

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARİHİ YUSUF ZİYA PAŞA CAMİSİNİN SİSMİK PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Faruk DENİZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Onur ONAT

AĞUSTOS 2023

**T.C**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ YUSUF ZİYA PAŞA CAMİSİNİN SİSMİK PERFORMANS**  
**DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Faruk DENİZ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Onur ONAT**

**AĞUSTOS 2023**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemededen beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Onur ONAT'a,

Çalıőmalarımnda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince debenden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

Çalıőmamda malzeme konusunda yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZDEMİR'e, yazılım desteği için Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Erkut SAYIN'a,

Tezin uygulama aşamasında vermiő oldukları maddi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine, teşekkür ederim.



## ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Tarihi Yusuf Ziya Pařa Camisinin Sismik Performans Deđerlendirmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dūřecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Faruk DENİZ



## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ .....	i
ONUR SÖZÜ .....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
3. YUSUF ZİYA PAŞA CAMİSİ .....	8
4. DENEYSEL MODAL ANALİZ.....	13
5. MALZEME ÖZELLİKLERİ TAYİNİ .....	17
5.1 Sahada malzeme özelliklerinin hesaplanması .....	17
5.2 Sayısal Model için Malzeme Kanunu.....	21
6. SAYISAL MODEL VE MODEL KALİBRASYON .....	23
7. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ .....	28
8. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ .....	34
9. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	48
KAYNAKÇA.....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 4.1:</b> Doğal Titreşim Frekansları.....	13
<b>Çizelge 4.2:</b> Deneysel modal analiz ile elde edilen dinamik karakteristikler .....	16
<b>Çizelge 4.3:</b> Ampirik ve deneysel olarak elde edilmiş frekansların kıyası .....	16
<b>Çizelge 5.1:</b> Kumlu tuf (Cami Girişi A Aksı).....	19
<b>Çizelge 5.2:</b> Riyolit Tuf (Cami Ana Kütle ve Türbe) .....	19
<b>Çizelge 5.3:</b> Sayısal model için hazırlanan malzeme özellikleri.....	21
<b>Çizelge 6.1:</b> Yığma malzeme özellikleri.....	24
<b>Çizelge 6.2:</b> Yığma malzemelerin doğrusal olmayan özellikleri .....	25
<b>Çizelge 6.3:</b> Ahşap malzeme özellikleri.....	25
<b>Çizelge 6.4:</b> Model güncelleme öncesi ve sonrasında frekanslar. ....	26



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: a) Cami künyesi, b) Caminin kuzeydoğusunda yer alan türbe .....	8
Şekil 3.2: Yusuf Ziya Paşa camisi ön cephe .....	9
Şekil 3.3: Ahşap hatıllı tavan .....	9
Şekil 3.4: 1961 Yılında sonradan yapılan ve camiye bitişik olmayan minare .....	10
Şekil 3.5: Cami ahşap giriş kapısı .....	11
Şekil 3.6: Ahşap pencereler.....	11
Şekil 3.7: Kuzey cephe ayak ve kemerler .....	12
Şekil 4.1: İvmeölçer yerleşimi .....	14
Şekil 4.2: Dinamik tanımlama için yapılan frekans ayrıştırma yöntemleri ve yapıya ait frekanslar.....	15
Şekil 4.3: Mod şekilleri.....	16
Şekil 5.1: a)N türü Schmidt çekici, b) Kalibrasyon cetveli.....	17
Şekil 5.2: UST cihazının kalibrasyonu.....	18
Şekil 5.3: a)Ölçüm yapılan duvar, b)UST cihazı ile ölçüm. ....	18
Şekil 5.4: Ölçüm sonrası. ....	19
Şekil 5.5: Basınç ve Çekme Dayanımları Tespiti İçin Kullanılan Model Grafikleri .....	22
Şekil 6.1: Tarihi Yusuf Ziya Camisinin 3 boyutlu modeli.....	23
Şekil 6.2: Caminin üstten görünüşü ve kullanılan malzemelere ait elemanlar. ....	24
Şekil 6.3: Kalibre edilmiş sayısal modelin ilk üç moda ait mod şekilleri.....	27
Şekil 7.1: Newton-Raphson iterasyon yöntemi.....	28
Şekil 7.2: Doğrusal olmayan itme analizinde göz önüne alınan düğüm noktaları.....	29
Şekil 7.3: Kısa doğrultu doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları.....	30
Şekil 7.4: Kısa doğrultuda yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu oluşan çatlaklar. ....	31
Şekil 7.5: Uzun doğrultuya ait doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları.....	32
Şekil 7.6: Uzun doğrultuda yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu oluşan çatlaklar. ....	33
Şekil 8.1: Zaman tanım alanında hesap için kullanılan deprem kayıtları. ....	35
Şekil 8.2: Yapının zaman tanım alanında elde edildiği ve okuma yapılan kontrol noktaları. ....	36
Şekil 8.3: 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ Depremine Ait Yusuf Ziya Paşa Camisinin Tepkisi.....	36
Şekil 8.4: Elazığ depremi sonrası ait Yusuf Ziya Paşa Camisine ait çatlak ilerlemesi. ....	38
Şekil 8.5: 23 Kasım 2011 Van-Edremit depremine ait yusuf ziya paşa camisinin tepkisi.....	39
Şekil 8.6: Yusuf Ziya Paşa Camisi'ne ait 2011 Van-Edremit depremi analizi sonrası çatlak ilerlemesi. ....	41
Şekil 8.7: 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Sonrası Yusuf Ziya Paşa Camisinin Tepkisi.....	42
Şekil 8.8: 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi sonrası Yusuf Ziya Paşa camisinin tepkisi. ....	43
Şekil 8.9: Deprem kayıtlarına ait kısa ve uzun doğrultulardaki deplasman değerleri. ....	44
Şekil 8.10: İki doğrultu için birleştirilmiş deplasman grafiği. ....	45
Şekil 8.11: Kısa ve uzun doğrultular için birleştirilmiş ivme-deplasman grafikleri. ....	46
Şekil 8.12: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası yapıda oluşan çatlaklar. ....	47

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>MPa</b>	: Megapaskal
<b>m</b>	: Metre
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>E</b>	: Uzun doğrultudaki uzunluk
<b>B</b>	: Kısa doğrultudaki uzunluk
<b>H</b>	: Yükseklik
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>dB</b>	: Desibel
<b>UST</b>	: Ultrasonik ses testi
<b>p</b>	: Primer
<b>s</b>	: Second
<b>UCS</b>	: Tek eksenli basınç dayanımı
<b>L</b>	: L tipi Schmidt çekici
<b>SCH</b>	: Schmidt çekici okuması sonucu elde edilen geri dönüş sayıları
$V_p$	: Primer dalga hızı
$V_s$	: Kayma dalga hızı
$E_{dyn}$	: Dinamik elastisite modülü
<b>E</b>	: Elastisite Modülü
<b>h</b>	: Yükseklik
<b>f</b>	: Kuvvet
$f_c$	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$E_x$	: X doğrultusunda elastik modül
$E_y$	: Y doğrultusunda elastik modül
$E_z$	: Z doğrultusunda elastik modül
$\mu_x$	: X doğrultusunda poisson oranı
$\mu_y$	: Y doğrultusunda poisson oranı
$\mu_z$	: Z doğrultusunda poisson oranı
$G_x$	: X doğrultusunda kayma modülü
$G_y$	: Y doğrultusunda kayma modülü
$G_z$	: Z doğrultusunda kayma modülü
<b>PGA</b>	: En büyük yer ivmesi
<b>f</b>	: Frekans
<b>max</b>	: Maksimum
<b>min</b>	: Minimum
<b>sn</b>	: Saniye



# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisinin Sismik Performans Değerlendirmesi

Faruk DENİZ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

53+viii sayfa

2023

Danışman: Doç. Dr. Onur ONAT

Geçmişten günümüze kalan kültürel miraslara, medeniyetler artan bir hızla önem vermektedir. Medeniyetlerin zenginliğini ifade eden bu tarihi kültürel mirasların asırlar boyu ayakta kalıp, amacına hizmet edebilmesi için, mevcut durumlarının değerlendirilmesi lazım. Mevcut durumları değerlendirildikten sonra, uygun güçlendirme teknikleri ile ömürlerinin uzatılıp gelecek nesillere aktarılması, geçmiş nesiller ile gelecek nesiller arasında bir köprü kurması önem arz etmektedir. Zengin kültür varlığımızı tehdit eden en büyük unsurlardan biri, ülkemizin büyük bir kısmında risk oluşturan deprem gerçeğidir. Deprem etkisinden en çok etkilenen yapılardan biri de tarihi yığma yapılardır. Tarihi yığma yapılar yapıldığı bölgenin mevcut malzeme imkanları ile yapıldığı için her yapı ayrı bir teknik ve mühendislik özelliğine sahiptir. Genelde Türkiye özelde Malatya gibi sismik aktivitesi yüksek bölgelerdeki tarihi yığma yapıların aktif bir şekilde kullanılmasından dolayı mevcut yapısal durumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tarihi yapıların mevcut sismik performansının bilinmemesi olası bir deprem durumunda büyük hasar almasına yol açabilir. Oluşacak hasarı minimuma indirmek, tamamen göçmenin önüne geçmek için yapının mevcut sismik performansının bilinmesi, sismik etki altındaki davranışının analiz edilmesi ve bu çalışmalar sonucu yapıda oluşabilecek hasarların öngörülmeyle çalışılarak tespit edilmesi ile uygulanacak güçlendirmelerle yapı servis ömrü uzatılabilir.

Bu çalışma kapsamında Malatya’da yer alan Yusuf Ziya Paşa Cami’sinin mevcut sismik performansı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapının 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulup, hasarsız test yöntemleri ile malzeme özellikleri hesaplanmıştır. Tarihi caminin doğal titreşim periyotları, iki eksenli ivmeölçerler ile çevresel titreşimlerden faydalanılarak belirlenmiş ve sonlu elemanlar modeli bu ölçüm sonuçlarına göre güncellenmiştir. Doğrusal olmayan analizler iki aşamada yapılmıştır. Önce doğrusal olmayan statik itme analizi yapıldı. Daha sonra ise 1 Mayıs 2003 Bingöl, 23 Kasım 2011 Van-Edremit ve 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ deprem kayıtları kullanılarak tarihi caminin doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen verilere dayanarak yapıda oluşması olası hasarlar belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisi, Sonlu Elemanlar Modeli, Hasarsız Test Yöntemi, Dinamik Tanımlama, Doğrusal Olmayan Analiz

## ABSTRACT

Master Thesis

Seismic Performans Evaluation of Historical Yusuf Ziya Pasha Mosque  
Faruk DENİZ

Inonu University  
Institute of Science  
Department of Civil Engineerin

52+viii sayfa

2023

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Onur ONAT

Civilizations are increasingly focusing on the cultural heritage that has survived from the past to the present. These cultural heritages express the richness of civilizations, all civilizations keep their heritages stable to survive for along the centuries and to serve their purpose. For this aim, current seismic conditions must be evaluated. After evaluating their current seismic conditions, it is important to extend their lifespan with appropriate strengthening techniques and transfer them to future generations to build a bridge between past and future generations. One of the biggest threats to our rich cultural heritage is the earthquake that poses a risk to a large part of our country. Majority of the structures that is mostly affected by the earthquakes is the historical masonry structures. Since historical masonry structures were built with the existing material possibilities of the region where they were built, each structure has a different technical and engineering feature. Due to the active use of historical masonry structures generally in Turkey and particularly in Malatya where is high seismic activity, it is necessary to assess their current seismic condition. It is necessary to estimate safety level of all cultural heritages after a possible earthquake. In order to minimize the damage and to prevent total collapse, the service life of the historical heritages should be extended by assessing the current seismic performance of the structure.

In this study, the existing seismic performance of Historical Yusuf Ziya Pasha Mosque in Malatya was evaluated. Within the scope of the study, a 3D solid finite element model of the historical mosque was generated and material properties were determined by non-destructive testing methods. The natural vibration periods of the historical mosque were determined dynamic identification utilizing biaxial accelerometers. Environmental vibrations were used for the dynamic identification. Finite element model was updated according dynamic characteristics. Nonlinear analyses were performed in two stages. Firstly, a nonlinear static analysis was performed. Then, nonlinear time history analyses of the historic mosque were performed using the earthquake records of May 1, 2003 Bingöl, November 23, 2011 Van-Edremit and January 24, 2020 Sivrice-Elazığ. Based on the drawn data from nonlinear analysis, possible damages to the structure were determined.

**Keywords:** Historical Yusuf Ziya Pasha Mosque, Finite Element Model, Non-destructive Testing, Dynamic Identification, Nonlinear Analysis

## 1. GİRİŞ

Geçmişte yaşamlarını sürdürmüş toplumlardan günümüze kalan yapılar tarihi eser olarak nitelendirilmektedir. Bu tarihi eserler geçmiş ile gelecek arasında kültürel bağ kurması açısından önem arz eden değerlerdir. Toplamların yaşadıkları dönemdeki kültürlerini, yaşayış biçimlerini ve değer yargılarını yansıtan bu kültürel mirasın fiziki yapısının ve dokusunun bozulmadan kendilerinden sonraki kuşaklara aktarımı için gereken önemin verilmesi toplumsal sorumluluktur. Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmı deprem tehlikesi altındadır. Tarihi yapıların ve özellikle tarihi yığma yapıların hasar almasına neden olan en büyük etken ise depremdir. Tarihi yığma yapılar, buldukları bölgelerin özelliklerine göre doğal taş, kil veya toprak gibi yöresel malzemelerden inşa edilen ve yapılaşma sürecinde farklı tekniklerin kullanıldığı yapılardır. Geçmiş toplamlar da genel olarak yığma yapı türünde eserler bırakmışlardır. Yığma yapıların homojen olmayan yapısı, karmaşık malzeme özellikleri ve farklı uygulama teknikleri bu yapıların her birini özgün kılmaktadır. Bu nedendirki tarihi mirasımızın büyük bir kısmı, sismik performansı bilinmediği ve halen kullanımda olduğu için, hem yapı hem de yapıyı kullananlar için risk taşımaktadır. Deprem etkisi altında, davranışı bilinmeyen yapının ağır hasar alması veya tamamen göçüp can ve mal kaybına neden olması kaçınılmaz olabilir. Tarihi mirasımızın güvenli bir şekilde ayakta kalıp gelecek nesillere aktarımı için yapılacak çalışmalarla depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi gerekmektedir. Farklı dönemlerde yapılan onarım çalışmaları her ne kadar yapıların ayakta kalmasına yardımcı olsa da, bu çalışmalar gerekli akademik çalışmaların yapılmamasından dolayı yetersiz kalmaktadır. Günümüz teknolojisi ile yapılacak performans analizlerinin sonuçlarına göre onarım ve güçlendirmelerin yapılması kaçınılmazdır. Yapılacak performans analizleriyle tarihi yapıların deprem altındaki davranışları öngörölmeye çalışılıp, hasar alması muhtemel yerlerinin belirlenerek uygulanacak en uygun güçlendirmelerle ağır hasarların veya toptan göçme durumunda meydana gelmesi tüm akademik çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmalarla önce can ve mal kayıplarının daha sonra ise kültürel miras kayıplarının önüne geçmek amaçlanmaktadır.

## 2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Tarihi mirasımızın gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi için deprem riski yüksek olan alanlarda bu tarihi eserlerimiz korunması öncelikli yapılar arasına alınıp geleceğe güvenle devredilmesi için birçok çalışma yapılmıştır.

Koçak (1999) tarafından yapılan çalışmada Küçük Ayasofya Camii eski adıyla Sergius ve Bacchus Kilisesi incelenmiştir. Cami MS. 527-536 yılları arasında inşa edilmiştir. Günümüzde İstanbul'un kullanılabilir en eski yapılarından biridir. Düzgün olmayan dikdörtgen şeklinde bir plana sahiptir. Yapının inşasında esas malzeme olarak tuğla, taş ve harç kullanılmıştır. Taşlar killi kalker, diyomitli kalker ve travertendir. Doğu-Batı doğrultusunda 44 metre Kuzey-Güney doğrultusunda ise 28 metre genişliğindedir. Yapının iç yüzeyi tamamen sıvalıdır. Cami 1937 ve 1955 yıllarında iki büyük onarım geçirmiştir. Caminin modellenmesinde, lineer, non-lineer ve dinamik analizlerinin yapılmasında LUSAS program yazılımı kullanılmıştır. Modelde 4000 adet üçgen solid eleman, 1600 adet dörtgen solid eleman ve 30 adette çubuk eleman olmak üzere 5630 civarı eleman kullanılmıştır. Toplam 28012 düğüm noktası vardır. Yapılan modelleme ve analiz çalışmaları sonucu yapıda oluşmuş ve oluşması muhtemel çatlak ve hasarlar için onarım ve güçlendirme tavsiyelerinde bulunulmuştur.[1]

Şeker ve diğ. (2013) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise Tarihi Erzurum Lala Paşa Camisinin yapısal davranışı incelenmiştir. Cami, esas olarak bir külliye olarak tasarlanmış ve bu kapsamda camiyle birlikte saray, hamam, şadırvan ve mektep inşa edilmiştir. Ancak zaman içinde saray, şadırvan ve mektep yıkılmış ve günümüze sadece Lala Paşa Camisi ve hamamı ulaşabilmiştir. Modelleme için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Caminin doğal titreşim modları deneysel modal analiz ile belirlenmiştir. Modelde kullanılan malzemelerin mühendislik özellikleri literatürde önerilen değerlerden alınmıştır. Dinamik analizde 1992 Erzincan Depremi ivme kayıtları kullanılmıştır.[2]

Çarhoğlu ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada Kars Kümbet Camisinin deprem davranışı incelenmiştir. Cami'nin hangi tarihte inşa edildiği tam olarak bilinmemekle beraber 10.yüzyılda inşa edildiği tahmin edilmektedir. Yapının malzemesinin bazalttan yapıldığı belirtilmiştir ve duvarlar düzgün kesme taş ile inşa edilmiştir. Cami SAP2000

sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiştir. Dinamik analiz için 20 adet gerçek deprem ivme kaydı seçilmiş ve yapıya zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda sırasıyla x ve y yönünde en büyük yer değiştirme değerleri 126.01mm ve 93.81 mm, çekme gerilmesi değerleri 2.2 Mpa ve 1.7 Mpa, basınç gerilmesi değerleri 2.25 Mpa ve 1.98 Mpa olarak bulunmuştur.[3]

Onat ve diğ.(2016) tarafından yapılan çalışmada Elti Hatun Camii incelenmiştir. Cami 1251 yılında Artuklu hükümdarı Uzun Hasan tarafından yaptırılmıştır. Cami çok sayıda tonoz ve kemerden oluşmaktadır. Yapının geometrik özellikleri yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir. Sayısal modelleme DIANA programında yapılmıştır. Model 530.042 düğüm ve 232.264 elemandan oluşmaktadır. Model oluşturulduktan sonra yapının birim hacim ağırlığı ve çatıdan gelen ölü yük hesaplanmıştır. Cami bazalt taşından inşa edilmiştir. Malzeme özellikleri literatürden alınmıştır. 2014 Temmuzda restorasyon çalışması yapılmıştır. Model üzerinde önce lineer elastik analiz daha sonra ise iki yönde doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. İtme analizinde tonoz ve kemerlerin daha zayıf davranış gösterdiği görülmüştür. Malzeme özelliklerindeki belirsizlikler nedeniyle yapılan çalışma caminin sismik performansı hakkında bir tahmin niteliği taşımakla beraber sonuçlar yapının performansının kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.[4]

Altunışık ve Genç (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada Van ilinde yer alan Hüsrev Paşa Camii incelenmiştir. Camii Van valisi Hüsrev Paşa tarafından 1567-1568 yılları arasında yaptırılmıştır. Caminin bir büyük beş küçük kubbesi vardır. Ana gövde 15.00 x 15.20 metre ölçülerinde plana sahiptir. Cami duvarları ortalama 2 metre olup kesme taştan yapılmıştır. Duvarların bazı yerlerinde kireç taşı da kullanılmıştır. Geçiş elemanları ve kubbeler ise tuğladan inşa edilmiştir. Caminin silindirik gövdeli bir minaresi vardır. Cami aktif deprem bölgesinde yer almaktadır. Yapısal çatlaklar, malzeme deformasyonları, taşıyıcı sistemin deforme olmuş parçaları ve çevresel etkiler sebebiyle yapıda bozulmalar meydana gelmiştir. 2011 Van depreminde cami ciddi hasarlar almıştır. Cami SAP2000 programında her biri üç serbestlik derecesine sahip 3 boyutlu katı elemanlar kullanılarak 16 pencere açıklıklı ve 8 pencere açıklıklı olarak farklı şekillerde modellenmiştir. Yapılan restorasyonun sonuçlarının daha iyi test edilebilmesi için deprem ivmeleri x,y ve z yönlerinden etki ettirilmiştir. Analizler sonucunda maksimum yer değiştirmeler, maksimum-minimum asal gerilmeler ve kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda camide pencere açıklıklarının azaltılmasının duvarlarda bütünlük sağlayacağı ve bu durumda yapıyı destekleyeceği sonucuna varılmıştır.[5]

Aşıkoğlu (2018) tarafından yapılan çalışmada Kütahya Kurşunlu Camii incelenmiştir. Cami 13 metre uzunluğunda ve 9.3 metre genişliğinde dikdörtgen plana sahiptir. Ana gövde inşaasında kesme taş ve tuğla kullanılmıştır. Taşıyıcı duvarlar yığma olarak inşa edilmiş ve dış tabaka kesme taştan yapılmıştır. Taşıyıcı duvarların i tabakasında ise moloz taş kullanılmıştır. Cami asırlardır ayakta kalmış olsada doğal ve yapay kaynaklı hasarlar almıştır. zgn mimarisinde değişimler meydana gelmiştir. 2013 yılında bir restorasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın temel amacı caminin sismik performansının incelenmesidir. Caminin sayısal modellemesi DIANA programı kullanılarak güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş model olarak yapılmıştır. Malzeme zelliklerinin tayini için tahribatsız test yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra Operasyonel Modal Analiz yapılmıştır. Deneysel ve sayısal analizle bulunan frekanslar arasındaki farkın %1 den az olduğu grlmştir. Elde edilen değerlere göre model güncellenmiştir. Çalışma sonucunda yapıda daha önce meydana gelen hasarların bağlantı eksikliğinden olabileceği sonucuna varılmıştır.[6]

Kocaman ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin yapısal davranışının statik ve dinamik açıdan incelenmiştir. Medrese 33.4 m x 24.4 m boyutlarında dikdörtgen bir yapıya sahiptir. Yapının doğusunda bulunan kümbet ise 12 m x 6 m boyutlarındadır. Yapının ana duvar kalınlığı yaklaşık olarak 130 cm'dir. Yapının taş dayanımını belirlemek için hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt sertlik çekici kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda kesme taş kısmında dayanım 44.7 MPa olarak belirlenmiştir. Horasan harcının basınç dayanımı 5.5 MPa, birim hacim ağırlığı ise 17.6 kN/m<sup>3</sup> olarak tayin edilmiştir. Çalışmada katı model SolidWorks programı kullanılarak oluşturulmuştur. Sonlu elemanlır modeli için ise ANSYS programı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, gerilmelerin ve yer değiştirmelerin küçük değerlerde kaldığı, yapının statik yükler altında, elemanlarının az zorlandığı ve statik açıdan yapının gayet iyi durumda olduğu grlmştir. Dinamik yüklerin etkidiği analizlerin sonucunda ise, yapıda oluşan en büyük yer değiştirmelerin ve gerilmelerin minarenin duvarlarla birleştiği kısmında yoğunlaştığı ve bu bölümün sismik davranış açısından dikkate alınması gereken kısım olduğu anlaşılmıştır.[7]

Işık ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada Ahlat ilçesinde yer alan Kadı Mahmut Camii'nin minaresi incelenmiştir. Cami 17.48 metre x 13.39 metre ebadında bir plan üzerine inşa edilmiştir. Yapıda ana malzeme olarak Ahlat taşı kullanılmıştır. Minarenin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için önce modal analizleri yapılmıştır. Hazırlanan sonlu

eleman modeli toplam 835 adet düğüm noktası ve 769 adet eleman ile oluşturulmuştur. Modal analizler yapılarak minarenin dinamik özellikleri belirlenmiştir. Ahlat taşının malzeme özellikleri hasarlı deneysel yöntem ile belirlenmiştir. Gerilme hesaplamaları için sabit, hareketli ve deprem yükleri dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda minarenin ana ögesi olan Ahlat taşının doğal süreçlerden dolayı zaman içerisinde meydana gelen özellik kaybı ve tahribatlar yapının taşıyıcılık özelliğini etkileyebilecek olup yapılacak restorasyon ve güçlendirme çalışmalarıyla bu bozulmanın önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır.[8]

Aksoy ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada Diyarbakır Ulu Camii incelenmiştir. Camii Anadolunun en eski camilerinden biridir. Yaklaşık 4000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Cami olarak kullanılmadan önce havra ve kilise olarak da kullanılmıştır. Farklı dönemlerdeki birçok onarım ve yapılan eklentilerle bugünkü halini almıştır. Taş ve harç kullanılarak inşa edilen caminin malzeme özelliklerini belirlemek için hasarsız test yöntemleri kullanılmıştır. Taş malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için Schmidt Çekici Testi ve Ultrases Deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu kullanılan taşın bazalt olduğu anlaşılmıştır. Dış duvarların ve kolonların birim hacim ağırlıkları sırasıyla 2.85 ve 2.28 t/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Ultrases ölçümleri sonuçlarına göre ise kolonlardaki ortalama elastisite modülü 26129 KPa olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar ile ana malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir.[9]

Usta ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada incelenmek üzere tarihi Başdurak camisi seçilmiştir. Seçilen tarihi cami, mimari boyutlarına uygun bir şekilde SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Modelleme aşamasında kabuk ve katı eleman olmak üzere 2 tip elemandan yararlanılmıştır. Modelleme de kullanılan yapı malzemesi özelliklerinin belirlenmesinde ise yapının inşa edildiği dönem malzeme özellikleri araştırılmış ve literatür çalışmaları incelenmiştir. Tarihi yığma caminin sismik değerlendirmesi yapının üç boyutlu olarak zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilerek yapılmıştır. Yapının spektrumuna uygun olarak ölçeklendirilmiş 11 adet deprem kaydı uygulanmıştır. Yapıya uygulanacak deprem hareketi X ve Y yönlerinde olmak üzere iki farklı yönde uygulanmıştır. Bu tarihi yığma yapının sismik performansları çeşitli deprem seviyeleri için belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapıdan yer değiştirme, gerilme (çekme ve basınç) ve taban kesme kuvveti değerleri hesaplanmıştır.[10]

Ural ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada Gaziantep Nizip Tahtani Cami incelenmiştir. Yapının mevcut durumu incelendiğinde caminin beden duvarlarında yapısal hasarlar belirlenmiştir. Yapının sayısal modeli için LUSAS yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada caminin yapısal hasarlarının nedenleri belirlenmek istenmiştir. Cami sütunları kare kesitli olup yükseklikleri yaklaşık 2.5 metredir. Minare ise camiden ayrı inşa edilmiş olup yaklaşık 33 metre yüksekliğe sahiptir. Çalışmada zati yük analizi ve deprem spektrum analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda zati yük analizinde çekme gerilmesi 0.06 MPa, basınç gerilmesi ise 0.17 MPa bulunurken, deprem spektrumu analizinde ise çekme gerilmesi 0.03 MPa basınç gerilmesi 0.01 MPa olarak bulunmuştur. Saha çalışmaları ve sayısal analizler sonucunda yapıya uygulanacak restorasyon için önerilerde bulunulmuştur.[11]

Çakır (2021) tarafından yapılan çalışmada Van'da yer alan Kaya Çelebi Camii incelenmiştir. 1663 yılında yapımı tamamlanan cami 16.20 x 16.20 metre ölçülerinde kare plana sahiptir. Ana gövde 7.5 metre yarıçaplı kubbe ile örtülüdür. Ana kubbeyi destekleyen 8 kemer, küçük kubbeler, sütunlar ve gergilerden oluşmaktadır. 23 Ekim 2011 Van depreminde minaresinin külah kısmı yıkılmıştır. 09 Kasım 2011'de meydana gelen ikinci depremde ise ana kubbe ciddi şekilde hasar almıştır. Malzeme deformasyonundan kaynaklı olarak da caminin genelinde bozulmalar meydana gelmiştir. Camide ana yapı malzemesi olarak kesme taş ve tuğla kullanılmıştır. Sütunlarda ise mermer kullanılmıştır. Yapının sayısal modellemesi SAP2000 programında yapılmıştır. Modellemede dört düğümlü elemanlar tercih edilmiştir. Model 29567 düğüm, 270 kiriş ve 27123 kabuk elemandan oluşturulmuştur. Doğrusal zaman tanım alanında yapılan analizlerle malzeme özellikleri belirlenmiştir. 2011 Van Depremi kayıtları kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. İlk deprem için 8.059 mm ve 8.055 mm ikinci deprem için ise sırasıyla 9.795 mm ve 9.740 mm yer değiştirmeler elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda tarihi yapıların tasarım ve analiz süreçlerinde yatay yüklerin yanı sıra yapıya gelebilecek düşey yüklerin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca tarihi yapılara uygulanacak güçlendirme çalışmalarında da bu dikey kuvvetlerin dikkate alınması tavsiye edilmiştir.[12]

Coşgun ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada Kastamonu'da yer alan Atabey Gazi Camii incelenmiştir. Cami 1273 yılında inşaa edilmiştir. 40 sütunlu cami olarak da bilinmektedir. Ana gövdenin kuzeybatısında tek şerefeli bir minaresi de bulunmaktadır. Ahşap çatılı bu camide döşemelerde tuğla, mozaik ve yer yer ahşap da kullanılmıştır. Ana

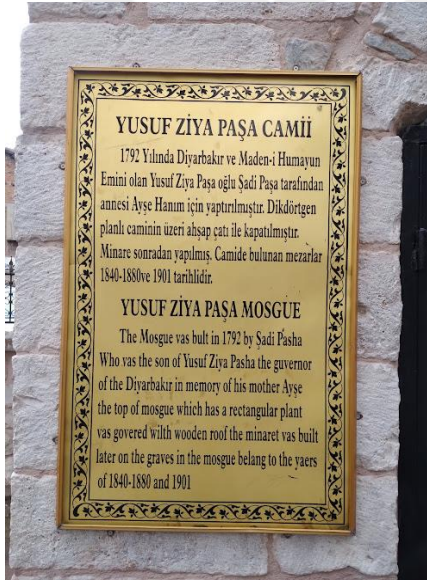


gövde inşasında moloz taşı ve harç kullanılmıştır. Yapının dış duvarlarında zamana bağlı olarak fiziksel bozulmalar meydana gelmiştir. Geçmiş dönemlerde yapılan restorasyon çalışmaları ile caminin dokusunda bozulmalar meydana gelmiştir. Bu tarihi yığma caminin sayısal modeli MIDAS Gen programı kullanılarak oluşturulmuştur. Model üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapı modlarını belirlemek için ise modal analiz yapılmıştır. Cami için doğrusal sismik performans analizi yapılmıştır. Bu analiz yaklaşımı, binanın sismik yükler altında doğrusal elastik davranış gösterdiğini varsayar. Çalışma kapsamında sismik analizler yapılarak, elde edilen sonuçlar çerçevesinde tarihi ve kültürel açıdan önemli olan bu cami külliyesinin gelecekte var olabilmesi için gerekli restorasyon ve güçlendirme önerileri değerlendirilmiştir.[13]

Literatürdeki özetlenen yukarıdaki çalışmalar ışığında, bu tez kapsamında ise Tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisi'nin sismik performans değerlendirmesi yapılmış, bu amaçla hem doğrusal olmayan statik itme analizi hem de üç adet gerçek deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Sayısal modelde görsel olarak elde edilen çatlaklar, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerden sonra yapıda oluşan çatlaklarla kıyaslanmıştır.

### 3. YUSUF ZİYA PAŞA CAMİSİ

Malatya ili merkez Battalgazi ilçesi İzzetiye Mahallesine ait Mücelli Caddesi üzerinde yer alan Yusuf Ziya Paşa Camisi 1792 yılında Yusuf Ziya Paşa tarafından yaptırılmıştır. 2014 yılında 1.grup yapı olarak belirlenip koruma altına alınmıştır. Paşa ve Halvetiye isimleriyle de anılan cami doğu-batı doğrultusunda inşa edilmiş olup bir avlu içerisinde yer almaktadır. Cami kuzey tarafında son cemaat yeri, kuzeydoğusunda türbe ve kuzeybatısında ise 1961 yılında sonradan yapılan minaresinden oluşmaktadır. Cami minareye bağlı değildir. Camiye 2007 yılında bir restorasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 3.1’de camiye ait kitabe (a) ve türbe (b) görülmektedir



a)



b)

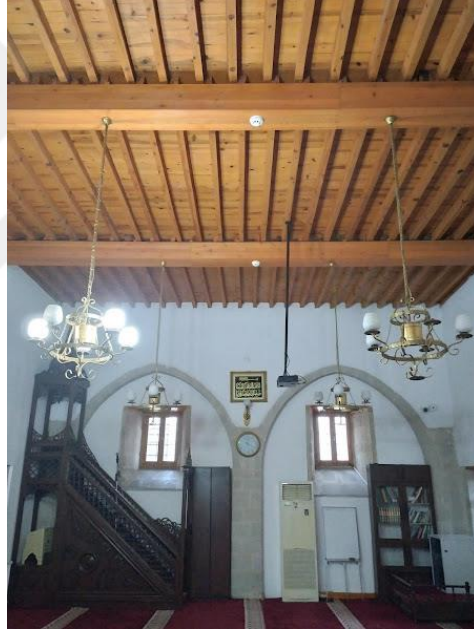
**Şekil 3.1:** a) Cami künyesi, b) Caminin kuzeydoğusunda yer alan türbe

Cami yığma olarak taş malzemeden inşa edilmiştir. Duvarlarda kullanılan taşlar yontma taştır. Taşın çeşidi ise Volkanik Tüf grubuna ait Riyolittir. Caminin ön cephesinde yer alan aks ise sonradan dahil edilmiş olup aynı malzemeden yapılmıştır. Cami ve türbenin geneli yapılırken harç tabakası 2 cm kalınlığa kadar ulaşırken, Şekil 3.2’de görülen aks yapılırken ise harç kalınlığı 2 mm’den daha fazla değildir.



**Şekil 3.2:** Yusuf Ziya Paşa camisi ön cephe

Ön cephede düzgün kesme taş kullanılarak inşa edilen caminin tavanı ahşap hatıllı olmakla beraber son cemaat yerinin zemini taştır.



**Şekil 3.3:** Ahşap hatıllı tavan

Dikdörtgen planlı cami dıştan dışı 17.0mx9.40m, içten içe ise 14.50x7.40 m ebatlarında inşa edilmiştir. 1961 yılında yapılan minaresi ise silindirik gövdeli, tek şerefeli ve konik külahlıdır. Minarenin genelinde kaide travertenden, gövde tuğladan, merdiven ve orta şaft ise betondan imal edilmiştir. Minare Şekil 3.4’de görülebilir.



a).



b).



c).

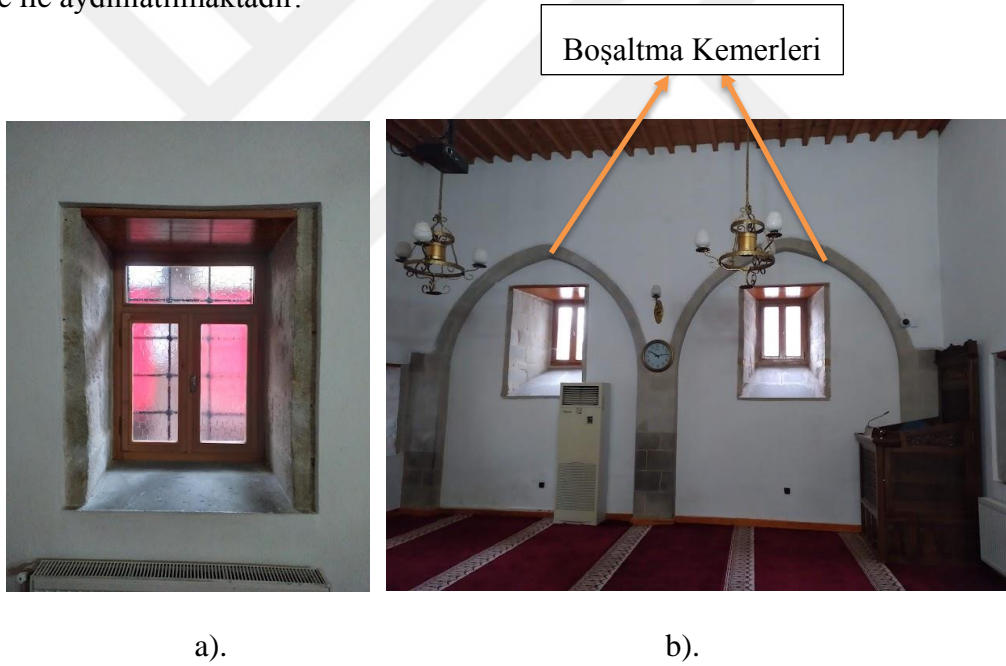
**Şekil 3.4:** 1961 Yılında sonradan yapılan ve camiye bitişik olmayan minare

Cami içine kuzey cephede yer alan basık kemer içine yerleştirilmiş ahşap kapıdan giriş yapılmaktadır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5:** Cami ahşap giriş kapısı

Cami içi, Şekil 3.6 a)'da gösterilmiş olan, toplam 16 adet dikdörtgen şeklinde ahşap pencere ile aydınlatılmaktadır.

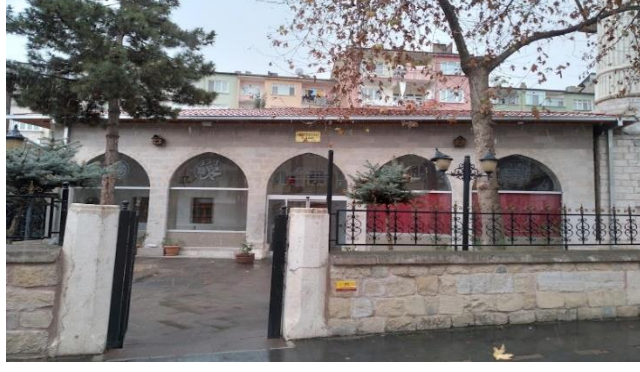


a).

b).

**Şekil 3.6:** Ahşap pencereler

Cami iç mekanının doğu ve batı duvarlarında ise Şekil 3.6 b)'de görülen boşaltma kemerleri mevcuttur. Son cemaat yeri Şekil 3.7'de görüldüğü gibi beş adet sivri kemer ve dört adet kesme taştan yapılmış ayaklardan oluşmaktadır. Cami çatısı ise dört yöne eğimli kırma çatı şeklindedir.



**Şekil 3.7:** Kuzey cephe ayak ve kemerler



#### 4. DENEYSEL MODAL ANALİZ

Bu aşamada tarihi yığma camilerin deprem esnasındaki performansını etkileyen dinamik karakteristikleri hesaplanmıştır. Fakat öncesinde doğal titreşim periyodunu ampirik olarak hesaplamak için literatürde yer alan üç adet formülasyon ile dinamik tanımlama yapılmadan birinci, ikinci ve üçüncü doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Önerilen eşitlikler, ahşap düz döşemeli çatıya sahip tarihi yığma camiler için tavsiye edilmiştir. Eşitliklerde yer alan değişkenler tarihi yığma camilerin fiziksel ebatlarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Bu formüller aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

Geometrik özellikler, yapının kısa doğrultudaki uzunluğu 7.42 m (B), uzun doğrultudaki uzunluğu 14.65 m (E) ve yüksekliği 6.35 m (H) olmak üzere;

$$f_1 = 4.591 + 0.170E - 0.362B + 0.442H \quad (4.1)$$

$$f_2 = 4.405 + 0.452E - 0.539B + 0.560H \quad (4.2)$$

$$f_3 = 5.823 + 0.661E - 0.854B + 0.924H \quad (4.3)$$

**Çizelge 4.1:** Doğal Titreşim Frekansları.

Frekans Numarası	Frekans (Hz)
$f_1$	3.36
$f_2$	3.42
$f_3$	4.08

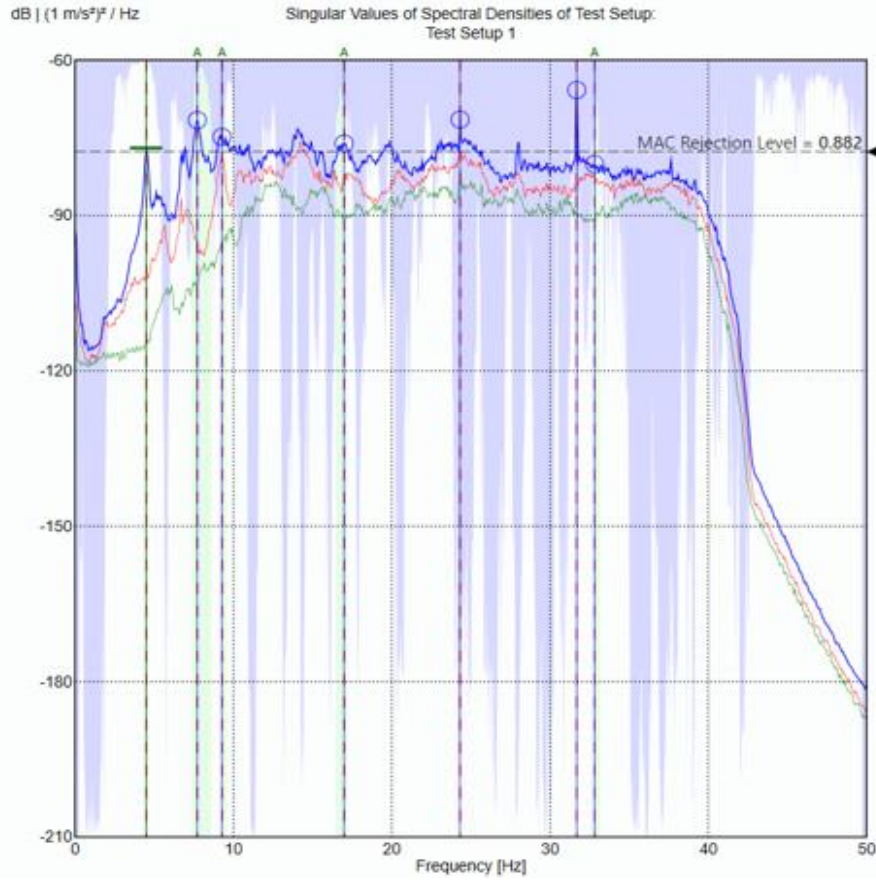
Ampirik formülleri kullanılarak tarihi yığma caminin doğal titreşim frekansları Hertz cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan bu frekanslar yukarıdaki tabloda sunulmuştur.

Daha sonra dinamik tanımlama için yapıya 4 adet iki eksenli ivmeölçer yerleştirilmiştir. Bu ivmeölçerler yapının ahşap çatı arasına ana dikmelerin önüne yerleştirilmiştir. Dinamik tanımlamaya ait görseller Çizelge 4.1’de verilmiştir.



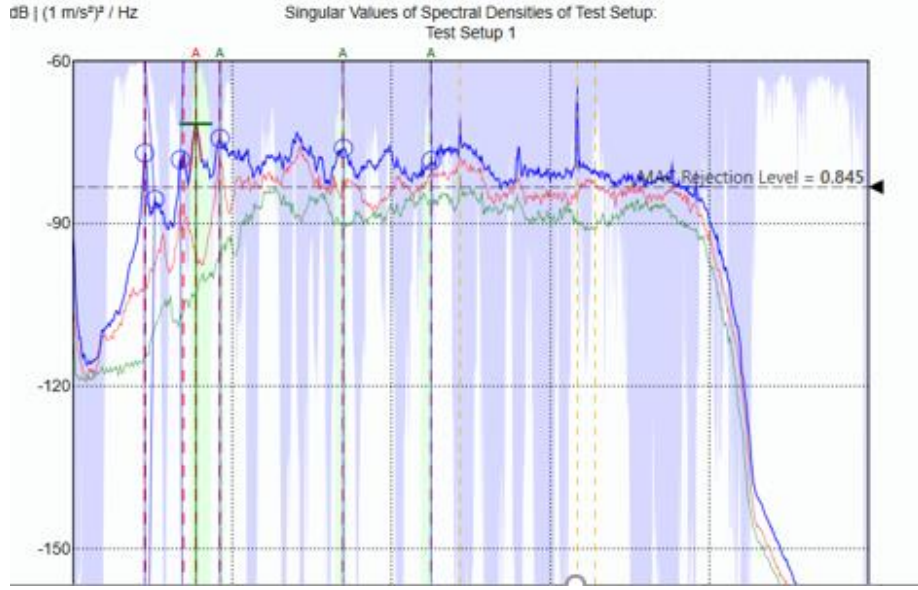
Şekil 4.1: İvmeölçer yerleşimi

Çevresel titreşimler ile yapılan ölçümlerin akabinde ARTEMİS [14] programı kullanılarak yapıya ait veriler işlenerek dinamik karakteristikler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken frekans tanım alanında ayrıştırma ve geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma ile dinamik karakteristikler hesaplanmış ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



a) Frekans tanım alanında ayrıştırma

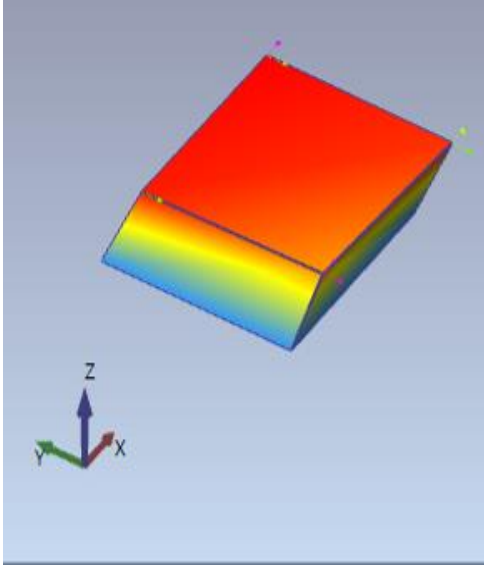




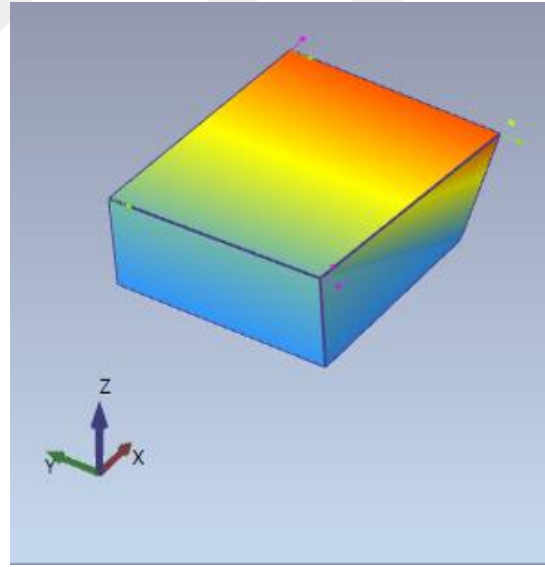
b) Arttırılmış frekans tanım alanında ayırıştırma

**Şekil 4.2:** Dinamik tanımlama için yapılan frekans ayırıştırma yöntemleri ve yapıya ait frekanslar

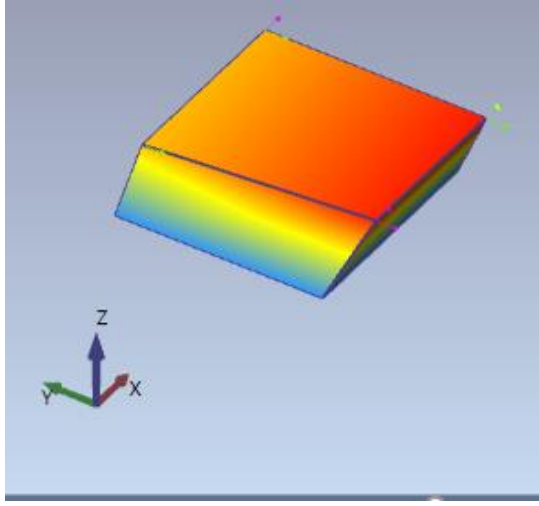
Bu frekans ayırıştırılmaları yapıldıktan sonra tarihi camiye ait ilk dört mod şekli de Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



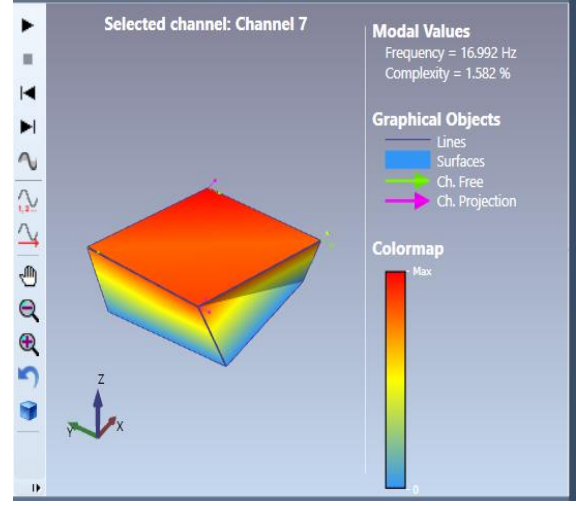
a)  $f_1=4.49$  Hz



b)  $f_2=7.71$  Hz



c)  $f_3=9.28\text{Hz}$



d)  $f_4= 16.99 \text{ Hz}$

**Şekil 4.3:** Mod şekilleri.

**Çizelge 4.2:** Deneysel modal analiz ile elde edilen dinamik karakteristikler

Frekans No	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı [%]
1	4.49	3.43
2	7.71	2.85
3	9.28	2.22
4	16.99	3.09

Ampirik formüllerle yapılan hesaplamalar ile dinamik tanımlama ölçümlerinin kıyası Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3:** Ampirik ve deneysel olarak elde edilmiş frekansların kıyası

Mod frekans no (Hz)	Ampirik	Deneysel	Fark (%)
1	3.36	4.49	25.2
2	3.42	7.71	55.6
3	4.08	9.28	56.0
Ortalama			45.6

Ampirik formüllerle hesaplanan değerlerin ilk üç modunda % 45.6 fark olmakla birlikte, literatürdeki formüllerin dinamik tanımlamaların sayısı arttıkça güncellenmesi gerekmektedir.

## 5. MALZEME ÖZELLİKLERİ TAYİNİ

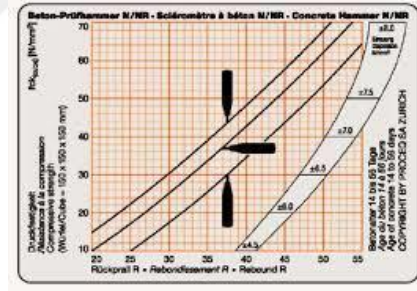
### 5.1 Sahada malzeme özelliklerinin hesaplanması

Bu tez kapsamında incelenen tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisinin malzeme özelliklerinin tayini için hasarsız test yöntemleri kullanılarak saha çalışmaları yapılmıştır ve aşağıdaki adımlar izlenerek şu şekilde belirlenmiştir:

N türü Schmidt Çekici (Şekil 5.1a) kullanılarak geri tepme sayısı belirlenmiştir. Daha sonra bu geri tepme sayılarının ortalama değeri alınarak kalibrasyon cetvelinden (Şekil 5.1b) basınç dayanımı (kübik basınç dayanımı) MPa cinsinden belirlenmiştir.



a)



b)

Şekil 5.1: a) N türü Schmidt çekici, b) Kalibrasyon cetveli.

Proceq marka Ultrasonik Ses Test cihazı (UST) kullanılarak ise önce P dalgası ve S dalgası ölçümleri yapılmıştır. Bu dalga değerleri kullanılarak, taş malzemenin birim hacim ağırlık ve poisson oranı belirlenmiştir.

Ultrasonik Ses Test Cihazı (UST) ile sahada ölçümlere başlamadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 5.2).



**Şekil 5.2:** UST cihazının kalibrasyonu.

Kalibrasyondan sonra yerinde ölçüm işlemlerine geçildi. UST cihazının başlıkları aynı eksende birbirine paralel olarak şekilde tutulmuş önce “P” dalgası daha sonra da başlık değiştirilerek “S” dalgası gönderilerek ölçümler yapılmıştır.



**Şekil 5.3:** a) Ölçüm yapılan duvar, b) UST cihazı ile ölçüm.



**Şekil 5.4:** Ölçüm sonrası.

Genel olarak caminin sayısal modeli için üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bunlar ahşap, Riyolit tuf ve kumlu tuf olarak sıralanabilir. Şekil 3.2’de görülen ön cephede kumlu tuf, caminin geri kalan kısımlarında ise Riyolit tuf kullanılmıştır. Caminin ön cephesi hariç geri kalan kısımlar için altı Schmidth çekici ile altı tane de UST test cihazı ile okuma yapılmıştır. Schmidth çekici ve UST cihazı ile elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Kumlu tuf (Cami Girişi A Aksı)

S. No	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Birim hacim ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	E dyn (Mpa)	Vdyn (Dinamik poisson oranı)	Schmidt okuma(küp)
1	3167	2502	2.33	19502	0.28	44
2	3302	2543	2.35	23449	0.28	53
3	3376	2363	2.36	26911	0.28	46
4	3177	2382	2.33	22644	0.28	51
5	3132	2318	2.32	22296	0.28	44
6	3231	2326	2.34	24330	0.28	47
Ort.	3231	2406	2.34	23189	0.28	47

**Çizelge 5.2:** Riyolit Tuf (Cami Ana Kütle ve Türbe)

S. No	Vp (m/s)	Vs (m/s)	birim hacim ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	E dyn (Mpa)	Vdyn (Dinamik poisson oranı)	Schmidt okuma
1	2995	2156	2.29	20513.1	0.19	44
2	2974	2171	2.29	20060.2	0.17	45
3	3108	2300	2.31	21910.7	0.17	46
4	3051	2349	2.30	19627.9	0.20	49
5	3180	2258	2.33	23537.7	0.22	45
6	3160	2275	2.32	23143.8	0.18	44
Ort	3078	2251.6	2.3	21465.5	0.2	45.5

Bu değerler Schmidt Çekici kullanılarak elde edilmiş olup geri dönüş sayıları literatürden elde edilen ve Denklem 1’de verilen bağıntı yardımıyla [15], dayanımların ortalama değeri alınıp taş malzemeye ait basınç dayanımı bulunmuştur.

$$UCS = 1.4459e0.0706SCH(L) \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de UCS, Tek Eksenli Basınç Dayanımını; L, Kayaları test etmek için L tipi Schmidt Çekicini; SCH ise Schmidt Çekici okuması sonucu elde edilen geri dönüş sayılarını göstermektedir.

Tablo 5.1 ve 5.2’de görülen birim hacim ağırlıklar Denklem 2’de yer alan formül ile hesaplanmıştır.

$$\rho = 0.31V_p^{0.25} \quad (5.2)$$

$\rho$ : Birim hacim ağırlığı,  $V_p$ : “P” Dalga Hızını gösterir.[16]

Dinamik poisson oranı ise Denklem 3’te verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\nu_{dyn} = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (5.3)$$

Denklem 3’te yer alan  $\nu_{dyn}$ , Dinamik poisson oranını;  $V_p$ , “P” dalga hızını,  $V_s$  ise kayma dalga hızı “S” yi göstermektedir. (5.3) [17]

Dinamik elastik modülleri ise Denklem 4’te verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$E_{dyn} = \frac{pV_s^2(3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (5.4)$$

$E_{dyn}$ , Dinamik elastisite modülü [18]

Daha sonra bulunan bu basınç dayanımı, Dayaratnam ve diğ. (2007)’in[19] önerdiği formülasyon kullanılarak Denklem 2 de gösterilen formül yardımıyla yığma elemana ait basınç dayanımına çevrilmiştir.

$$f_{yığma} = 0.275 * f^{0.5} \text{ basınç, taş} * f^{0.5} \text{ basınç, harç} \quad (5.5)$$

Denklem 1’deki formülde yer alan parametreler arasında sadece kesme taş elemanı oluşturan malzemenin basınç dayanımı değil aynı zamanda kullanılan harca ait dayanım da yer almaktadır. Harç için basınç dayanımı Schmidth çekici ile çok yüksek çıktığı için gerçeği temsil etmediği düşünülmüştür. Bu sebeple harcın basınç dayanımı 1 MPa olarak alınmıştır. Denklem 1’den elde edilen değer kullanılarak yığma elemanın elastisite modülü Denklem 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{yığma} = 830 * f_{basınç}, yığma \quad (5.6)$$

Yığma eleman ile ilgili Eurocode 6’da önerilen katsayı her ne kadar 1000 olmasına rağmen, bu değer kullanıldığında belirlenen malzeme özellikleri ölçülen doğal titreşim frekanslarından çok fazla çıkmıştır. Bu katsayı değiştirilerek elde edilen frekans değerleri arasında kalibrasyon yapılmıştır ve nihai olarak 830 katsayısı belirlenmiştir. Sayısal modele tanıtılan malzeme özellikleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

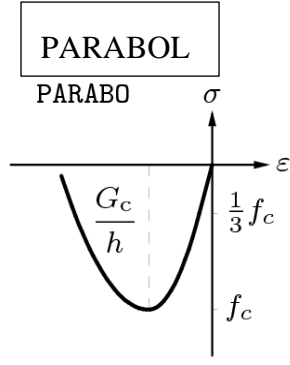
**Çizelge 5.3:** Sayısal model için hazırlanan malzeme özellikleri.

Malzeme	Birim hacim ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	E <sub>dyn,b</sub> (GPa)	Dyn Poisson Taş	Dyn Poisson Harç	F <sub>cb</sub> (Mpa)	F <sub>cm</sub> (Mpa)	Yığma elemanın malzeme özelliği (MPa)	Yığma eleman Basınç Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (MPa) Dayaratnam et al. (2007)	Kırılma Enerjisi (N/m)
A Aksı	2.32	18.83	0.23	0.05	35.5	1	1.64	1.64	1360	15.69
Yığma	2.34	9.45	0.29	0.05	40.1	1	1.74	1.74	1445.4	15.74

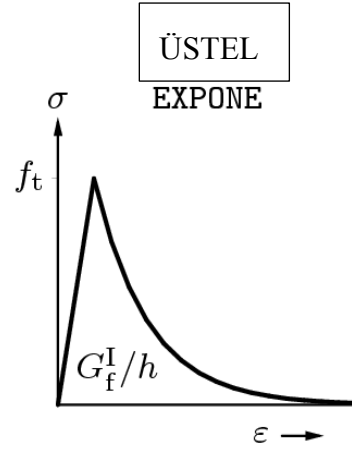
Saha çalışmaları ile elde edilen bu değerler sayısal model oluşturulduktan sonra yapılan analizlerle güncellenmiştir.

## 5.2 Sayısal Model için Malzeme Kanunu

Tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisinin malzeme özellikleri belirlenirken malzeme kanunu olarak yığma yapılarda kullanılan “Toplam Deformasyon Tabanlı Dönel Çatlak Modeli” kullanılmıştır. Bu malzeme kanunlarında hesaplamaya dahil edilen ve homojen yığma elemanın basınç ve çekme modelleri Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



a) Basınç Dayanımı İçin



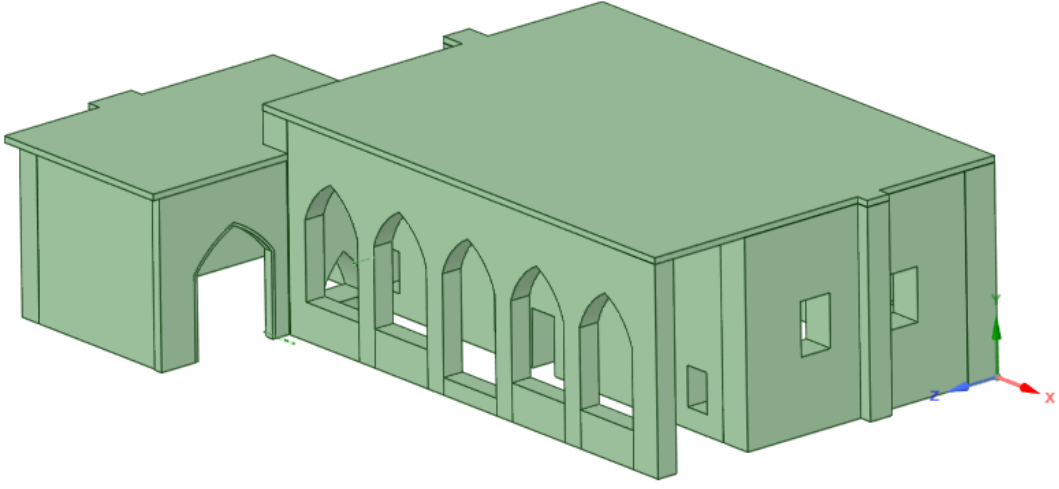
b) Çekme Dayanımı İçin

**Şekil 5.5:** Basınç ve Çekme Dayanımları Tespiti İçin Kullanılan Model Grafikleri



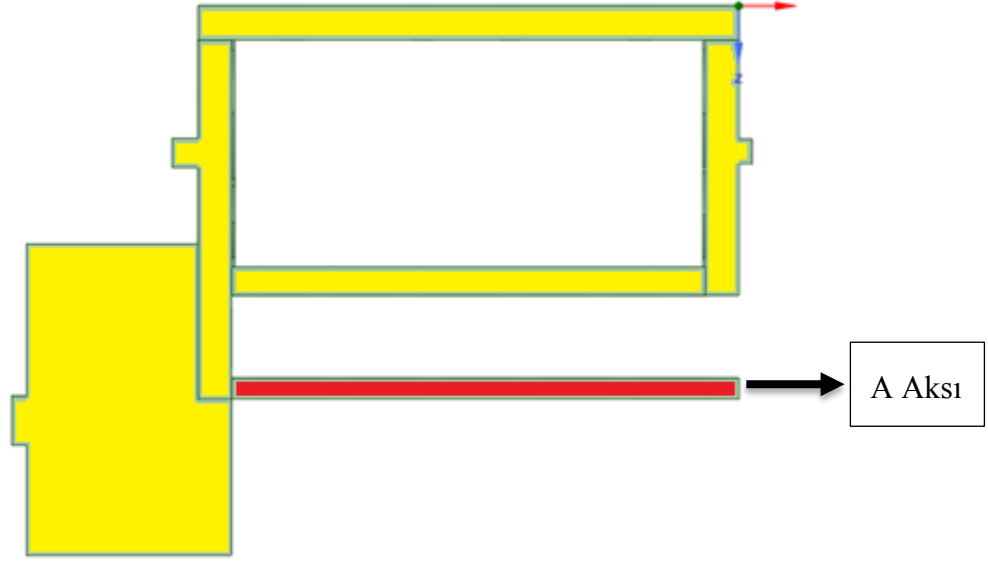
## 6. SAYISAL MODEL VE MODEL KALİBRASYON

Yusuf Ziya Paşa Camisinin sayısal modeli DIANA [19] yazılımında bulunan Spaceclaim modülü ile 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Model daha sonra ANSYS sonlu elemanlar yazılımına transfer edilerek 25 cm ağ aralığı ile 61135 eleman oluşturulmuş ve analize hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 6.1:** Tarihi Yusuf Ziya Camisinin 3 boyutlu modeli.

Model oluşturulduktan sonra malzeme özellikleri modele tanıtıldı. Homojen malzeme özellikleri tanıtılırken iki farklı malzeme kullanılmıştır. Bunlar cami ve türbenin genelinin malzeme özellikleri ile girişteki aksın (A aksı) malzeme özelliğidir. Bu malzemelerin modelde temsil edilen elemanlar üzerindeki görünüşleri Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.2:** Caminin üstten görünüşü ve kullanılan malzemelere ait elemanlar.

Şekil 6.2’de sarı ile gösterilen kısım caminin genelini temsil eden yığma malzemeyi kırmızı çerçeve ise farklı malzemenin kullanıldığı A aksını göstermektedir. Aynı zamandan çatıdaki ahşap malzeme özellikleri de literatürdeki benzer ahşap çatılı tarihi camilerden alınmıştır. Yusuf Ziya Paşa camisinde kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 6.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.1:** Yığma malzeme özellikleri

Eleman	Birim hacim ağırlık (t/m <sup>3</sup> )	$E_{din}$ (MPa) Kalibrasyon öncesi $E=1000 \cdot f_c$	$E_{din}$ (MPa) Kalibrasyon sonrası $E=830 \cdot f_c$	Taşın Poisson oranı	Harc poisson oranı	Taşın Basınç Dayanımı (Mpa)	Harcın Basınç Dayanımı (Mpa)	Yığma elemanın basınç dayanımı (MPa)
A aksı	2.32	1638	1311	0.23	0.05	35.5	1	1.64
Yığma	2.34	1741	1393	0.29	0.05	40.1	1	1.74

A aksına ve caminin genelinde kullanılan yığma malzemelere ait doğrusal olmayan malzeme parametreleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir. Bu malzeme özellikleri literatürdeki formüllerden hesaplanarak elde edilmiştir.

**Çizelge 6.2:** Yığma malzemelerin doğrusal olmayan özellikleri

Birim	Basınç dayanımı (MPa)	Basınç kırılma enerjisi (N/mm)	En düşük basınç dayanımı (Rezidüel) (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme kırılma enerjisi (N/mm)	En düşük çekme dayanımı (Rezidüel) (MPa)
A aksı	1.74	15.74	0.348	0.082	0.0069	0.02
Yığma	1.64	15.69	0.328	0.087	0.0072	0.0174

Ahşap çatı için kullanılan malzeme özellikleri de literatürden [20] faydalanılarak elde edilmiştir ve Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.3:** Ahşap malzeme özellikleri

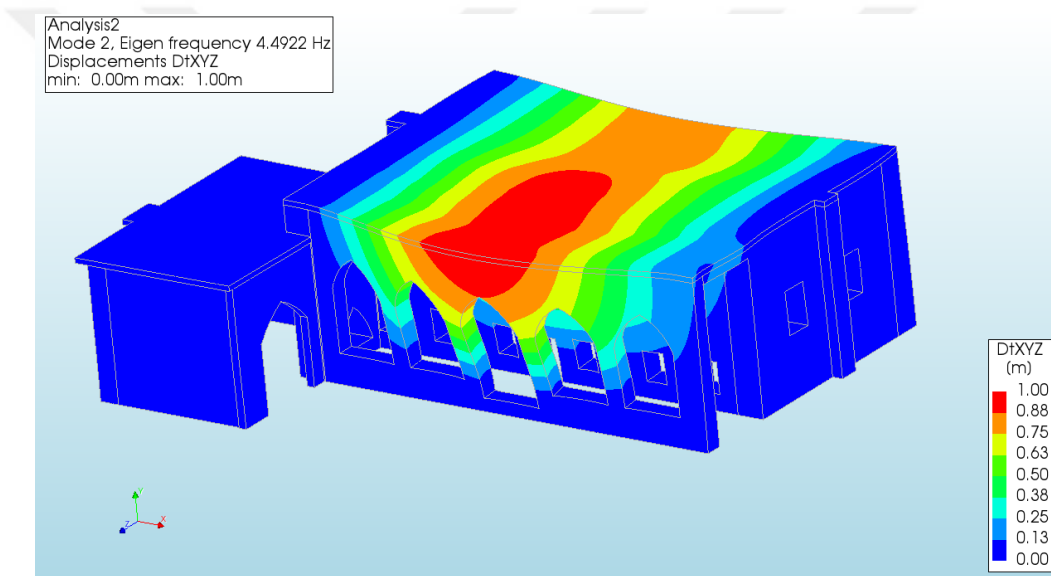
Özellik	Doğrultu	Kalibrasyon öncesi ilk değer	Kalibrasyon sonrası son değer
Elastik modülü (MPa)	Ex	120	300
	Ey	4000	4000
	Ez	120	300
Poisson oranı	vx	0.01	0.01
	vy	0.01	0.01
	vz	0.01	0.01
Kesme modülü (MPa)	Gx	12	30
	Gy	400	400
	Gz	12	30

Yukarıdaki ahşap malzeme özelliklerine göre [21] kalibre edilen modelin modal frekansları ilk durum için Çizelge 6.4’de verilmiştir.

**Çizelge 6.4:** Model güncelleme öncesi ve sonrasında frekanslar.

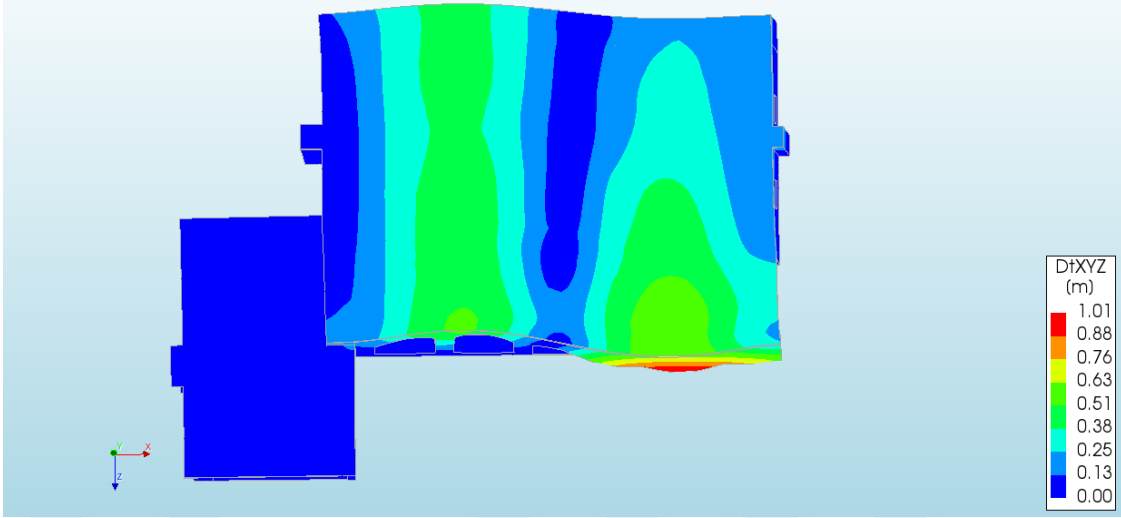
Frekans (Hz)	Deneysel	Kalibrasyon öncesi	Kalibrasyon öncesi fark (%)	Kalibre edilmiş	Kalibrasyon sonrası fark (%)
f1	4.49	4.43	1.33	4.49	0.0
f2	7.71	6.95	9.85	7.81	1.3
f3	9.28	9.07	2.26	8.68	6.5
		Ortalama	4.55	Ortalama	2.6

Mod şekilleri ise Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



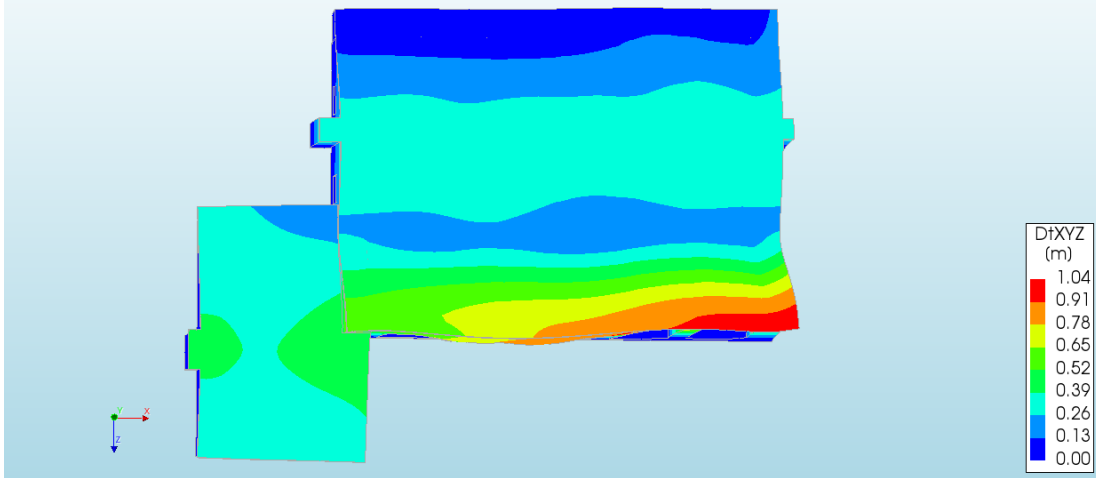
a)f<sub>1</sub>

Analysis2  
Mode 5, Eigen frequency 7.8056 Hz  
Displacements DtXYZ  
min: 0.00m max: 1.01m



b)f<sub>2</sub>

Analysis2  
Mode 7, Eigen frequency 8.6782 Hz  
Displacements DtXYZ  
min: 0.00m max: 1.04m



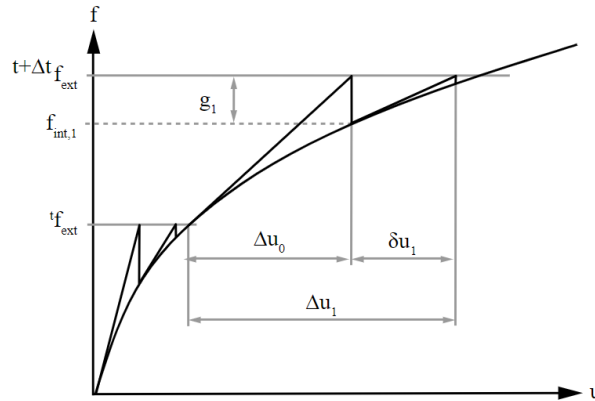
c)f<sub>3</sub>

**Şekil 6.3:** Kalibre edilmiş sayısal modelin ilk üç moda ait mod şekilleri.

## 7. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ

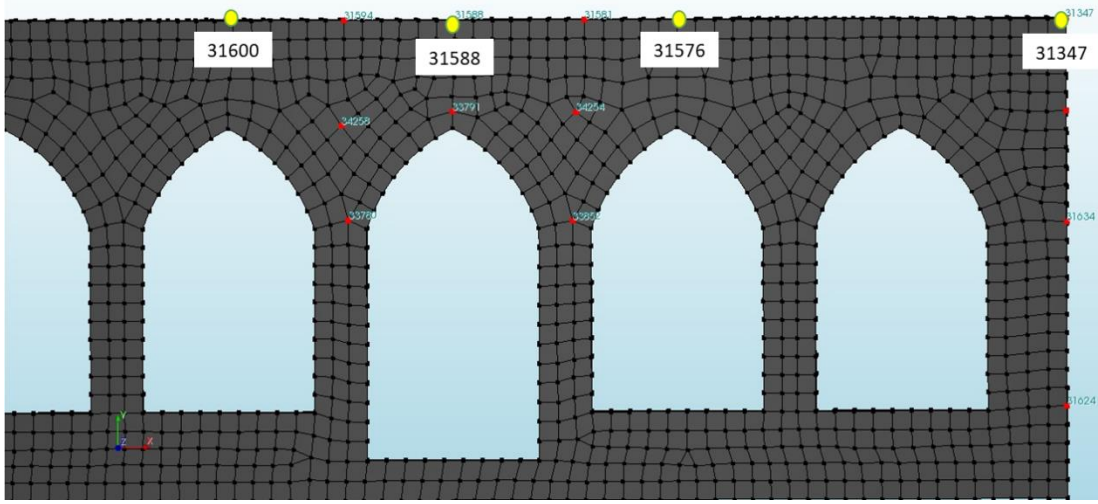
Doğrusal olmayan hesap yöntemlerini esas alan statik itme yöntemi, kuvvet etkisi altındaki yapıların deprem davranışının tespit edilmesinde kullanılır. Esası, yapılara yatay kuvvetlerin uygulanması ve bu kuvvetlerin belirli bir sınır değere kadar arttırılmasına dayanır. Bu değer yapı stabilitesinin bozulduğu değer olabilir. Çalışmalarda statik itme analizleri seçilen yapılar için, taban kesme kuvveti/bina ağırlık ( $V_t/W$ ) oranı ile kat yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren eğrileri elde etmek üzere yapılır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışları da hesaba katıldığı için malzemede kalan ek kapasiteden de yararlanır. Doğrusal olmayan statik itme eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci (temel) doğal titreşim modu esas alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay deplasman göz önünde tutulur.

İtme analizinin sayısal çözümlenmesinde Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem doğrusal olmayan denklem ve denklem sistemlerinin çözümü için iteratif (yinelemeli) bir yaklaşım sunar. Bu yöntemde yaklaşımlardan birinin, gerçek köke makul bir şekilde yakın olan bir ilk tahminle başladığını, daha sonra fonksiyonun teğet çizgisiyle yaklaştığını ve birinin bu teğet çizginin x-kesişimini hesapladığını takip eder. Yöntem ayrıca karmaşık fonksiyonlara ve denklem sistemlerine de genişletilebilir. Doğrusal olmayan bir yapı, düzeltmelerle tekrarlanan bir dizi doğrusal yaklaşım kullanılarak analiz edilebilir. [22] [23] [24]. Bu yöntem Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

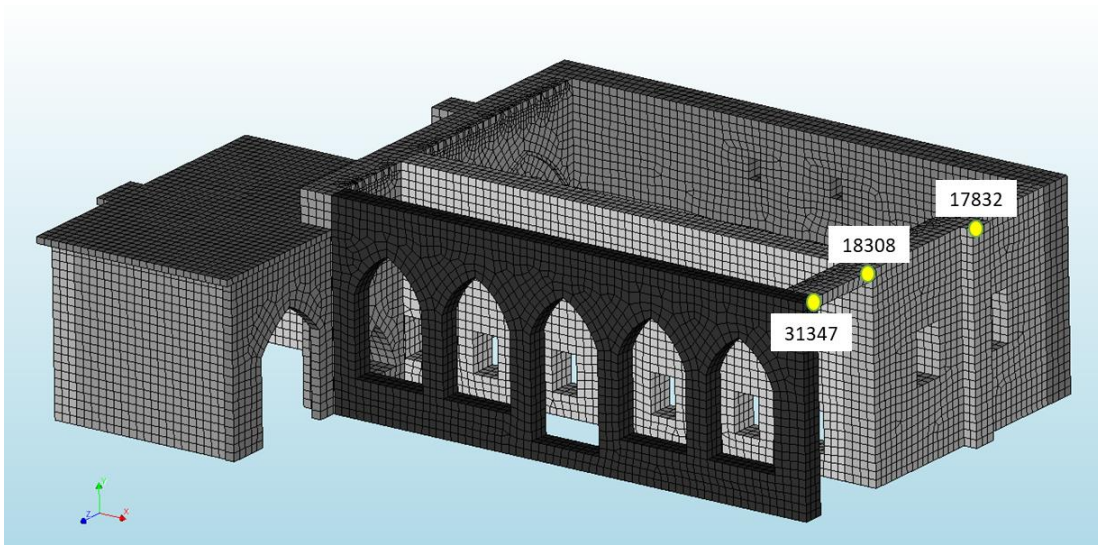


Şekil 7.1: Newton-Raphson iterasyon yöntemi

Newton-Raphson yöntemiyle yapılan statik itme analizinde grafikleri çizebilmek için göz önüne alınan düğüm noktaları hem kısa doğrultu için hem de uzun doğrultu için Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



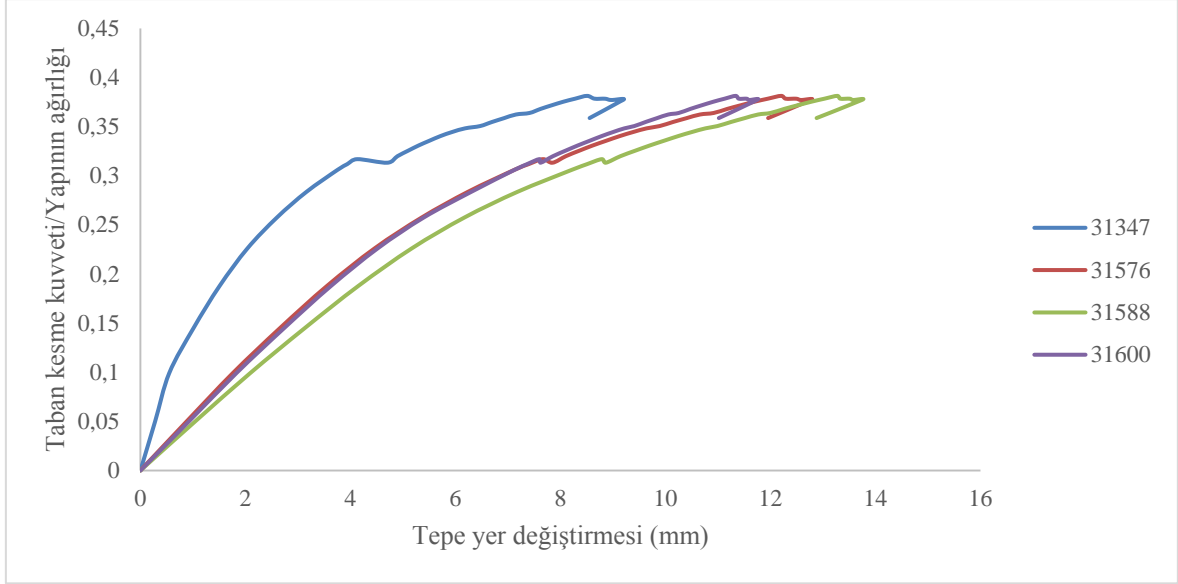
a)



b)

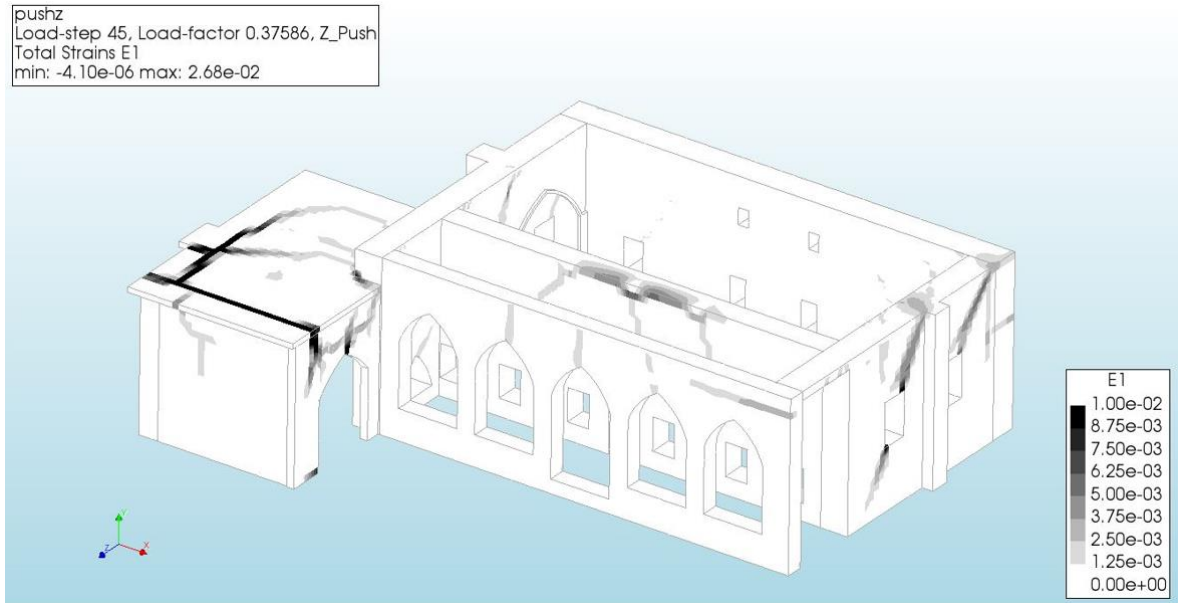
**Şekil 7.2:** Doğrusal olmayan itme analizinde göz önüne alınan düğüm noktaları, a)Kısa doğrultu için, b)Uzun doğrultu için.

Doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçlarına göre Yusuf Ziya Paşa Camisinin kısa doğrultusundaki (Taban Kesme Kuvveti/Yapının Toplam Ağırlığı)-Tepe Yer Değiştirmesi Grafiği Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3: Kısa doğrultu doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları.

Kısa doğrultudaki itme analizi sonuçlarına göre yapıda oluşan çatlakların gelişimi Şekil 7.4’te gösterilmiştir.

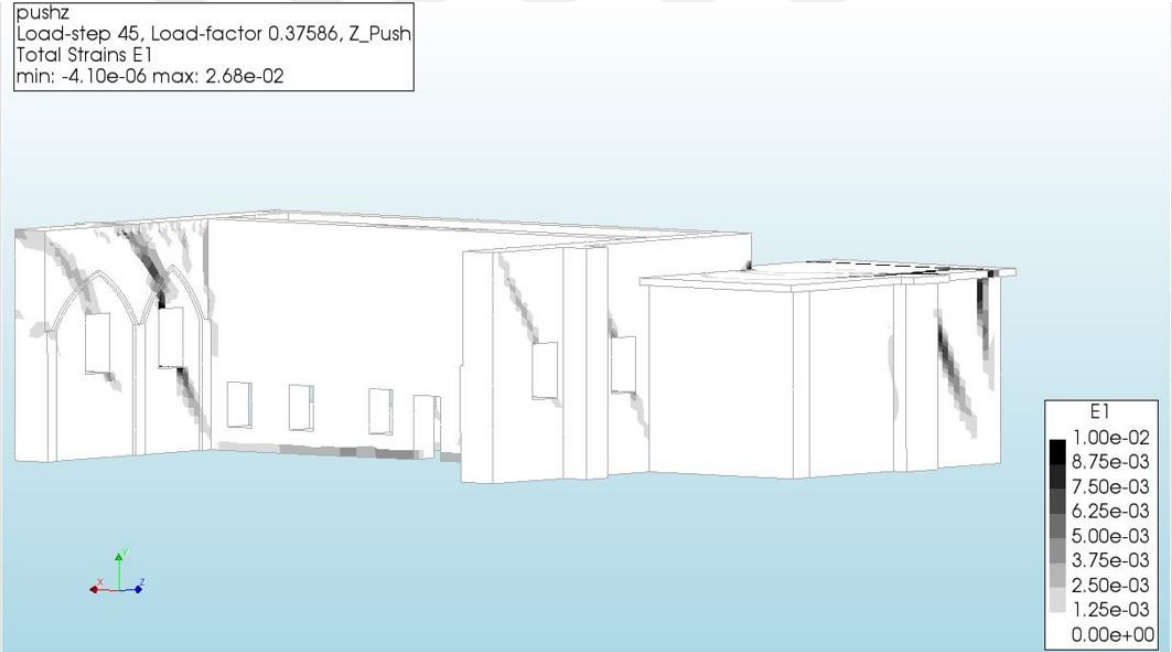


a)





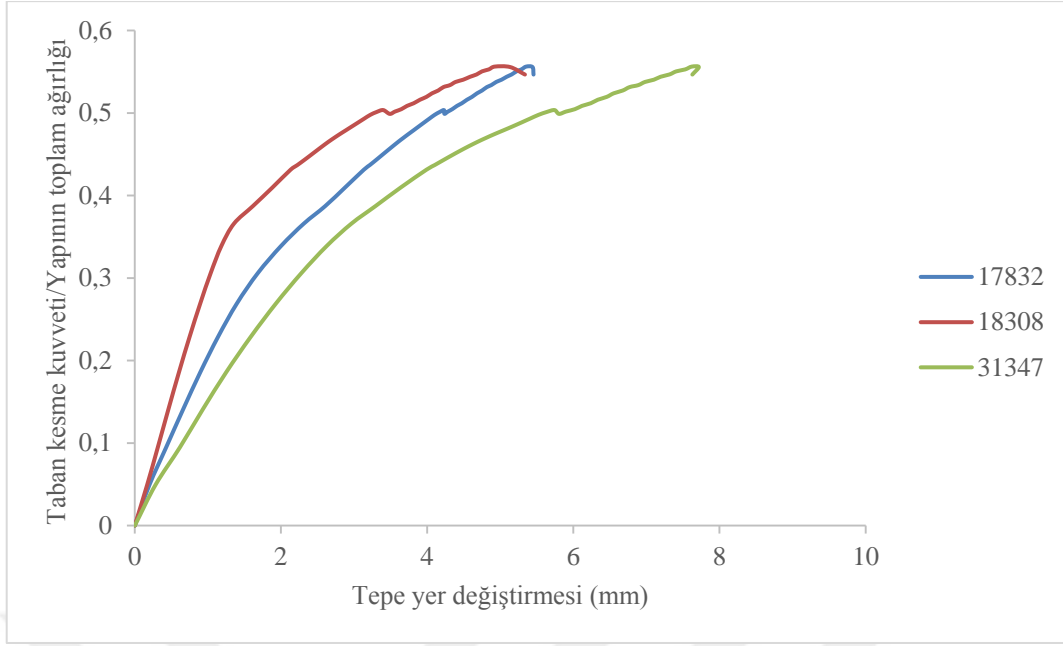
b)



c)

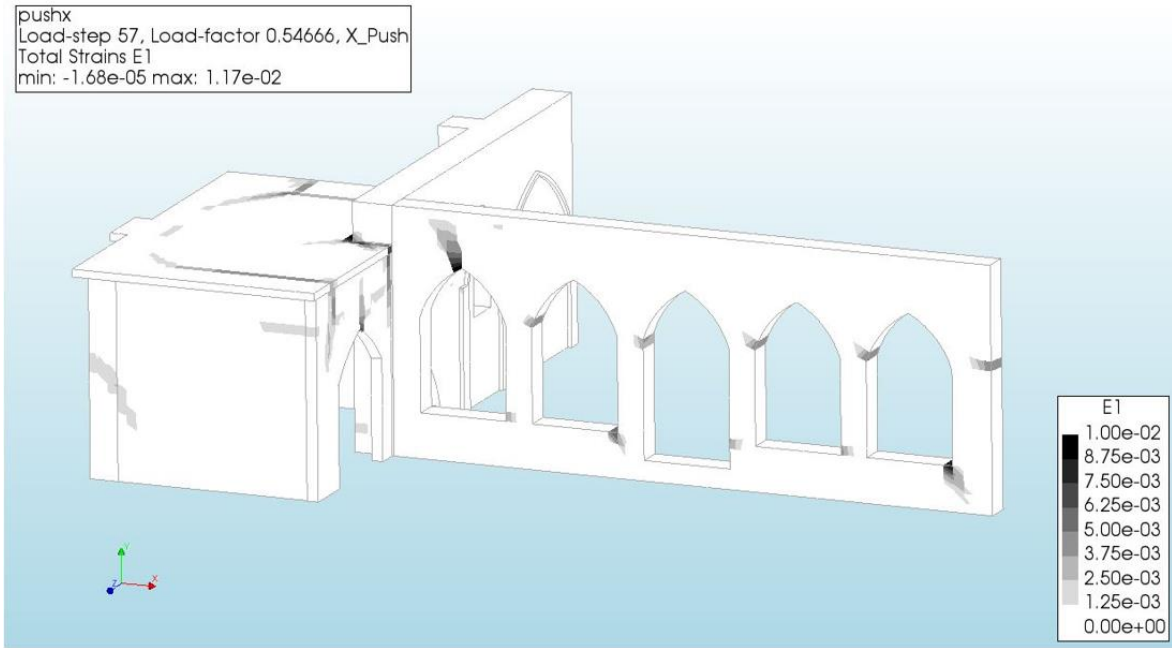
**Şekil 7.4:** Kısa doğrultuda yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu oluşan çatlaklar.

Uzun doğrultuya ait (Taban Kesme Kuvveti/Yapının Toplam Ağırlığı)-Tepe Yer Değiştirmesi Grafiği ise Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



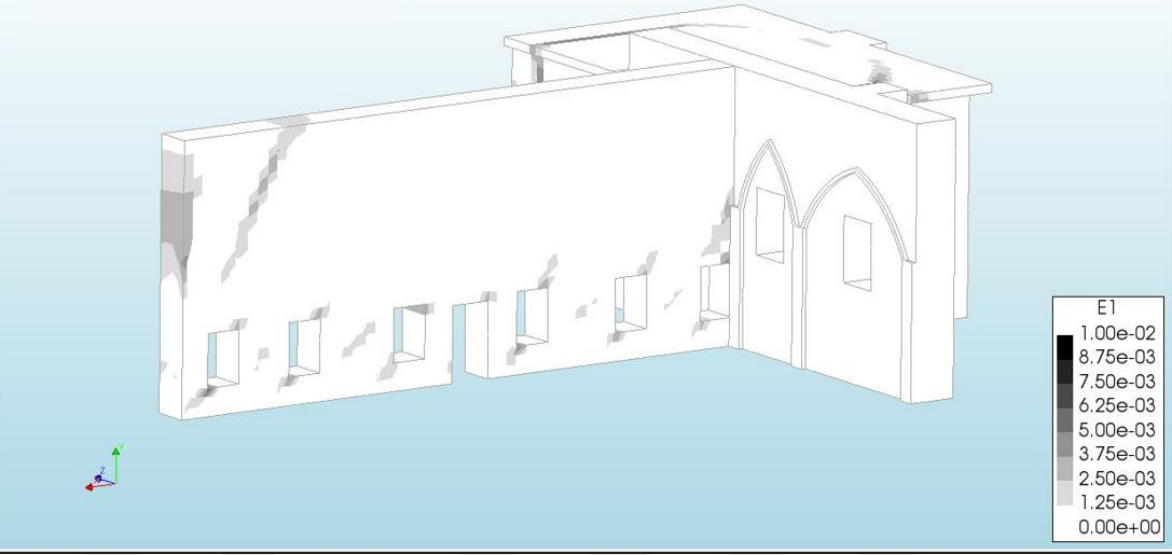
**Şekil 7.5:** Uzun doğrultuya ait doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları.

Yapılan analiz sonuçlarında uzun doğrultudaki tarihi camide oluşan çatlaklar Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



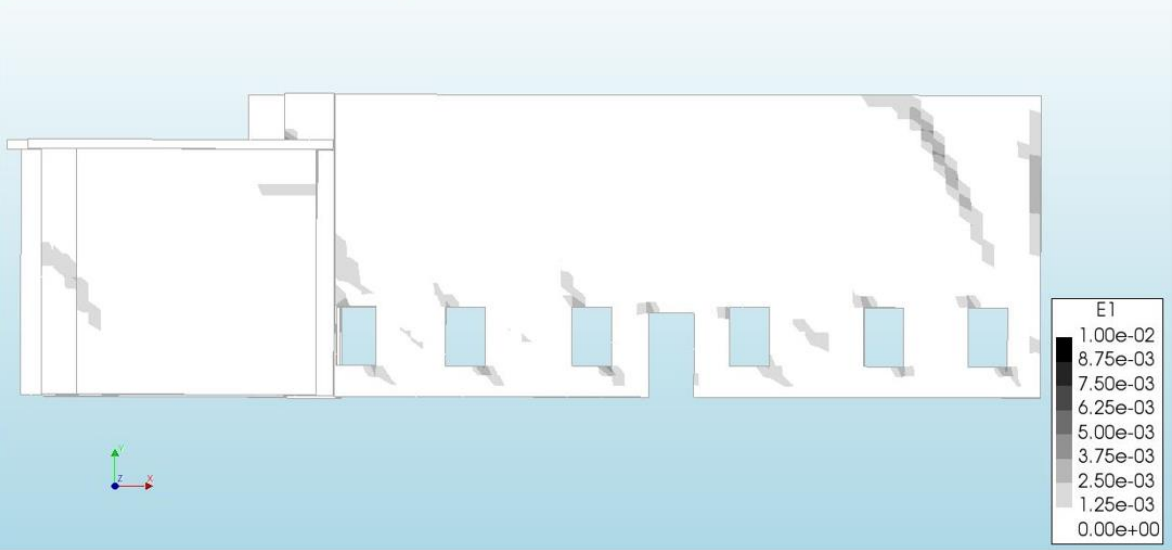
a)

pushx  
Load-step 57, Load-factor 0.54666, X\_Push  
Total Strains E1  
min: -1.86e-05 max: 1.00e-02



b)

pushx  
Load-step 57, Load-factor 0.54666, X\_Push  
Total Strains E1  
min: -1.86e-05 max: 1.00e-02

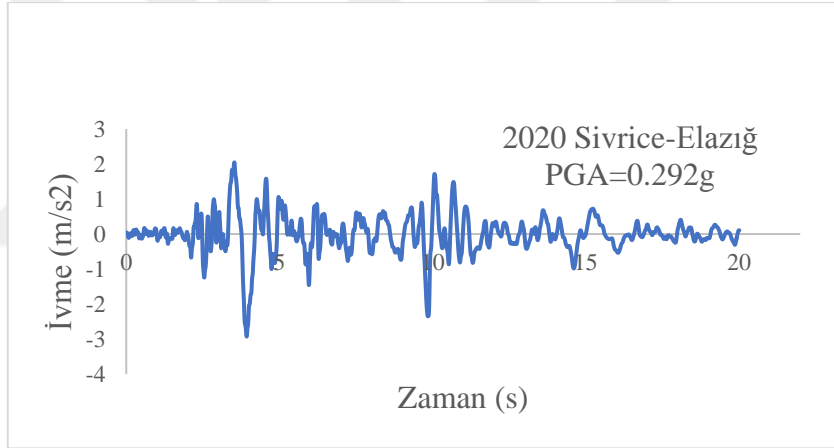


c)

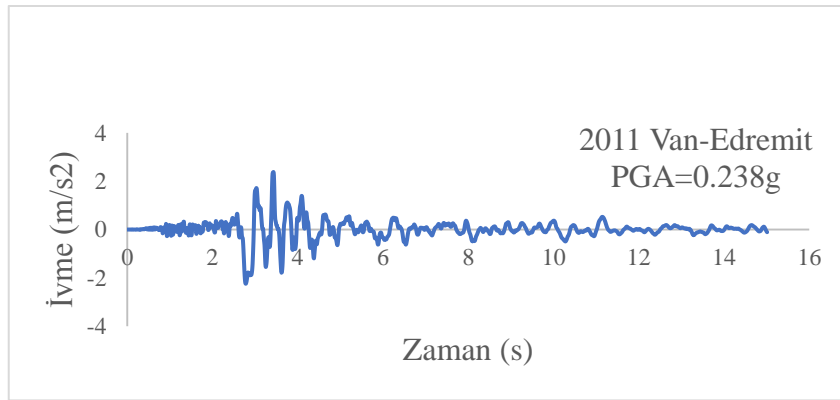
**Şekil 7.6:** Uzun doğrultuda yapılan doğrusal olmayan statik itme analizi sonucu oluşan çatlaklar.

## 8. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

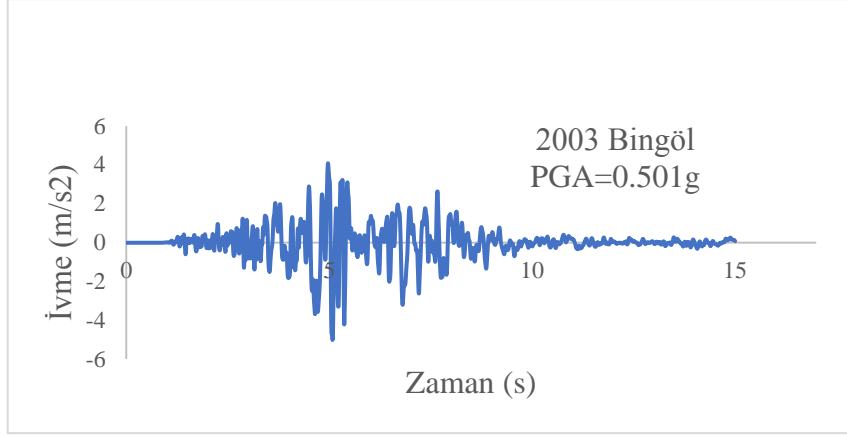
Sayısal modelin kalibre edilmesinden sonra 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ, 9 Kasım 2011 Van-Edremit ve 1 Mayıs 2003 Bingöl depremlerinin kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu kayıtlar Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) açık erişimli internet sitesinde yer alan veri tabanından elde edilmiştir.[25]. Yataydaki en büyük yer ivmesi seçilmiş ve bu en büyük yer ivmesi iki yönlü yapıya etki ettirilmiştir. Ayrıca düşey ivmeler de kullanılmış olup üç doğrultuda da analiz yapılmıştır. Seçilen depremlere ait yatay ivme kayıtları Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



a) 2020 Sivrice-Elazığ Depremi.



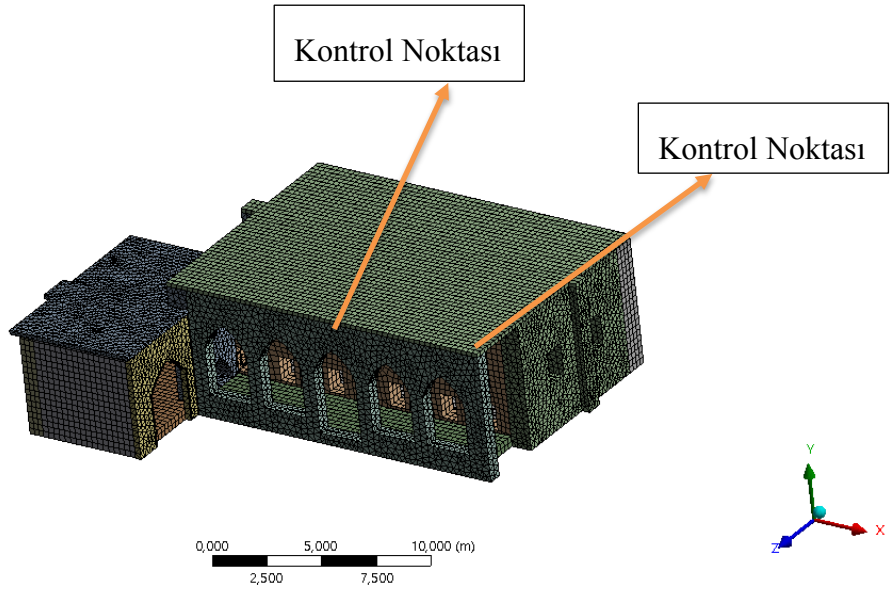
b) 2011 Van-Edremit Depremi.



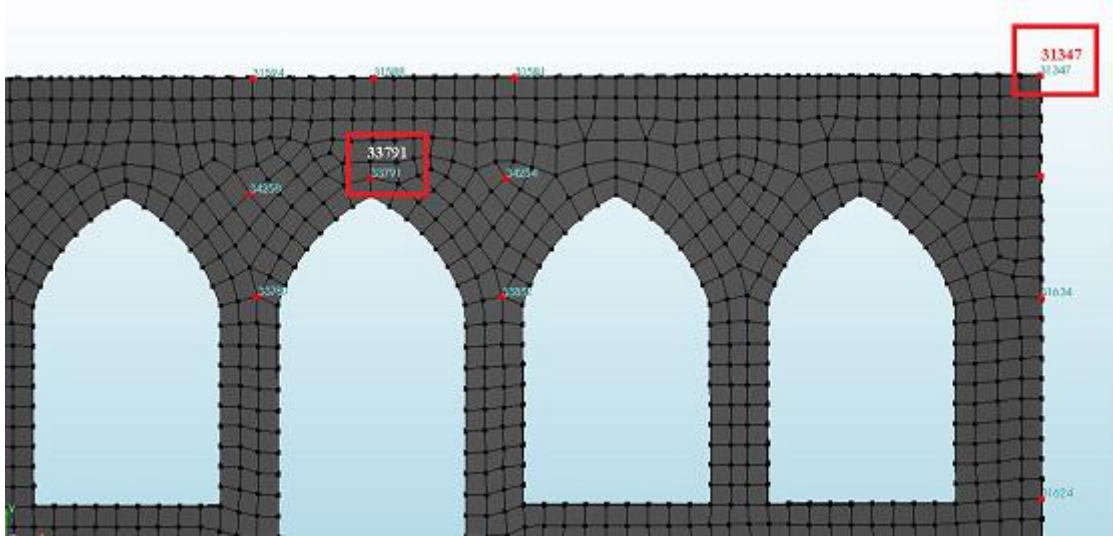
c) 2003 Bingöl Depremi.

**Şekil 8.1:** Zaman tanım alanında hesap için kullanılan deprem kayıtları.

Zaman tanım alanındaki kayıtlarla yapılan analizlerde her bir saniye kayıtların kendi zaman aralığı olan 0.01sn zaman dilimiyle analiz yapılmıştır. Zaman Tanım Alanında yapılan hesaplarda yapının tepkisinin zaman tanım alanında elde edilen kayıtları Şekil 8.2’de gösterilen kontrol noktalarından elde edilmiştir. Köşedeki kontrol noktası uzun doğrultu için, giriş kapısının üstündeki kontrol noktası ise kısa doğrultudaki tepkiyi elde etmek için belirlenmiştir.



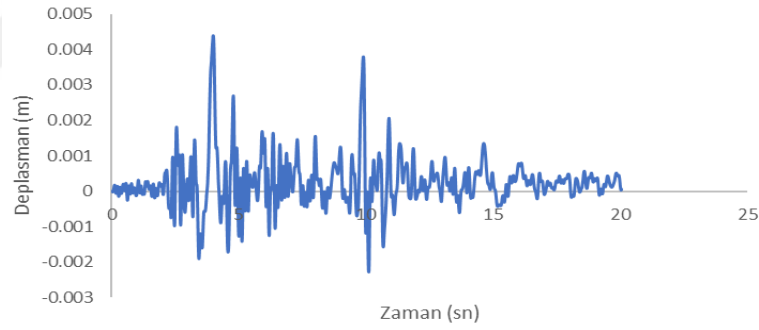
a)



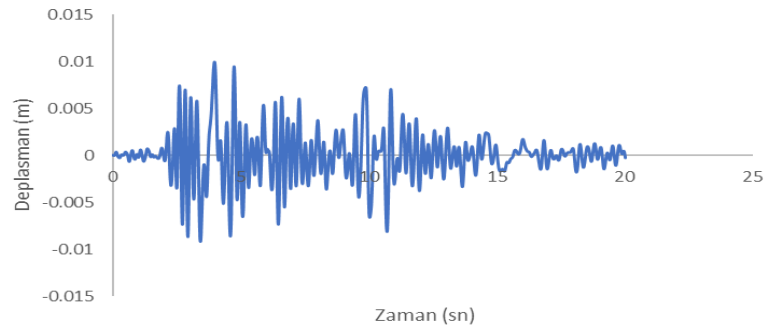
b)

**Şekil 8.2:** Yapının zaman tanım alanında elde edildiği ve okuma yapılan kontrol noktaları.

Elazığ depremi kayıtları ile yapılan doğrusal olmayan analiz sonrası yapının elde edilen tepkisi ve çatlak ilerlemesi Şekil 8.3'te gösterilmiştir.



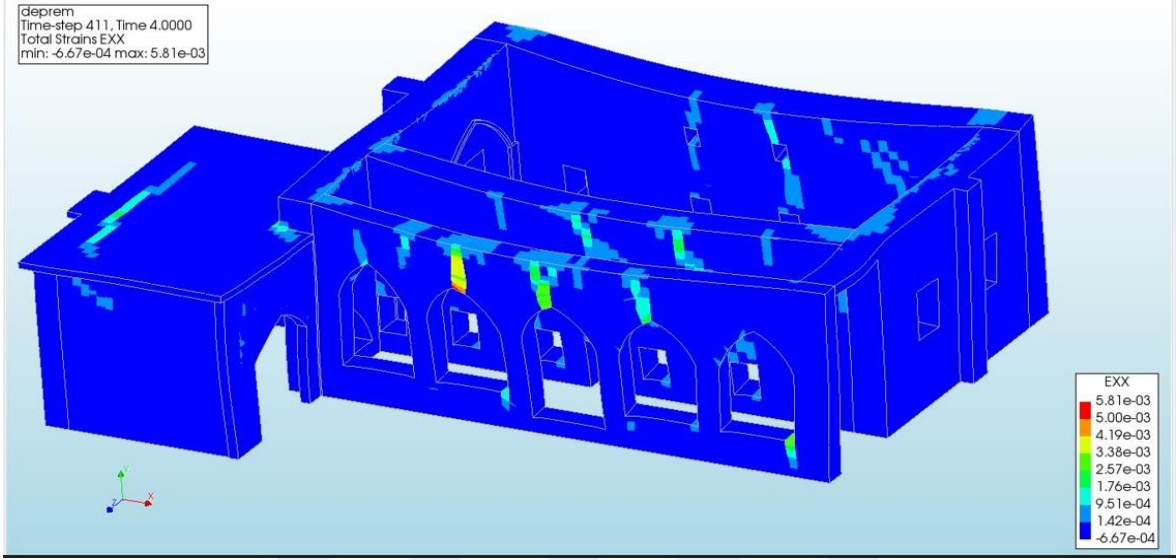
a) Uzun Doğrultudaki Tepki.



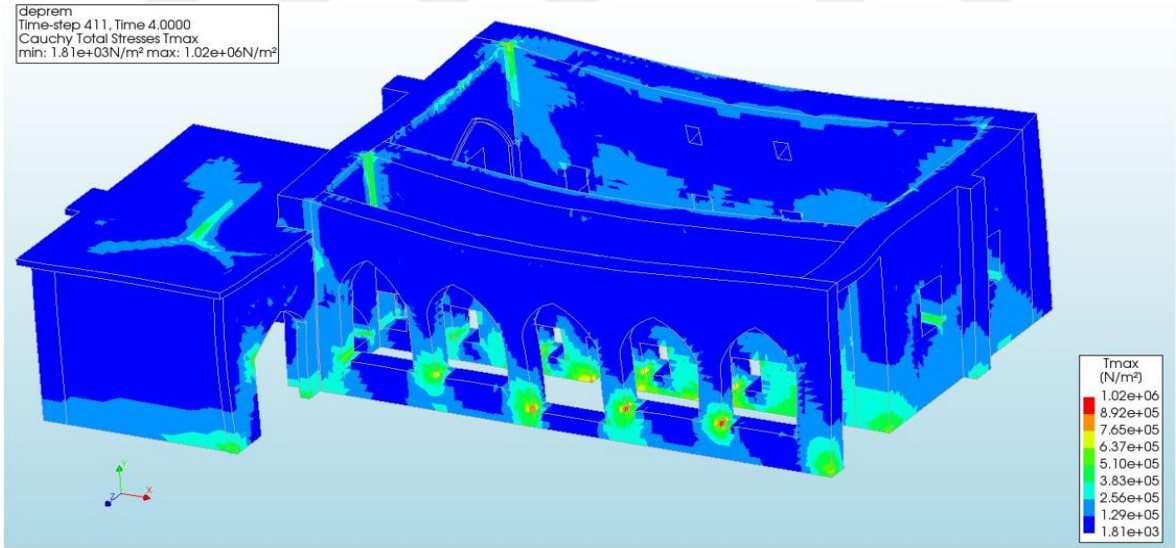
b) Kısa Doğrultudaki Tepki.

**Şekil 8.3:** 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ Depremine Ait Yusuf Ziya Paşa Camisinin Tepkisi

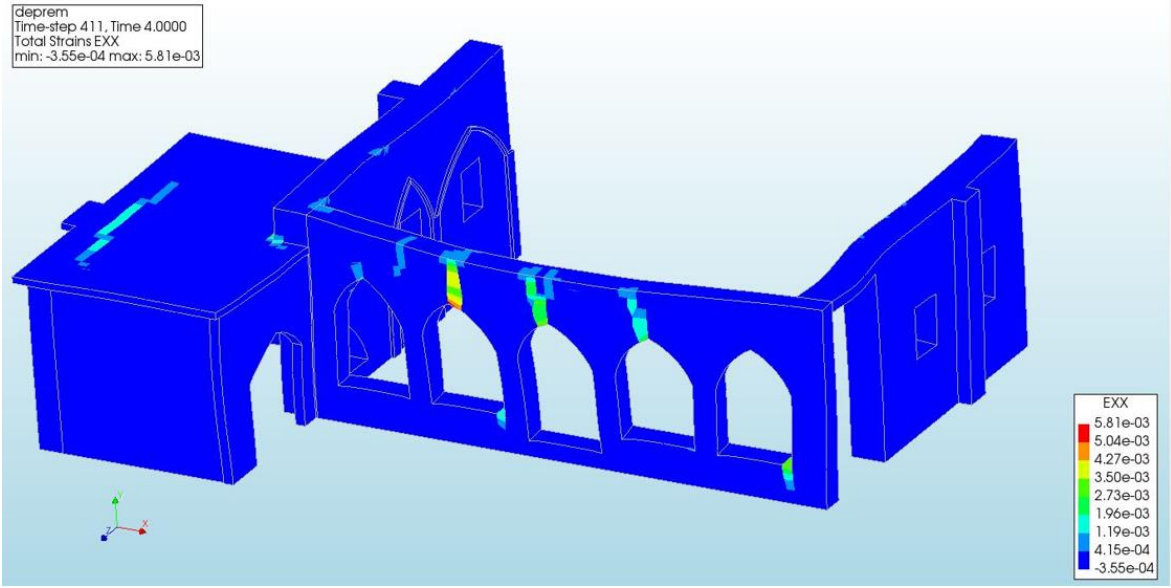
Elazığ depremine ait analizlerde kısa doğrultudaki azami tepki 4'üncü saniyede oluşmuş olup değeri 4.15 mm, uzun doğrultudaki azami tepkisi ise 3.98'inci sn'de elde edilmiş olup değeri 3.63 mm'dir. 4'üncü saniyeye ait çatlak ilerlemesi ve gerilme dağılımları görüntüleri Şekil 8.4'te gösterilmiştir.



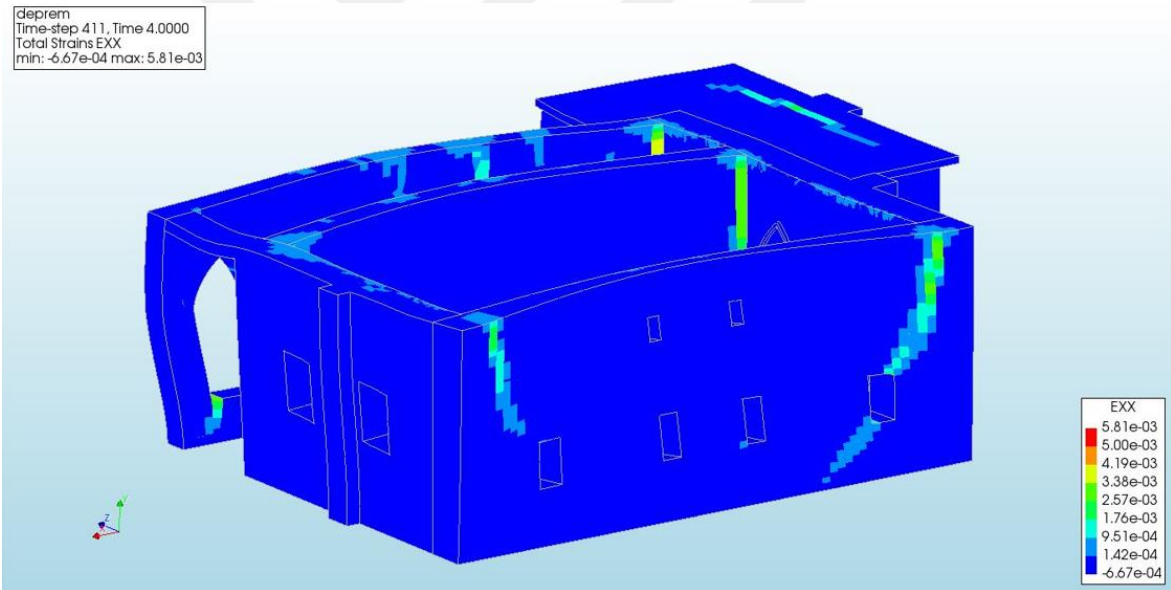
a)



b)



c)

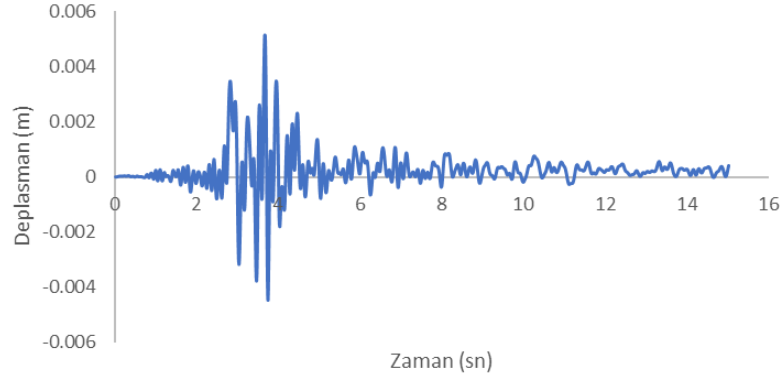


d)

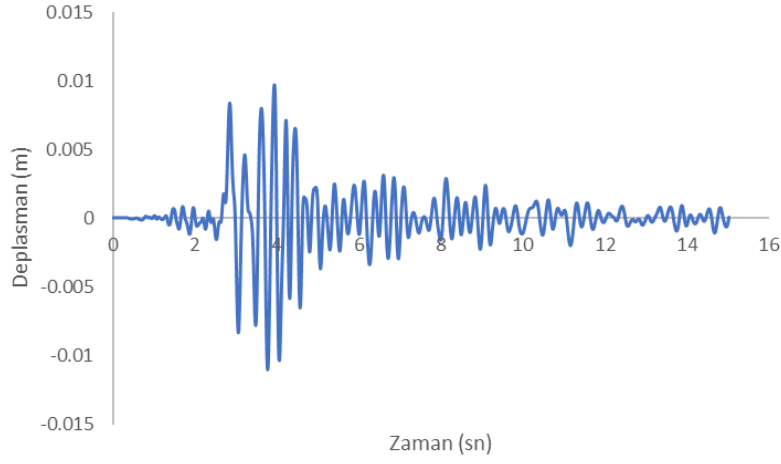
**Şekil 8.4:** Elazığ depremi sonrası ait Yusuf Ziya Paşa Camisine ait çatlak ilerlemesi.

23 Kasım 2011 Van-Edremit depremine ait caminin hem kısa hem de uzun doğrultudaki tepkileri Şekil 8.2'de belirlenen kontrol noktalarından elde edilmiş ve Şekil 8.5'de gösterilmiştir.





a) Uzun doğrultudaki tepki.



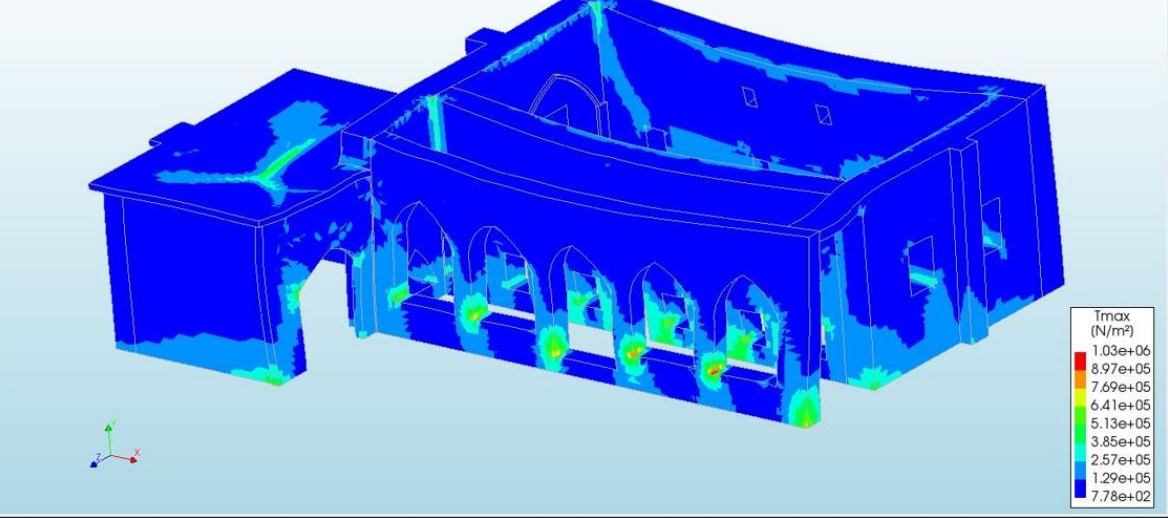
b) Kısa doğrultudaki tepki.

**Şekil 8.5:** 23 Kasım 2011 Van-Edremit depremine ait Yusuf Ziya Paşa Camisinin tepkisi.

Bu analizlerin azami tepkisi her iki doğrultuda da 3.67'nci saniyede elde edilmiş ve değeri 5.06 mm'dir.

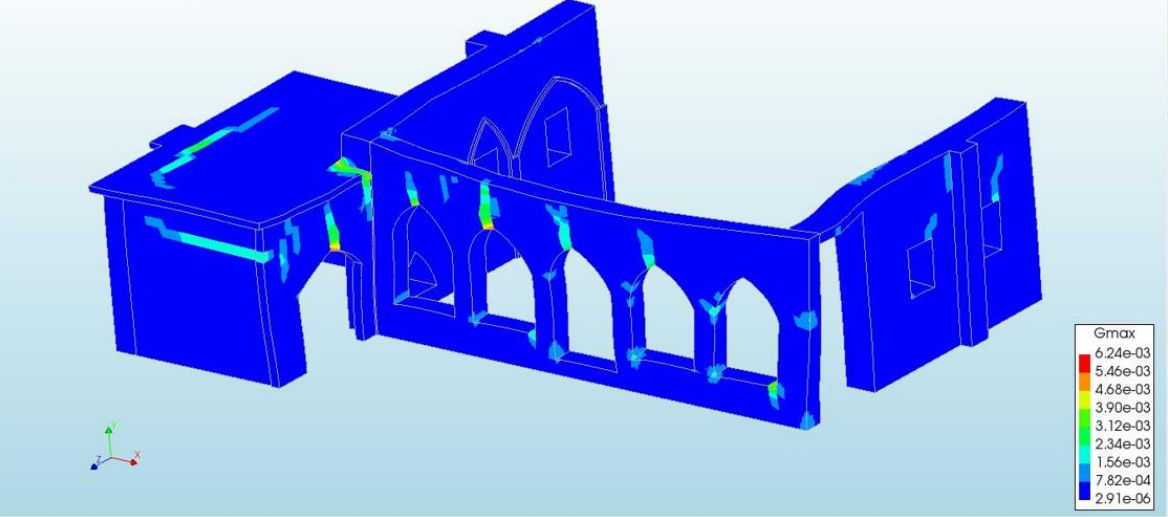
Bu zamana ait gerilme değerlerinin dağılımını Şekil 8.6'da gösterilmiştir.

depem  
Time-step 378, Time 3.6700  
Cauchy Total Stresses Tmax  
min: 7.78e+02N/m<sup>2</sup> max: 1.03e+06N/m<sup>2</sup>

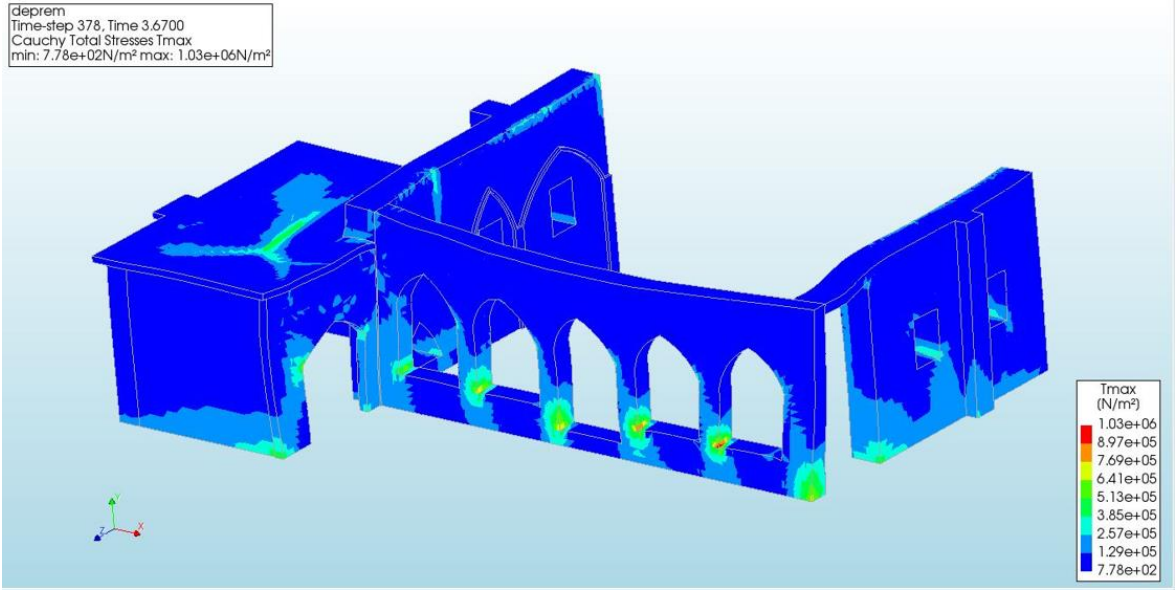


a)

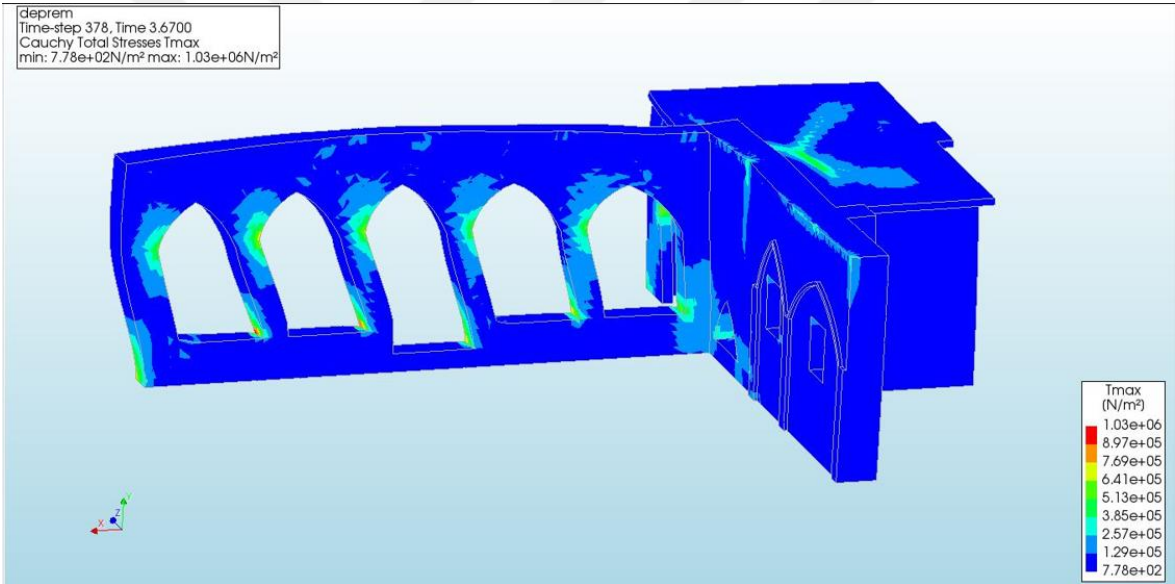
depem  
Time-step 378, Time 3.6700  
Total Strains Gmax  
min: 2.91e-06 max: 6.24e-03



b)



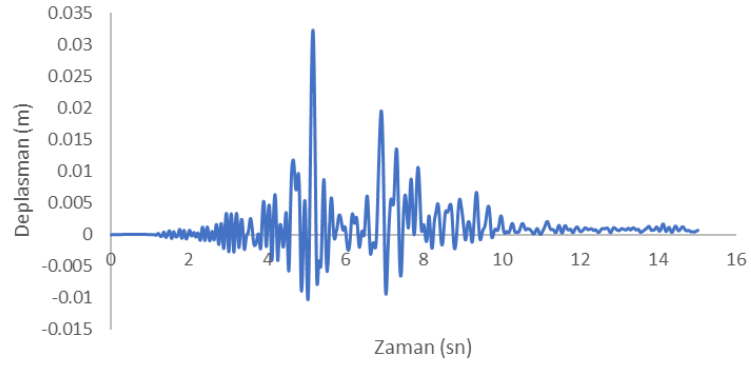
c)



d)

**Şekil 8.6:** Yusuf Ziya Paşa Camisi'ne ait 2011 Van-Edremit depremi analizi sonrası çatlak ilerlemesi.

Son olarak Yusuf Ziya Paşa Camisi 1 Mayıs 2003 Bingöl depremine maruz bırakılarak tepkileri elde edilmiştir. Bu depreme ait analizlerin sonucunda elde edilen tepkiler Şekil 8.7'de gösterilmiştir.



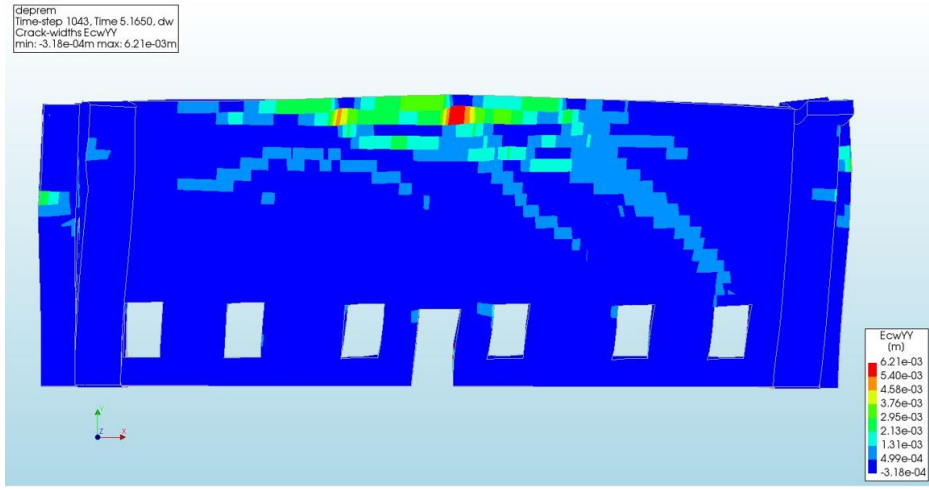
a) Uzun Doğrultudaki Tepki.



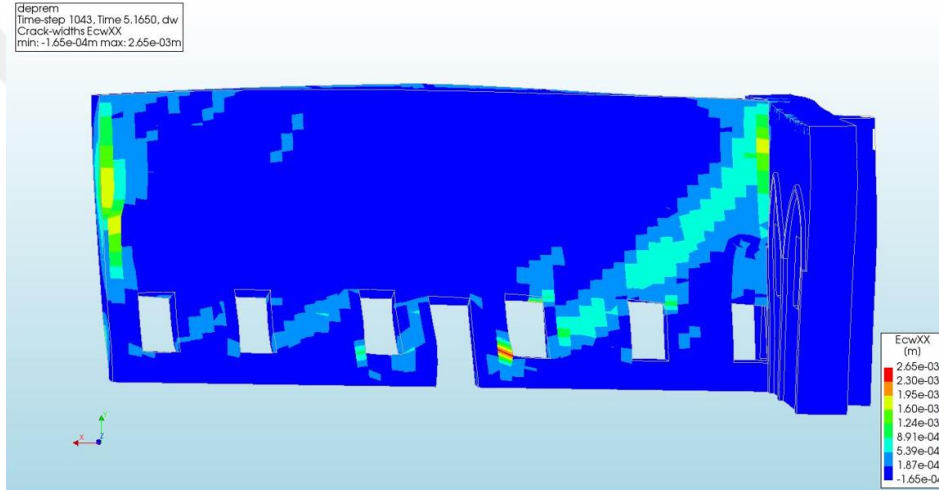
b) Kısa Doğrultudaki Tepki.

**Şekil 8.7:** 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Sonrası Yusuf Ziya Paşa Camisinin Tepkisi.

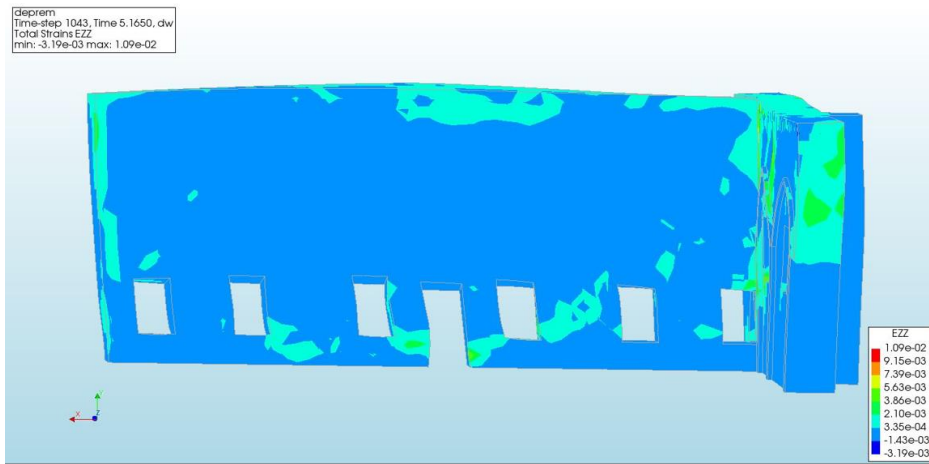
1 Mayıs 2003 Bingöl depreminin analizlerinde maksimum tepkiler 5.165'inci saniyede elde edilmiş ve değeri 28.3 mm'dir. Bu ana ait çatlak ilerlemesi Şekil 8.8'de gösterilmiştir.



a)



b)

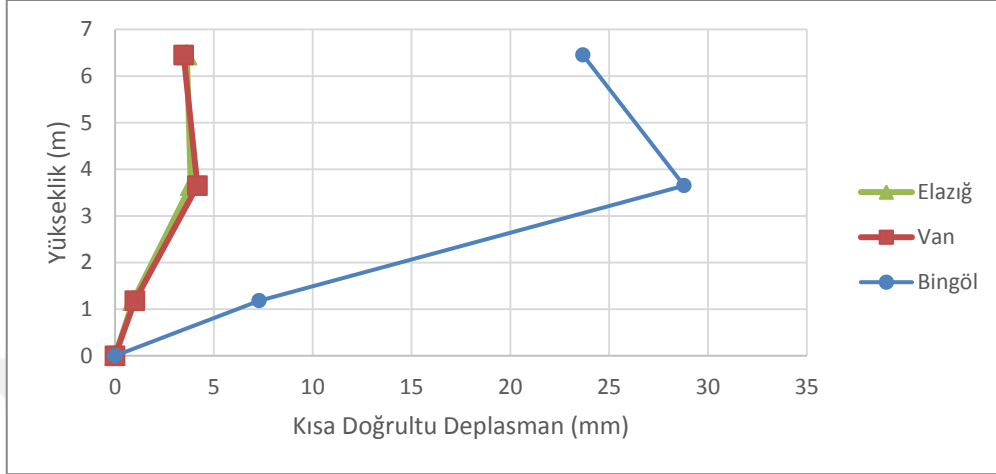


c)

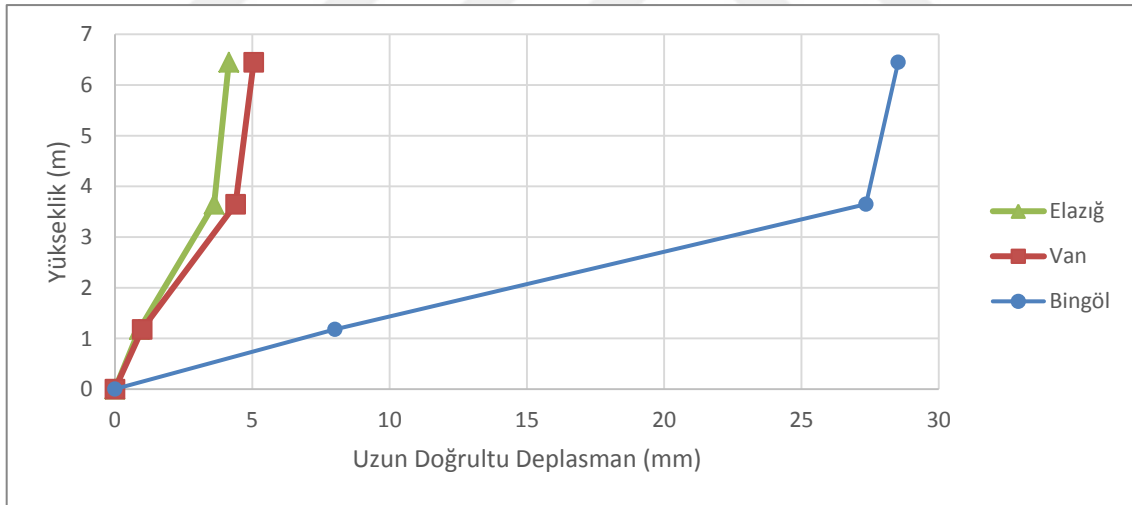
Şekil 8.8: 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi sonrası Yusuf Ziya Paşa camisinin tepkisi.

Bu analizler ile birlikte tarihi Yusuf Ziya Paşa Camisine ait doğrusal olmayan analizler de projede öngörüldüğü gibi tamamlanmıştır.

Kullanılan deprem kayıtları ile elde edilen deplasman değerleri her iki doğrultu için aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

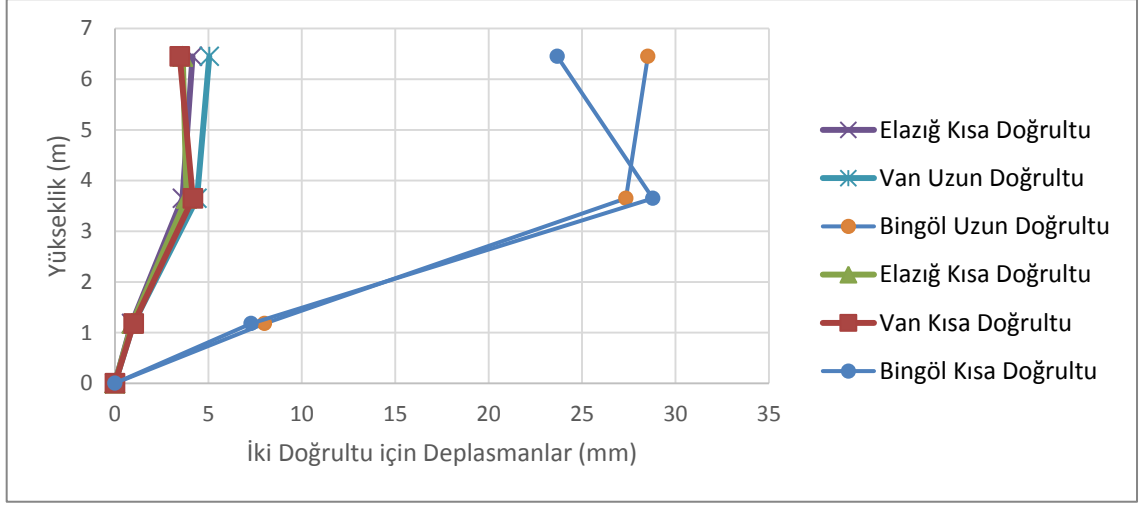


a) Kısa doğrultu

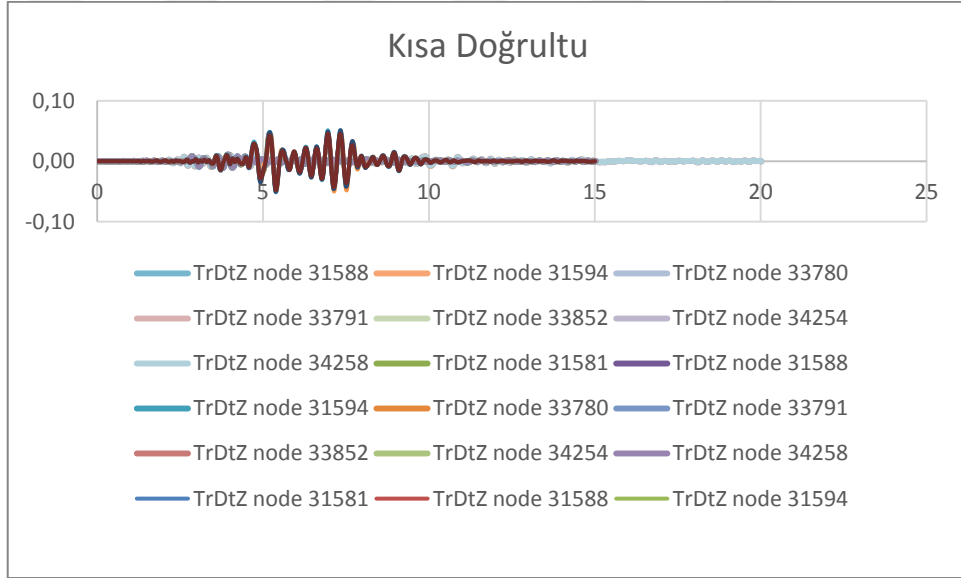


b) Uzun Doğrultu

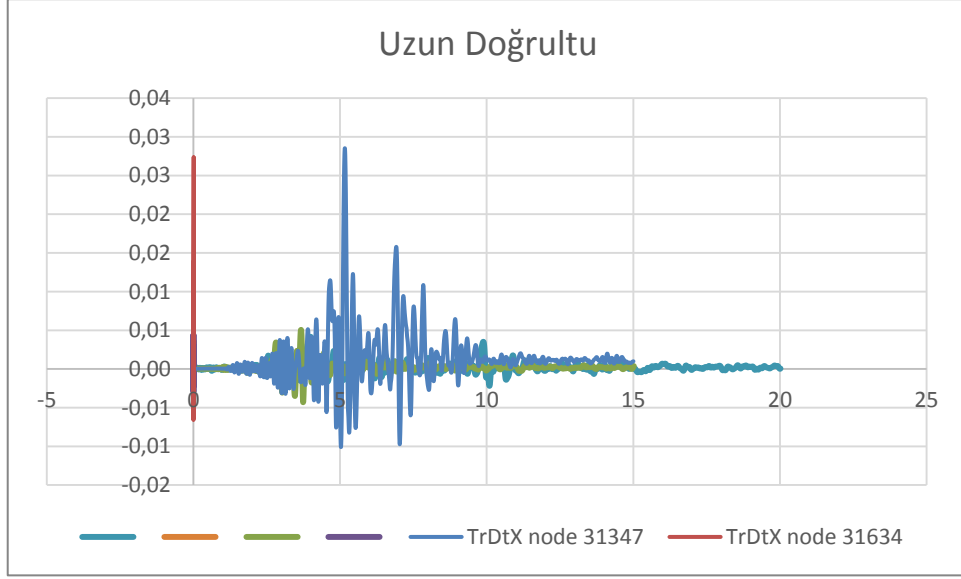
**Şekil 8.9:** Deprem kayıtlarına ait kısa ve uzun doğrultulardaki deplasman değerleri.



Şekil 8.10: İki doğrultu için birleştirilmiş deplasman grafiği.



a) Kısa doğrultu ivme-deplasman grafiği.



b) Uzun doğrultu ivme-deplasman grafiği.

**Şekil 8.11:** Kısa ve uzun doğrultular için birleştirilmiş ivme-deplasman grafikleri.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası yapıda oluşan hasar durumları ise aşağıdaki şekillerde olduğu gibi gözlenmiştir. Çatlaklar analizleri yapılan deprem kayıtlarının sonuçlarındaki çatlaklara benzer şekilde oluşmuştur.







**Şekil 8.12:** 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası yapıda oluşan çatlaklar.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Malatya ili merkez Battalgazi ilçesi İzzetiye Mahallesi aitt Mücelli Caddesi üzerinde yer alan Yusuf Ziya Paşa Camisinin Sismik Performans Değerlendirmesi yapılmıştır. Cami Volkanik Tüf grubuna ait Riyolit malzeme ve son cemaat mahalindeki bir aks üzerindeki duvar ise kumlu tüf taşından inşa edilmiştir. Caminin çatısı ise ahşaptır.

Çalışmada ilk olarak tahribatsız test yöntemleri ile malzeme özellikleri tayini yapılmıştır. Caminin sayısal modelinde kullanılan 3 farklı malzeme çeşidi için ölçümler yapılmıştır.

Ölçümler sonrasında deneysel modal analiz yapılarak yapının dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Doğal titreşim periyotları literatürdeki ampirik formüllerle Hz cinsinden hesaplanmıştır. Dinamik tanımlama için yapılan çalışma sonrası ilk üç mod frekansı literatürdeki formülle kıyaslandığında %45.6 gibi fark olduğu ortaya çıkmıştır. Literatürdeki formüller, dinamik tanımlama çalışmalarıyla birlikte güncellenmelidir.

Hesaplanan malzeme özelliklerinin modele tanıtılıp analizlerin yapılmasının ardından elde edilen frekans değerleri ile deneysel frekans değerleri karşılaştırılınca aradaki farkın kalibrasyon öncesi ortalama % 4.55'ten, kalibraasyon sonrası %2.6'ya düştüğü görülmektedir.

Kısa ve uzun doğrultular için seçilen düğüm noktaları üzerine etki ettirilen kuvvetlerle yapılan analizler sonucunda iki doğrultu içinde çatlakların genel olarak kemer, pencere ve kapı elemanların çevresinde diyagonal şekilde meydana geldiği görülmüştür. Türbe yapısında ise çatlakların yine diyagonal olarak çatı ve kapı kısımlarında meydana geldiği görülmüştür. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde de çatlakların bu bölgelerde meydana geldiği görülmüştür.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler için 3 farklı deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Bunlar 24 Ocak 2020 Sivrice-Elazığ, 9 Kasım 2011 Edremit-Van ve 1 Mayıs 2003 Bingöl depremleridir. Bu depremlerde meydana gelen en büyük yatay yer ivmesi seçilmiş ve belirlenen kontrol noktalarından iki yönlü olarak yapıya etki ettirilmiştir. Düşey ivmelerle beraber 3 doğrultuda analiz yapılmıştır. Analizlerle deprem ivmelerinin meydana getirdiği maksimum tepkiler ve bu tepkilerden dolayı oluşan

deplasmanlar elde edilmiştir. Zaman tanım alanı analizlerinde oluşan çatlakların da 6 Şubat Kahramanmaraş depremleriyle aynı bölgelerde olduğu görülmüştür. Yapı rijit olduğu için oluşan hasarlar maksimum 1,0 ile 1,5 cm arası görece ötelenme sonucu oluşmuştur.

Elazığ depremine ait analizlerde kısa doğrultudaki azami tepki 4'üncü saniyede oluşmuş olup değeri 4,15 milimetre, uzun doğrultudaki azami tepkisi ise 3.98'inci sn'de elde edilmiş olup değeri 3,62 milimetredir.

Van depremine ait analizlerde azami tepki her iki doğrultuda da 3.67'nci saniyede elde edilmiş ve değeri 5,06 milimetredir.

Bingöl depreminin analizlerinde maksimum tepkiler 5.165'inci saniyede elde edilmiş ve değeri 23,3 milimetredir.

Bu 3 depremde maksimum tepkinin oluştuğu zamanların birbirinden farklı olduğu görülür. Bunun nedenini deprem odak noktasının uzaklığı, depremin büyüklüğü ve şiddeti olarak gösterebiliriz. Ayrıca camide en fazla deplasman meydana getiren depremin Bingöl depremi olduğu görülmektedir. Bu etkinin nedeni olarak odak noktasının yakın ve deprem büyüklüğünün fazla olması diyebiliriz.

Düğüm noktası (yükseklik)-deplasman grafikleri incelendiğinde uzun doğrultuda deplasmanın elemanın yüksekliği ile orantılı arttığı görülmekle, kısa doğrultuda maksimum deplasmanın elemanın uç noktasında olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise caminin ahşap çatısının mesnet görevi görmesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Analizler sonucunda maksimum gerilmelerin sütunların ana gövdeye birleşim yerlerinde, türbenin ana gövdeye bağlantı yerlerinde oluştuğu görülmüştür. Çatlak oluşumunun ise diyagonal ve düz olarak kemer, kapı ve pencere elemanların kenarlarında ve eleman birleşim yerlerinde meydana geldiği görülmüştür. Hasarların yerleri ve boyutu irdelendiğinde yapı güçlendirme ve restorasyonla kısa sürede tekrar kullanılabilir düzeydedir.

Yapılan analizlerin sonucunda malzeme özelliklerinin tayininde literatürdeki denklemlerin kullanılmasının güvenli olduğu anlaşılmıştır. Analizler sonucunda deprem kuvvetini taşıyan elemanlara dik konumda olan duvarlarda meydana gelen çatlamlar bu duvarların da yanal kuvvet taşınımına katkısı olduğunu göstermiştir.

Genel olarak ÷lkemizde, özelinde ise Doğu Anadolu Bölgesinde gelecekte büyük depremler meydana gelebilir. Bu çalışmanın, deprem bölgelerinde yer alan tarihi yığma camilerin güçlendirme, restorasyon çalışmalarında örnek teşkil edebileceği düşün÷lmüştür.



## KAYNAKÇA

- [1] Koçak, A. (1999). Tarihi Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Lineer ve Non-Linear Analizi: Küçük Ayasofya Camii Örneği. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [2] Şeker, B. Ş., Çakır, F., Doğangün, A., & Durmuş, A. (2013). Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tarihi Erzurum Lala Paşa Cami'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilim Dergisi, 21(3), 82-87, Türkiye.
- [3] Çarhoğlu, A. İ., Zabin, P., & Korkmaz, K. A. (2014). Kars Kümbet Camisinin Deprem Davranışının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2(1), 189-196, Türkiye.
- [4] Mangia, L., Ghisaasi, B., Sayın, E., Onat, O., & Lourenço, P. B. (2016). Pushover Analysis of Historical Elti Hatun Mosque. Boğaziçi University, 12th International Congress On Advances In Civil Engineering, Istanbul, Turkey.
- [5] Altunişik, A. C., & Genç, A. F. (2017). Earthquake Response of Heavily Damaged Historical Masonry Mosques after Restoration. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(10), 1811-1821.
- [6] Aşikoğlu, A. (2018). Numerical Investigation On The Effectiveness Of Seismic Retrofitting Of A Historical Masonry Mosque (Master of Science Thesis). Eskişehir, Türkiye.
- [7] Kocaman, İ., Kazaz, İ., & Okuyucu, D. (2018). Tarihi Erzurum Yakutiye Medresesi'nin Yapısal Davranışının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(58).
- [8] Işık, E., & Antep, B. (2018). Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 46-56, Bitlis, Türkiye.
- [9] Aksoy, H. S., & Karaton, M. (2019). Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Karakteristiklerinin Hasarsız Yöntemlerle Belirlenmesi: Diyarbakır Ulu Camii Örneği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 109-117.
- [10] Usta, P., & Bozdağ, Ö. (2021). Tarihi Başdurak Camisinin Deprem Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 244-250.
- [11] Ural, A., & Çelik, T. (2021). Gaziantep Nizip Tahtani (Leylek) Cami Yapısal Analiz ve Değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(1).
- [12] Çakır, F. (2021). A simplified method for determining the seismic performance of historical structures: a case of Kaya Çelebi Mosque, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3).
- [13] Cosgun, T. Er Akan, A. Uzdil, O, Er, A, Örmecioğlu, H. T, & Sayin, B. (2023). Post-restoration seismic performance assessment of a historic hypostyle mosque in Anatolia (13th century AD). *Case Studies in Construction Materials*, 18.

- [14] Artemis Modal Pro, Structural Vibration Solutions A/S NOVI, [computer program] Available at: <http://www.svibs.com>, Science Park Niels Jernes Vej 10 DK-9220 Aalborg East Denmark
- [15] **Aydin, A., & Basu, A. (2005)**. The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81, 1-14.
- [16] **Gardner GHF, Gardner LW, Gregory AR (1974)**. Formation velocity and density - the diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophysics* 39(6):770–780
- [17] **2845-05. AD (2005)** Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International
- [18] **1996-1-1:2005. BE**. Eurocode 6—Design of masonry structures. UK: British Standards Institution; 2005
- [19] **DIANA FEA (2021)**. User’s manual release 10.5. the Netherlands
- [20] **Altunisik, A. C., Karahasan, O. S., Okur, F. Y., Kalkan, E., & Ozgan, K. (2019)**. Finite element model updating and dynamic analysis of a restored historical timber mosque based on ambient vibration tests. *Journal of Testing and Evaluation*.
- [21] **Kaushik, H. B., Ra, D. C., & Jain, S. K., M.ASCE. (2007)**. Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- [22] **Ömer Faruk Taş, Erkut Sayın, Mehmet Emin Öncü. (2022)**. Yeni Betonarme Binalar için Etkin Kesit Rijitlikleri ve Statik İtme Analizleri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 34(2), 505-516.
- [23] **Korkmaz, K. A., & Düzgün, M. (2006)**. Statik Artımsal İtme Analizinde Kullanılan Yük Dağılımlarının Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2006, 3873-3878. (Yazı 255, Kısa Bildiri)
- [24] **Temür, F. (2007)**. Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25] **TADAS. (n.d.)**. Türkiye Afet Arama Kurtarma ve Afetlerde Sağlık Hizmetleri Ulusal İçin Destek Sistemi. Erişim tarihi: 10 Temmuz 2023, <https://tadas.afad.gov.tr/map>.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Faruk DENİZ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı (2021- )

### MESLEKİ DENEYİM:

- Yüksek Seçim Kurulu Başkanlığında Seçim Katibi olarak çalışıyor. (2022- )