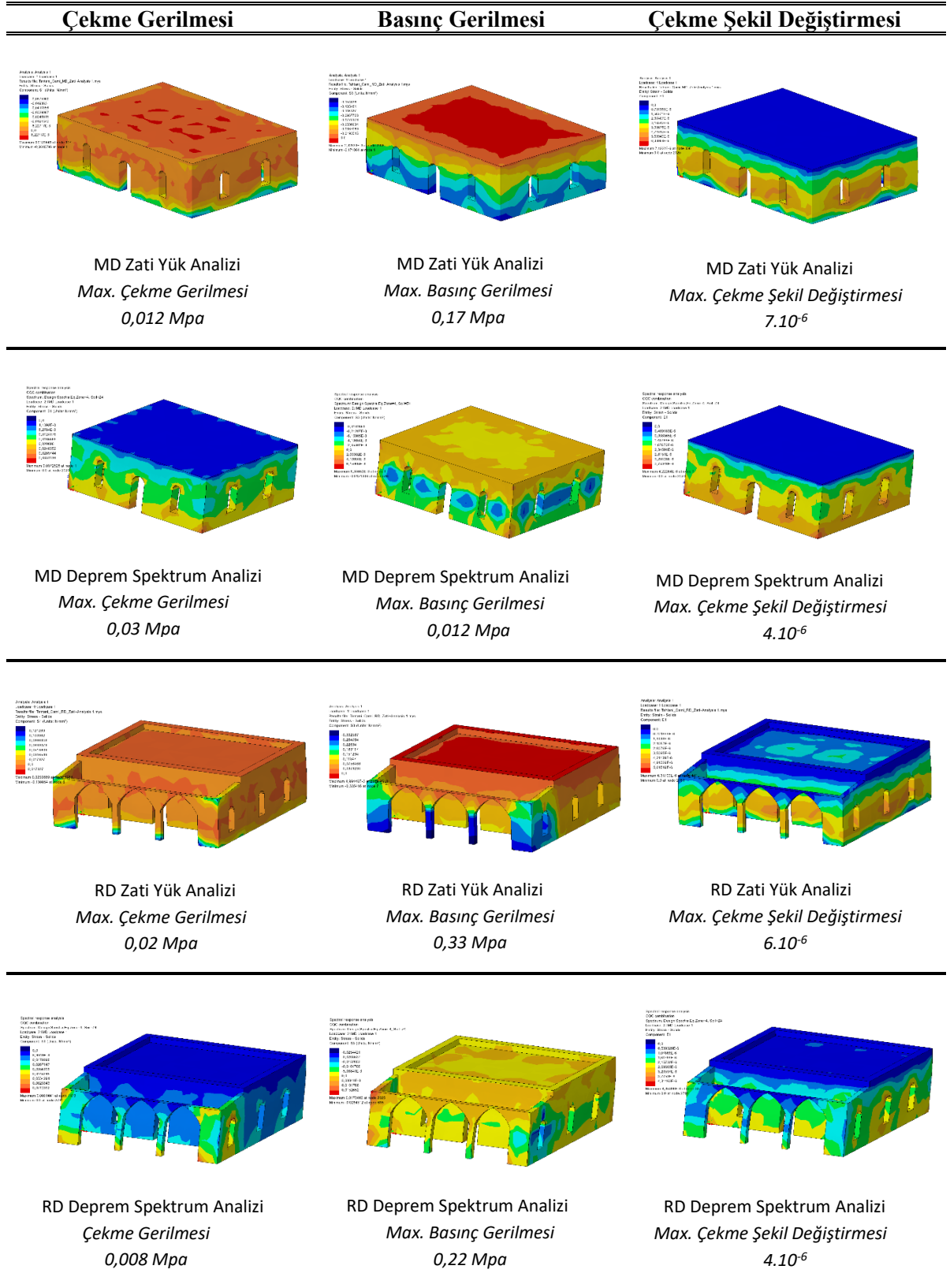
Malzemeler	Özellikler	Değerler
Yığma Duvar	Elastisite modülü (MPa)	1850
	Poisson oranı	0,2
	Kohezyon (MPa)	2,5
	İçsel sürtünme açısı	25
	Çekmede kohezyon eğimi	0,0
	Sürtünme geriliminin eğimi	0,0
	Plastik şekil değiştirme	0,001

3.2. MD ve RD için Deprem Spektrumu Analizleri

Spektral analizde kullanılmak üzere yapının özdeğer analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen mod şekilleri ile frekansları aşağıdaki şekilde birlikte verilmiştir (Şekil 11). Aşağıda Şekil 12’de Mevcut Durum (MD) ve Restorasyon Sonrası Durum (RD) durumu için Zati Yük ve Deprem Spektrum Analiz dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 11:
MD ve RD için ilk 6 mod şekli ve frekansları



Şekil 12:
Mevcut Durum (MD) ve Restorasyon Sonrası Durum (RD) durumu için Zati Yük ve Deprem Spektrum Analiz dağılımları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gaziantep ili, Nizip ilçe merkezinde bulunan tarihi Tahtani (Leylek) Cami için yapılan analizlere ait sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Analiz sonuçları tablosu

Analiz	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Şekil Değiştirmesi
1. MD için Zati Yük Analizi	0,06	0,17	$7 \cdot 10^{-6}$
2. MD için Deprem Spektrumu Analizi	0,03	0,01	$4 \cdot 10^{-6}$
3. RD için Zati Yük Analizi	0,025	0,33	$6 \cdot 10^{-6}$
4. RD için Deprem Spektrumu Analizi	0,08	0,028	$4 \cdot 10^{-6}$

Malzeme araştırmalarıyla beden duvarlarının karakteristik basınç dayanımları ile çekme dayanımları hesaplanmıştır. Dayanım-gerilme ilişkisinin karşılaştırmasına göre deprem durumu için bu yapıda herhangi bir hasar beklenmemektedir. Elde edilen şekil değiştirme değerleri incelendiğinde mevcut durumda sınır değerler aşılmamıştır. Eurocode-6 da eğilme ve basınç altında yığmanın maksimum şekil değiştirmesi 0.0035 olarak dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla hiçbir durumda şekil değiştirme miktarları yönünden herhangi bir sorun görülmemiştir.

- MD Zati yük analizinin çekme gerilmeleri dağılımına bakıldığında en büyük çekme gerilmeleri beden duvarlarının köşelerinde ve betonarme üst döşemede meydana geldiği görülmüştür. Meydana gelen maksimum çekme gerilmesinin değeri yaklaşık olarak 0,012 MPa civarındadır. MD Deprem spektrum analizinde ise en büyük çekme gerilmelerinin yapının taban seviyelerinde, köşelerde ve kapı/pencere boşluklarının üzerinde meydana gelmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerilmesinin değeri yaklaşık olarak 0,03 MPa'dır. RD Zati yük analizlerinde çekme gerilmesi dağılımı incelendiğinde, meydana gelen maksimum çekme gerilmesinin değeri yaklaşık olarak 0,020 MPa olduğu görülmüştür. RD Deprem spektrum analizinin çekme gerilmesi dağılımında meydana gelen maksimum çekme gerilmesinin değeri yaklaşık olarak 0,08 MPa civarındadır.

- MD durumdaki Zati yük analizinde basınç gerilmeleri dağılımına bakıldığında en büyük basınç gerilmeleri beden duvarlarının alt kısımlarında (mavi ile gösterilen kısımlarda) meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen maksimum basınç gerilmesi yaklaşık olarak 0,17 MPa'dır. Bunun yanında MD Deprem spektrum analizinde büyük basınç gerilmeleri kapı/pencere boşluklarının arasında (mavi ile gösterilen kısımlarda) meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen maksimum basınç gerilmesi yaklaşık olarak 0,012 MPa civarındadır. RD durumundaki Zati yük analizinin basınç gerilmesi dağılımında, yapıda oluşan maksimum basınç gerilmesi yaklaşık olarak 0,33 MPa olduğu görülmüştür. RD Deprem spektrum analizinde meydana gelen maksimum basınç gerilmesi yaklaşık olarak 0,02 MPa civarındadır.

- MD Zati yük analizi gerçekleştirilen yapıda, çekme şekil değiştirme kırmızı renklendirme ile gösterilmiştir ve meydana gelen maksimum şekil değiştirme miktarı çekme durumu için 7.10^{-6} 'dır. MD durumu Deprem spektrum analiz sonuçlarına göre yapıda meydana gelen şekil değiştirme miktarı çekme durumu için 4.10^{-6} olarak bulunmuştur. Bunun yanında RD Zati yük analizinin sonuçlarına göre yapıda meydana gelen şekil değiştirme miktarı çekme durumu için 6.10^{-6} olduğu görülmüştür. RD Deprem spektrum analizlerde çekme durumu için yapıda meydana gelen şekil değiştirme miktarı 4.10^{-6} 'dır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tahtani Cami için restorasyon aşamasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi yapının gelecek nesillere sağlıklı bir şekilde aktarılması yönünde faydalı olacaktır;

- Yapı düşey taşıyıcıların rijitlikleri açısından incelendiğinde caminin üzerinde bulunan 25 cm kalınlığında betonarme döşemenin en fazla beden duvarlarını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Bu betonarme döşeme yüzünden beden duvarları aşırı basınca maruz kalmış, özellikle köşe noktalarında çatlaklar meydana gelmiştir. Dolayısıyla tarihi yapının dokusunu bozan ve fazla ağırlığa nedeniyle tarihi yapıya zarar veren betonarme döşemenin kaldırılması önerilmektedir.
- Önceki restorasyon çalışmalarında yapılan, giriş kapısının bulunduğu beden duvarının üzerindeki betonarme kirişin gerek ağırlığı ve gerekse çimento bazlı olması nedeniyle tarihi yapıya zarar verdiği için tarihi yapıdan uzaklaştırılması önerilmektedir.
- Yapının mevcut durumunun incelendiğinde caminin güney-doğu köşesinde aksel basınçtan dolayı düşey çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar sadece derzlerde olmayıp yığma birimlerde (kesme taşlarda) de kendini göstermiştir. Bunun nedeni yığma birimlerin aksel yük kapasitesini aşacak şekilde yüklenmeye maruz kalmasından ve mevcut kapasitesinin azalmasından (düşmesinden) kaynaklanmaktadır. Bu kısımdaki taşların çıkartılarak yerine yeni taşlar ile yeniden örülmesi önerilmektedir. Caminin diğer köşe noktalarına yakın beden duvarlarındaki ayrılmalar genellikle derzlerde meydana gelmiş olup burada derzlerin boşaltılıp enjeksiyon yöntemiyle doldurulması önerilmektedir.
- Cami mevcut olan çapraz tonozlardan dolayı ağır bir kütleyle sahiptir. Bu kütleyle beden duvarları ile ortada bulunan iki adet sütun taşımaktadır. Görsel incelemeler neticesinde sütunlarda herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Ağır üst döşeme yükü ortadaki sütunlarda aksel yük olarak, beden duvarlarında da dışarıya doğru eksantrik yük olarak etkilediği görülmüştür. Üst döşemenin beden duvarlarına uyguladığı moment nedeniyle ileriki zamanlarda da beden duvarlarında çeşitli deformasyonlar meydana gelebilir. Bu sebeple yapının bundan sonraki ömrünü sağlıklı bir şekilde geçirebilmesi amacıyla tüm sütunlar arasında, tonozların üzeni hizasına yakın bölgelerden gergi demiri uygulaması yapılması önerilmektedir. Bu yapıda gergi demiri uygulamasındaki temel amaç; dış beden duvarlarının üzerine gelen moment etkisini karşılayabilmesidir.
- Görsel incelemeler neticesinde yapının üstünde mevcut olan çapraz tonoz sistemindeki bazı yığma birimler ve genel geometride bazı sapmalar meydana geldiği görülmüştür. Bunun sebebi beden duvarlarının dışarıya doğru yapmış olduğu hareketten kaynaklanmaktadır.

Yukarıda önerilen gergi sistemi uygulandığı takdirde beden duvarlarının dışarıya doğru olan hareketi sınırlandırılarak tonoz sistemindeki bozulmalar son bulacaktır.

- Cami taban döşemesi yine önceki restorasyon uygulamasında betonarme döşeme olarak inşa edilmiştir. Çimentonun kullanılmadığı bu tür yapılarda restorasyon süreçlerinde çimento bazlı yapı elemanlarının uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla tabandaki betonarme döşemenin kaldırılması gerekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Ali Ural ve Tülin Çelik çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikrinsel içeriğin eleştirel incelenmesi aşamalarında; Ali Ural, veri toplama yönünden katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Aghabeigi, P., Mahmoudi, R., Ahani, E. and Hosseinian Ahangarnazhad, B. (2020) Seismic assessment and retrofitting of the masonry building of mozaffarieh timche in tabriz historic bazaar, *International Journal of Architectural Heritage*, 1-26.
2. Anagnostopoulou, M., Bruneau, M. ve Gavin, H.P. (2010) Performance of churches during the darfield earthquake of september 04, 2010, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 43,4, 374. doi: <https://doi.org/10.5459/bnzsee.43.4.374-381>
3. Aşıkoğlu, A., Avşar, Ö., Lourenço, P.B. ve Silva, L.C. (2019) Effectiveness of seismic retrofitting of a historical masonry structure: kütahya kurşunlu mosque, turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 6, 3365–3395. doi: [10.1007/s10518-019-00603-6](https://doi.org/10.1007/s10518-019-00603-6)
4. Brencich, A., Gambarotta, L. ve Ghia, A. (2014) History-based assessment of the dome of the basilica of s. maria of carignano in genoa, *International Journal of Architectural Heritage*, 8, 5, 690-717.
5. Chmielewski, R. ve Kruszka, L. (2015) Application of selected modern technology systems to strengthen the damaged masonry dome of historical st. anna's church in wilanów (Poland), *Case Studies in Construction Materials*, 3, 92-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.08.001>
6. Çalık, İ., Bayraktar, A., Türker, T., Hökelekli, E. ve Ayan, A.O. (2017) Trabzon ortahisar fatih camii restorasyonuna yönelik onarım ve güçlendirme çalışmaları, 6. *Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 69-78.
7. Çılı, F. ve Yıldız, H. (2013) Fatih camii ve I. mahmut kütüphanesi güçlendirme çalışmaları. *Vakıf Restorasyon Yıllığı Dergisi*, 7, 65-84.
8. Döndüren, M.S., Demiröz, A. ve Şişik, Ö. (2019) Tarihi yığma tütünsüz baba türbesinin mekaniksel davranışının incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 17, 24-28.
9. Ersen, A., Olgun, N., Akbulut, S.S. ve Yıldırım, B.Ş. (2011) Süleymaniye camii 2007-2010 yılları restorasyonu ve restorasyon kararları, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 3, 8-27.

10. Eurocode-6 (EN 1996-1-1) (2005) Design of masonry structures – part 1-1: general rules for reinforced and unreinforced masonry structures, european committee for standardization, brussels, Belgium.
11. Gürsoy, Ş., Yılmaz, A. ve Cengiz, B. (2018) Köprülü Mehmet paşa caminin bakım, onarım, güçlendirme ve restorasyon çalışmalarının irdelenmesi. *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6, 8-15.
12. Krstevska, L., Tashkov, L., Gramatikov, K., Landolfo, R., Mammana, O., Portioli, F. ve Mazzolani, F. (2010) Large-scale experimental investigation on mustafa pasha mosque, *Journal of Earthquake Engineering*, 14, 6, 842-873. doi:10.1080/13632460903338528
13. Lusas, Finite element analysis software products, *Finite Element System FEA Ltd*, 2020.
14. Maraveas, C. (2019). Assessment and restoration of an earthquake-damaged historical masonry building, *Frontiers in Built Environment*, 5, 112. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00112>.
15. Milani, G. ve Valente, M. (2015) Failure analysis of seven masonry churches severely damaged during the 2012 Emilia-Romagna (Italy) earthquake: non-linear dynamic analyses vs conventional static approaches, *Engineering Failure Analysis*, 54, 13-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.03.016>.
16. Mustafaraj, E. ve Yardım, Y. (2013) Strengthening and restoration of historical structures- mirahor ilyas beg mosque in korça, *International Conference on Architecture and Urban Design*. doi: 10.17265/2159-5836/2013.12.007.
17. Sayin, B., Yildizlar, B., Akcay, C. ve Gunes, B. (2019). The retrofitting of historical masonry buildings with insufficient seismic resistance using conventional and non-conventional techniques, *Engineering Failure Analysis*, 97, 454-463. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.031>.
18. Sav, M. ve Kuşüzümü, K.H. (2010) Restorasyon çalışmaları çerçevesinde mihrimah sultan camii, *Restorasyon*, 45-55.
19. Soti, R., Abdulrahman, L., Barbosa, A.R., Wood, R.L., Mohammadi, M.E. ve Olsen, M.J. (2020) Case study: post-earthquake model updating of a heritage pagoda masonry temple using AEM and FEM, *Engineering Structures*, 206, 109950. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109950>.
20. TS EN 1996-1-1, (2006) Eurocode 6: Kâgir yapıların tasarımı-bölüm 1-1: donatılı ve donatısız kâgir yapılar için genel kurallar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
21. Usta, P., Bozdağ Ö., ve Çarhoğlu A.I. (2020) Appraisal of structural behavior of afyon sandıklı ulu mosque. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 7.2: 871-881. doi: <https://doi.org/10.31202/ecjse.710887>
22. Yavuzer, M.N. (2016) Zal mahmut paşa camii yapısal davranışı ve geçmiş hasarların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
23. <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>, Erişim Tarihi: 01.11.2020. Konu: *Deprem Kataloğu*.

