

ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZİNCAN DEĞİRMENLİKÖY KİLİSESİ'NİN
1939 ERZİNCAN DEPREMİ DAVRANIŞININ
APSİS HASARI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ**

Semi Emrah ASLAY

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Dilek OKUYUCU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Erzurum
2017**

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

**ERZİNCAN DEĞİRMENLİKÖY KİLİSESİ'NİN 1939 ERZİNCAN DEPREMİ
DAVRANIŞININ APSİS HASARI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ**

Yrd.Doç.Dr. Dilek OKUYUCU danışmanlığında, Semi Emrah ASLAY tarafından hazırlanan bu çalışma 13/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından inşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu 3 / 3**) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. İlker KAZAZ *İmza* :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hayati ULUSU *İmza* :

Üye : Yrd. Doç .Dr. Dilek OKUYUCU *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

.....
Enstitü Müdürü

ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

ETÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Erzincan Değirmenliköy Kilisesi’nin 1939 Erzincan Depremi Davranışının Apsis Hasarı Üzerinden İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13 / 12 / 2017

İmzası

Adı-Soyadı

Semi Emrah ASLAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Erzincan Değirmenliköy Kilisesi'nin 1939 Erzincan Depremi Davranışının Apsis Hasarı Üzerinden İncelenmesi

Semi Emrah ASLAY

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Dilek OKUYUCU

Bu çalışmada 1939 Erzincan Depremi'nde apsis kısmının yıkıldığı belirtilen Erzincan Değirmenliköy Kilisesi'nin dinamik davranışı incelenmiştir. Kilise yapısına ait tek resmi belgenin yapı tescil fişi olduğu görülmüştür. Literatürde kilisenin yapısal davranışının konu edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Öncelikle kilise hakkında bilgi toplanmış ve yapının rölevesi çıkarılmıştır. Malzeme özellikleri deneysel yöntemler ve literatür desteğinde ortaya konmuştur. Yapının mod şekilleri ve modal frekanslarının yerinde belirlenmesi amacıyla operasyonel modal analiz çalışması yapılmıştır. Operasyonel modal analiz çalışması sonuçları kullanılarak yapısal analize esas teorik model kalibre edilmiştir. Nihai malzeme özelliklerine erişildikten sonra yapının yıkılmış olan apsis kısmı modele eklenmiştir. Apsisli model üzerinde dinamik analizler gerçekleştirilerek apsis kısmının 1939 Erzincan Depremi'nde yıkılmış olduğu tezi irdelenmiştir. Dinamik analizlerde 1939 Erzincan Depremi sayısal kayıtları olmadığı için 1992 Erzincan Depremi kayıtları kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, apsis yapısı gövde kısmının depremde yıkılmadığı ancak apsis-yapı birleşimde hasar meydana gelmiş olabileceği ve bu hasarın zamanla ilerleyerek apsis kısmının yapıdan ayrılarak tahrip olmasına sebep olmuş olabileceği sonucuna varılmıştır.

2017, 120 sayfa

Anahtar Kelimeler : Erzincan Depremi, Değirmenliköy Kilisesi, Operasyonel Modal Analiz, Apsis, Hasar.

ABSTRACT

Master's Thesis

Evluation of 1939 Erzincan Earthquake Dynamic Behaviour of Erzincan Değirmenliköy Church Over the Abscissa Damage

Semi Emrah ASLAY

Erzurum Technical University
Gradute School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Dilek OKUYUCU

In this study, dynamic behaviour of Erzincan Değirmenliköy Church abscissa of which is mentioned to collapse during 1939 Erzincan Earthquake is evaluated. The only formal document related to the church building is defined to be the registration card. Any study related to the structural behaviour of the church is encountered in the literature. Primarily, information about the church is collected and architectural drawings are prepared. Material properties are defined by experimental methods and the support of the literature. Operational modal analysis is done in-situ in order to define modal shapes and modal frequencies of the structure. Considering the results obtained by the operational modal analysis theoretical modal which will be the basis for dynamic analysis is calibrated. When final material properties are obtained, the collapsed abscissa part of the church is added to the model. Dynamic analysis is carried out in on the model with abscissa in order to evaluate the thesis which states the collapse of the abscissa during 1939 Erzincan Earthquake. For the dynamic analysis, 1992 Erzincan Earthquake records are used since there is no numerical record for 1939 Erzincan Earthquake. At the end of the study, it is concluded that; the abscissa did not collapse during the earthquake, damage over the abscissa and the church connection area was occurred, and this damage might progress in time and result in the separation of the abscissa from the structure and end up with total collapse of the abscissa.

2017, 120 pages

Keywords: Erzincan Earthquake, Değirmenliköy Church, Operational Modal Analysis, Abscissa, Damage.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır. Tez çalışması süresince bana her türlü destek sağlayan Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Dilek OKUYUCU Hanımefendi' ye teşekkürlerimi sunarım.

Aynı üniversitede çalışmama olanak sağlayarak, bana yardımcı olan Hocam Doç. Dr. İlker KAZAZ Beyefendiye, yapılan saha çalışmasında önemli katkıları olan Gökçe Kaan Savaş, Muhammed Taha KALAYCI ve Muhammed Fatih ŞUŞAROĞLU Beyefendilere, çalışmanın deneysel verilerini elde etmemizde Erzurum Teknik Üniversitesi Yüksek teknoloji Araştırma Merkezi' ne (YÜTAM) , Erzurum Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü' ne, Emrah DÖLEKLİ Beyefendiye, Erzincan Müze Müdürlüğü'ne ve Erzurum Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'ne, operasyonel modal analiz çalışmasında kullanılan ve TÜBİTAK 1001-114M280 kod nolu projeye sağlanan kaynakla temin edilen cihazlar için TÜBİTAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca ihmal etmek zorunda kaldığım eşim Ayşenur Seda ASLAY ve oğlum Ömer ASLAY'a ve bugünlere getirmede emeği olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Semi Emrah ASLAY

2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM	9
3.1. İncelenen Yapı: Erzincan Değirmenliköy Kilisesi	9
3.1.2. Mimari ve Röleve	17
3.1.3. Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	19
3.1.4. Zemin Durumu.....	20
3.1.5. Bulunduğu Konum ve Depremselliği	21
3.2. Malzeme Özellikleri.....	26
3.2.1. Kullanılan Harç Özellikleri	33
3.2.2. Malzeme Dayanımlarının Belirlenmesi	38
3.3. Yapısal Modelin Oluşturulması	49
3.3.1. Tarihi Yapılarda Modelleme Teknikleri	49
3.3.2. Mikro Modelleme	50
3.3.3. Basitleştirilmiş Mikro Modelleme	51
3.3.4. Makro Modelleme.....	52
3.4. Değirmenliköy Kilisesi Yapısal Analiz Modelinin Oluşturulması	53
3.4.1. Mevcut Yapı Modeli	54
3.4.2. Yıkılan Apsisin Varlığını Kabul Eden Model	55
3.5. Yapısal Modelin Kalibrasyonu	57
3.5.1. Bina Dinamik Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi	57
3.5.1.1. Çevresel Titreşim Yöntemi	58
3.5.1.1.1. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) Yöntemi	59

3.5.1.1.2. Stokastik Altalan Belirleme (SAB) Yöntemi.....	62
3.5.1.2. Zorlanmış Titreşim Yöntemi	65
3.5.2. Teorik ve Deneysel Modal Analiz (OMA) Sonuçları Kullanılarak Sonlu Eleman Modelinin İyileştirilmesi	67
3.5.3. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile Mod Şekilleri ve Frekansların Elde Edilmesi	68
3.5.3.1. Yapı Üzerinde İvme Kayıtlarının Elde Edilmesi.....	68
3.5.3.2. Elde Edilen Kayıtların Değerlendirilmesi.....	74
3.5.4. Yapısal Analiz Modelinin OMA Sonuçlarına Göre Güncellenmesi.....	78
3.6. Yapısal Analizler	82
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	86
4.1. Mevcut Durumu Yansıtan Modelin Statik Analizi	86
4.2. Apsisli Modelin Analiz Bulguları	93
4.2.1. Apsisli Modele Ait Modal Analiz Sonuçları	93
4.2.2. Apsisli Modele Ait Statik Analiz Sonuçları.....	94
4.2.3. Apsisli Modele Ait Dinamik Analiz Sonuçları	101
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yapıya Ait Tescil Fişi	10
3.2. Yapının Tescil Fişinde Yar Alan Krokisi.....	11
3.3. Değirmenliköy Kilisesi Batı Girişi.....	12
3.4. Değirmenliköy Kilisesi Genel Görünüm	13
3.5. Değirmenliköy Kilisesi İç Görünüm	13
3.6. Kilise Yapısında Kesme Taş ve Moloz Taş Kullanım Örnekleri.....	14
3.7. Apsis Kısmı	15
3.8. Haç Şekilleri ve Duvar Motifleri.....	16
3.9. Yapıya Ait Röleve Çalışması	18
3.10. Kot Farklılıklarını Gösteren Fotoğraf	20
3.11. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.....	22
3.12. Erzincan Deprem Bölgeler Haritası	23
3.13. Yapıda Kullanılan Serpantin Taş Örneği	25
3.14. Yapıda Kullanılan Andezit Taş Örneği	26
3.15. Yapıda Kullanılan Tüfleşmiş Kireçtaşı Örneği	27
3.16. Tüfleşmiş Kalker Numunesi İçin Basınç Dayanım Testi.....	28
3.17. Tüfleşmiş Kalker Numunesi İçin CBR Deneyi.....	29
3.18. Tüfleşmiş Kalker Numunesi İçin Yoğunluk Testinden Bir Görüntü	30
3.19. Kalker Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü Ve Temsili Element Dağılımları	31
3.20. Harç Numunelerinin Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi	33
3.21. Harç Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü Ve Temsili Element Dağılımları	34
3.22. Sıva Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü ve Temsili Element Dağılımları	36
3.23. Test Çekici Uygulaması	38
3.24. İç Kemerlerdeki Yapı Taşlarına ait Sayısal ifade	40
3.25. Çatı Kaplamasında Kullanılan Malzeme Birleşenleri.....	41
3.26. Çatı Kaplamasında Kullanılan Eleman Birleşenleri.....	41

3.27. Kemerlerde Kullanılan Malzeme Örneği	42
3.28. Kemerlerin Oturduğu Sütunda Malzeme Kullanımı	43
3.29. Dış Cephede Kullanılan Malzeme Örneği	43
3.30. Temsili Mikro Modelleme	51
3.31. Temsili Basitleştirilmiş Mikro Modelleme	51
3.32. Temsili Makro Modelleme (Lourenço 1996).....	52
3.33. Yapının Mevcut Durumuna İlişkin Bilgisayar Modeli	54
3.34. Mevcut Durum ile Yapı Modeli Temsili Görüntüleri	55
3.35. Apsis Dahil Yapıya İlişkin Bilgisayar Modeli	56
3.36. Zorlanmış titreşimde kullanılan cihaz örnekleri	66
3.37. Değirmenliköy Kilisesi Titreşim Ölçüm Krokisi	69
3.38. Kablosuz 3 Eksenli İvme Ölçüm Cihazları	70
3.39. Arazide Gerçekleştirilen Yapısal Titreşim Kayıt Çalışmaları.....	71
3.40. Operasyonel Modal Analiz İçin Yapılan Titreşim Ölçümlerden	
Görüntüler	72
3.41. Cihaz Ölçüm Yönlerin Belirlenmesi	73
3.42. Elde Edilen Verinin Sahada Kontrolü	74
3.43. Artemis Modal Pro Yazılımı Kullanılarak Mod Şekilleri ve	
Frekansların Elde Edilmesi	75
3.44. Farklı Veri Setlerinden Elde Edilen Spektral Yoğunluk Grafikleri	76
3.45. 1992 Erzincan Depremi İvme Kaydı Kayıtları.....	84
4.1. Mevcut Durum Statik Analiz Gerilme Dağılımı	87
4.2. Çekme Gerilmeleri Nedeniyle Oluşan Kılcal Çatlaklar	88
4.3. Statik Analizde Mevcut Zati Yükler Altında En büyük Çökme Değeri.....	90
4.4. Statik Analizde Mevcut Durum Zati Yükler Altında Duvar Tepe	
Noktasındaki En Büyük Çökme Değeri	91
4.5. Mevcut Duruma Ait Modelin Zati Yükler Altında Duvar Tepe Noktası	
Düşey Çökme Değerleri	92
4.6. Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda Statik Analiz Gerilme Dağılımı... 95	
4.7. Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda 246 ve 253 Nolu Elemanların	
Gösterimi	96
4.8. Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda Zati Yük En büyük Çökme	
Değeri	98

4.9. Apsis Kısmının Dahil Olduğu Durumda Duvar Bölgelerinde Zati Yük En Büyük Çökme Değeri	99
4.10. Apsis Dâhil Modele Ait Modelin Zati Yükler Altında Duvar Tepe Noktası Düşey Çökme Değerleri	100
4.11. Apsisli Modele Ait 1992 Erzincan Depremi Davranışındaki Maksimum Gerilme Dağılımı (S33)	101
4.12. Yapı Üzerinde Çekme Gerilmelerini Aşan Bölgeler Ve Hesaplanan Değerler	104
4.13. 1992 Erzincan Depremi En Büyük Yatay Deplasman Değeri	107
4.14. Deprem Uygulanan Durumda Apsisli Model Tepe Deplasman Değerleri.....	108



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kalker numunesine ait oransal içerik.....	32
3.2. Harç Numunesine Ait Oransal içerik	35
3.3. Sıva numunesine ait oransal içerik.....	37
3.4. Test çekici okuma ve dayanım değerleri.....	39
3.5. Kullanılan malzemelerin yaklaşık basınç mukavemeti değerleri.....	44
3.6. Yığma Birimlerine Ait Yaklaşık Dayanım Değerleri	48
3.7. Operasyonel Modal Analiz Ve Teorik Analiz Sonucunda Elde Edilen Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar.....	77
3.8. Tüfleşmiş Kalker Malzeme Özelliklerine Göre Güncellenen Malzeme Parametreleri.....	80
3.9. Teorik ve Deneysel Modal Frekanslar	81
3.10. 1992 ve 1939 Erzincan Depremlerini Karşılaştırılması	84
4.1. Yapıya Ait Zati Yüke Göre Maksimum Gerilme Dağılımı Ve Dayanım Değerleri.....	89
4.2. Apsisli Modele Ait Modal Analiz Sonuçları.....	93
4.3. Apsisli Yapıya Ait Zati Yüke G Apsisli Yapıya Ait Zati Yük Etkisi Altında Oluşan Maksimum Eksenel Gerilmeler (S33).....	97
4.4. Uygulanan Depremde Hesaplanan Maksimum Eksenel Gerilmenin..... Karşılaştırılması	103
4.5. Apsisli Model Dinamik Analizi Sonucunda Elde Edilen Gerilme Dağılımlarının Karşılaştırılması	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
C	Sönüm matrisi
E	Elastiklik modülü
f_k	Basınç Mukavemeti
f_{ts}	Çekme Mukavemeti
K	Rijitlik
k	Rijitlik matrisi
m	Kütle matrisi
u	Yer değiştirme vektörü
ϕ	Donatı çapı
θ	Faz açısı
ω	Açısal frekans
ν	Poisson oranı
ξ	Sönüm oranı
$G_{yy}(j\omega)$	Tepki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu,
$G_{xx}(j\omega)$	Etki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu
$H(j\omega)$	Frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir
n	Mod sayısını göstermektedir
$u(t)$	Girdilerin zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır
W_K	İşlem gürültüsü yani modeldeki belirsizlikler ve kurulardır
V_K	Ölçüm gürültüsüdür,
δ_{pq}	Kronecker delta

Kısaltmalar

OMA	Operasyonel modal analiz
GFTAA	Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma yöntemi
SAB	Stokastik Altalan Belirleme Yöntemi

1.GİRİŞ

Modern toplumlarda, tarihi yapılar kültürel miras olarak değerlendirilmektedir ve bu yapıların var olması büyük öneme sahiptir. Aynı zamanda tarihi yapılar toplumun daha önceden sahip olduğu değerleri en iyi şekilde açıklayıp, anlatabilecek araçlardır. Bu yüzden toplumlar sahip oldukları değerlerin korunması adına, tarihlerine mal olmuş yapıların yüzyıllar boyunca yaşamasını isterler. Bu ise tarihi yapıların sürekli olarak takip edilmesini ve yapısal analizinin yapılmasını gerektirir. Yıllar boyunca varlığını sürdüren binalar zamana bağlı olarak çeşitli yüklere maruz kalırlar ve çevresel koşulların sahip olduğu etkilerle de yıpranmalar meydana gelir. Bunlarla birlikte yaşanmış olan depremlerde oluşan hasarlar veya yaşanması muhtemel olacak olan depremler içinde önlem alınması gerekir. Yapısal analizlerin yapılarak, deprem davranışının belirlenmesi, tarihi yapılar için gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada apsis bölümünün 1939 Erzincan Depremi'nde yıkıldığı ifade edilen Değirmenliköy Kilisesi ele alınmıştır. Çalışmanın amacı ise Erzincan'da bulunan Tarihi Değirmenliköy Kilisesindeki hasarın nedeninin araştırılmasıdır. Yapıya ait, elde edilen tescil fişinde 1939 Erzincan Depreminde hasarın oluştuğu ve apsis kısmının yıkıldığı bilgisi bulunmaktadır. Gerçekte tarihi yapının apsisinin bu deprem nedeniyle mi yıkıldığı sorusuna cevap aranmıştır. Söz konusu yapının lokal olarak yıkılmış olan kısmı halihazırda günümüze kadar herhangi bir onarım veya güçlendirme görmemiştir.

Yapının mevcut hali dikkate alınarak SAP2000 yazılımı kullanılarak yapısal analiz modeli oluşturulmuştur. Malzeme dayanımları belirlenerek modele tanımlanmış ve teorik modal analiz yapılarak dinamik karakteristikler hesaplanmıştır. Sonrasında, yapıda deneysel modal analiz yapılarak mod şekilleri ve frekanslar deneysel olarak elde edilmiştir. Bilgisayar modeli bu doğrultuda kalibre edilmiş ve ikinci aşamada apsisin eklendiği model oluşturulmuştur. Apsis içeren model üzerinde dinamik analizler yapılarak apsis hasarının söz konusu depremde oluşup oluşmadığı konusunda değerlendirmeler yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarihi yapıların incelenmesi ile ilgili daha önce yapılmış çok sayıda araştırmalar bulunmaktadır. Özellikle tarihi bir yapının yapısal analizi ile ilgili farklı yöntem ve metotlar uygulanmıştır.

Uygulanan yöntemlerden, tarihi yapıların analizinde ise yapıya zarar vermeden gerekli sonuçlara ulaşılması önem arz etmektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte tarihi yapıların yapısal olarak incelenmesi, binaya zarar verilmeden yapılabilmektedir. Bunun güzel bir örneği operasyonel modal analiz yöntemidir. Bu yöntem deneysel bir yöntemdir ve binaya titreşimler göndermek suretiyle yapının dinamik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. Bu yöntem ile ilgili çok sayıda ve çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Brincker 2000; Yu ve Ren 2005; Ramos 2007; Diaferio 2011; Saisi vd.2015).

Operasyonel modal analiz yöntemi konu edinen çalışmada aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

Deneysel modal analiz yönteminin kullanımı yaklaşık olarak 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Havacılık, uzay, astronomi, makine ve otomotiv alanlarında kullanılmaktaydı. İnşaat mühendisliği yapılarında zorlanmış titreşim olarak takriben 1980 ve çevresel titreşim olarak ise takriben 1990 yıllarında kullanılmaya başlanmıştır (Ramos 2007; Bayraktar vd. 2010b; Sevim 2010). Operasyonel modal analiz uygulanan yapıya herhangi bir zarar vermeksizin analizin yapılabilmesi olanak sağlaması nedeniyle, son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemler biri olmuştur. Bu özelliği bilhassa tarihi yapılar için büyük önem taşımaktadır. Diğer çalışmalarda ise;

Mendes vd. (2005) tarafından operasyonel modal analiz kullanımı ile tarihi yapıya ait dinamik karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmalı analizi Portekiz'de Carmo Kilisesi için yapılmıştır. Bu tarihi yapı 1755 Lizbon depreminde zarar görmüş ve onarım yapılmıştır. Çalışmanın esas amacı ise merkezi nefi örten tonoz üzerinde boyuna çatlakların neden olduğu yapısal davranışı

tespit edilmesiydi. Operasyonel modal analiz ile sonlu elemanların karşılaştırmalı analizi ile sonuçlar elde ediliyor, ancak çalışmanın yapıldığı yıl itibariyle de araştırma neticesinde yapının dinamik özelliklerinin sismik yüklerin önemli olduğu ve o yıllar itibariyle bunu gerçekleştirmenin tamda mümkün olmadığı neticesine varmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ve operasyonel modal analiz yöntemini karşılaştıran diğer bir araştırma Gentile ve Saisi (2006) tarafından yapılmıştır. Yapı 74 metre uzunluğunda tarihi saat kulesidir. Kule 17. yüzyılda, yığma yapı tarzında inşa edilmiştir. Kule üzerinde bazı çatlaklar bulunmaktadır. Çalışma ile yapılan operasyonel modal analiz ile sonlu elemanlar metodunun uyumlu olduğu görülüyor. Ayrıca bu analizler karşılaştırılarak daha iyi bir sonuç elde edilmesi için bazı güncellemeler yapılmıştır.

Bayraktar vd. (2010a) tarafından üç adet farklı kullanım amacıyla yapılmış olan tarihi yapılar üstünde oluşturulan çalışmada, 1992 yılında Erzincan'da meydana gelen deprem ivme kayıtları oluşturmak suretiyle operasyonel modal analiz yapılmıştır. Deneysel ölçümlerin gerçekleştirilmesinde geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma ve stokastik altalan belirleme yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan deprem kaydının pik değeri 0,515g'dir. Analitik ve deneysel analiz sonucunda 3 adet yapı için, ilk üç modlarının uyum içinde olduğu frekanslarında ise bazı farklılar ortaya çıkmıştır. Frekansların değerleri ise şu şekildedir; ilk yapının sonlu elemanlar yöntemi ile ilk üç frekans değeri 3-10Hz iken deneysel ölçümlerde 4-10Hz aralığında olmuştur. İkinci yapıda ise sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen frekans değeri 1-6Hz iken, deneysel ölçüm ile elde edilen değeri 1-7Hz aralığında olmuştur ve üçüncü yapıda sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen değer 2-8Hz iken, ölçümlerde bu değer 2-7Hz aralığında olmuştur. Bu nedenle elde edilen sonlu elemanlar modeli malzeme özellikleri ve sınır şartları dikkate alınarak iyileştirilmiştir. İyileştirme sonucunda oluşan sonlu elemanlar modeline göre yapılardaki maksimum yer değiştirme hesaplanmıştır.

Ramos vd. (2010b) nem ve yağmur etkisinin yönelik yaptıkları çalışmada; Portekiz'de saat kulesi ve kilise örneğinde yapılmıştır. Gelişmiş frekans tanım alanında ayrıştırma ve stokastik altalan belirleme olmak üzere iki adet yöntem izlenmiştir. Aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemiyle de karşılaştırmıştır. Çalışma yapının belirli bir

süre izlenmesini kapsıyor ve sıcaklık-nemin yapı üzerinde ihmal edilemeyecek kadar etkisinin olduğu kanaatine varılmıştır.

Aras vd. (2011) tarafından İstanbul Beylerbeyi Sarayında yapılan çalışmada, ortam titreşim deneyinden sonra yapı içerisinde bölgesel olarak farklı elastisite modüllerine sahip duvarların olduğu tespit edilmiştir. Oma ile sayısal metot karşılaştırılmıştır, malzeme farklılıkları, çatlaklar, korozyon ve deformasyonlar için düşük elastisite modülü tahminlerinde bulunulmuştur.

Osmancıklı vd. (2012) operasyonel modal analiz kullanımı için benimsenen modellerden gelişmiş frekans tanım alanında ayrıştırma ve stokastik altalan belirleme ile yapılan diğer bir çalışmada restorasyondan önce ve sonrasındaki dinamik özellikler karşılaştırılmıştır. Restore öncesi ve sonrası frekans değerlerinden ilk 2 mod benzer, diğer 5 mod boyunca restore edildikten sonra frekans değer azalıyor. Yine sönüm oranının da restore edildikten sonra azaldığı belirtilmiştir.

Foti vd. (2012) 3 Boyutlu sonlu elemanlar metodu ve ortam titreşim deneyinin kullanıldığı diğer bir çalışmada Bari'de tarihi kulede yapmışlardır. Dinamik tabanlı kimlik metodu kullanılmıştır. Gelişmiş frekans tanım alanında ayrıştırma ve stokastik altalan belirleme metotları kullanılıyor. Oma metotlarının kendi içinde uyumlu olduğu, deneysel ve teorik metotlarında uyumlu ve gerçekçi olduğu tespiti yapılmıştır.

Çalık vd. (2014) tarafından öncesinde hasar gören, sonrasında çelik takviyesi ile güçlendirilen tarihi Trabzon Küçük Fatih Camiinde uygulanan ortam titreşimi ile dinamik tanımlama yapılmıştır. Yapı çelik ile güçlendirildikten sonra doğal frekansı artıyor fakat sönüm oranı düzensiz dağılım gösteriyor. Sönüm oranında birinci ve ikinci modal davranışlar benzer diğerleri farklı olarak elde edilmiştir.

Tahribatsız olarak ortam titreşimine bağlı diğer bir çalışmada Trabzon Kalesinde Altunışık vd. (2016) tarafından yapılmıştır. Deneysel analiz benzer şekilde sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel analizde ilk üç frekans değeri 4-7 Hz arasında iken, sayısal analizde bu değer 5-10 Hz aralığında olmaktadır, buna rağmen

deneysel ve sayısal olarak saptanan değerler arasında maksimum doğal frekans farkı %26 oranında oluşmaktadır. Sayısal analizlerden iyi bir sonuç alınabilmesi için, deneysel olarak ölçülen değerlerle güncelleştirme yapılması gereği belirtilmiştir.

Yapıların mevcut durumlarının izlenmesi ve yapı sağlığının kontrol altında tutulmasında deneysel modal analiz sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu şekilde yapıya zarar verilmeksizin yapıya ait son durum izlenebilmektedir. Yapı sağlığının izlenmesinde elebi vd. (2004) yapılan çalışmada dinamik özellikler belirli aralıklarla belirlenebilmiştir. Bu çalışmalardan, yaklaşık 87 metre 24 katlı bir yapıya uygulanan, yapıya ait ivme değeri, deplasman değeri ve sönüm oranını gerçek zamanlı deprem ölçülmesinde gelişmiş sismik izleme sistemini kullanan araştırmanın başarılı olduğu söylenebilmektedir. Yapı titreşimlerinin izlenmesi hakkında detaylı bilgi veren şafak (2007) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, bu yöntemde yapıya ait modal karakteristikleri olan periyotlar, mod şekilleri, sönüm oranları, yapıda oluşan burulma, salınımı, titreşim genlik ve periyotları, yapı zemin etkileşimi tespit edilebilmektedir, ayrıca yapıların deprem altındaki davranışlarını belirleme de analitik modellerin ve sarsma tablası üzerinde yapılan küçük modellemelerin yerine, üzerlerine aletler yerleştirilmiş deprem bölgelerindeki birçok yapıdan alınan bilgilerle deprem davranışını çok daha gerçekçi bir şekilde elde edilebileceği üzerinde durulmuştur. Özellikle tarihi yapılar korunması, mevcut durumunun belirlenmesi ve hasar tanımı için yapı sağlığının izlenmesi hayatidir. Yapıya ait bilgilerin izlenmesi onu hasar odaklı olma ihtimalini de azaltmaktadır. Tarihi yapıların izlenmesinde diğer bir çalışmada da bilgiler nem ve sıcaklık değerleri işığında izlenmiştir (Ramos vd. 2010b). Benzer çalışmaların bir diğerinde ise malzeme deformasyonu, tekrarlanan yükler ve çevresel etkilere bakılarak yapı takibi yapılmıştır ve frekans izlemenin hasar tespiti için gerçek bir araç olabileceği üzerinde durulmuştur (Lourenço ve Ramos 2011).

Saisi vd. (2015) yapı sağlığı izlenmesi ile ilgili farklı bir çalışma yapmıştır. 2012 yılında İtalya'da yaşanan deprem sonrasında yapılmıştır. Tarihi Gabbia Kulesinde 8 ay süreyle, 1 saat aralıklarla yapı izlenmiştir. Amacı gelecekteki deprem etkilerini araştırmak ve yapı davranışını belirlemektir. İzlenen süre boyunca yapıya ait doğal frekans %15 civarında değişiklik göstermiştir, bunda sıcaklık değişimi de etkili

olmuştur.

Lourenço ve Ramos (2011) operasyonel modal analizin, normal sensör kullanımı yerine wifi teknolojisi kullanmışlardır. Yapılan kullanım ve karşılaştırma ile birlikte, wifi kullanımında elde edilen verilerde zayıf sonuçlar verdiği tespiti yapmışlardır.

Ramos vd. (2010a) deneysel modal analizin laboratuvar şartlarında değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmada ise, 1,5 metre genişliğinde kemer kullanılmıştır. Titreşim ölçümü kullanılmıştır ve oluşacak çatlakın yeri, safhası belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta hasar yerinin tespiti başarılı sonuç veriyor. Ancak bütün metotlarda bu başarının yakalanamayabileceği, sebebinin ise modal veri alınırken dışarıdan gelen seslerin varlığının olduğu vurgusu yapılmıştır

Özçelik vd. (2013) tarafından yine laboratuvar şartlarında küçük bir model oluşturulması ve sarsma tablası kullanılarak yapılan çalışmada ise, oluşturulan model yaklaşım ile operasyonel modal analiz karşılaştırması yapılmıştır. Offline iterasyon tekniği kullanımına da yer verilmiştir. Doğal frekans ve sönüm oranları değerlendirilmiştir. Ayrıca hasar indeksi oluşturulmuştur.

Laboratuvar şartlarında deneysel modal analizine yönelik, Kömür ve Deneme (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada simetrik ve simetrik olmayan yapılar modellenmiştir. Bu yapılar çelik olmakla birlikte laboratuvarda inşa edilmiştir. Yine gelişmiş frekans tanım alanında ayrıştırma ve stokastik altalan belirleme yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçta da deneysel ve numerik sonuçlar uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Köprüler trafik ve yaya yükü gibi çeşitli hareketli yükler altında titreşime daha da açık olmaları nedeniyle analizlerinde dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Köprülerle ve özellikle tarihi özelliği olan köprülerle ilgili olarak yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bir tanesi Bayraktar vd. (2007) tarafından Şinik Köprüsü üzerinde yapılmıştır. Çalışmada üç boyutlu modal analiz yapılarak doğal frekanslar ve mod şekilleri belirlenmiştir. Titreştirici olarak çevresel yüklerden yararlanılmıştır. 1992 Erzincan Deprem kayıtları kullanılmıştır. Modelden

elde edilen yer değiştirmeler ve asal gerilmeler karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen frekans değerleri daha yüksek olduğu görülmüştür. Seçilen deprem kaydı ile gerçekleştirilen dinamik analizde, en yüksek yer değiştirmelerin kemer bölgesinin en üst kısmında olduğu ve iyileştirme yapılarak elde edilen modelin, iyileştirme öncesindeki modele göre daha büyük yer değiştirmelere sahip olduğu gözlenmiştir.

Benrich ve Sabia (2008) tarafından deneysel modal analiz ile tarihi köprülerin analizinde yapılan diğer bir çalışma ise, sonraki yılda yapılan 18 adet açıklığa sahip, 1866 yılı yapımı Tanora köprüsüdür. Bu çalışmada ise yine köprünün yapılan deneysel analizine karşılık, numerik analiz ile karşılaştırması yapılmıştır. Benzer tarzda deneysel ve numerik analizlerin yapılması, yapıların oluşturdukları tepkilerle ilgili araştırmalar yapılmıştır, ayrıca bazı yapı modelleri içinde dinamik testlerle daha çalışma yapılarak geliştirilmesi gereği vurgulanmıştır (Costa vd. 2015).

Tren geçişi için inşa edilmiş tarihi köprü üzerinde yapılmış olan diğer araştırmada ise Costa vd. (2016) tarafından yapılmıştır. Tren trafiğinin etkileri göz önüne alınmıştır. Sayısal model ve modal parametrelerin deneysel yöntemlerle karşılaştırılması yapılmıştır, bazı düzeltmelerin yapılarak olumlu sonuçların alındığı bildirilmektedir.

Tarihi yapıların analizinde kullanılan diğer farklı yöntem ve yaklaşımlarla ilgili yapılmış olan çalışmalarda aşağıda özetlenmiştir;

Lourenço (2001) tarafından yapılan çalışmada, özellikle yeni gelişen bilgisayar teknolojisinin yetersiz olmasının da etkisi ile tarihi yapıların 3 boyutlu analizinin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca yapıların bütün olarak değil, parçalara ayırarak modellenmesinin daha doğru olacağını savunmuştur.

Betti ve Vignoli (2008) tarafından yapılan çalışmada Roma tarzı bir kiliseyi incelemiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle analiz yapmıştır. Yapıya ait çatlaklar üzerinden bazı tahminler yapmış ve deprem yüklerini binaya etki ettirmiştir.

Casolo ve Sanjust (2009) tarafından yapılan çalışmada, yine yığma sisteme sahip,

tarihi Maniace Kalesi değerlendirilmiştir. Yapıda doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Geleneksel sonlu elemanlar yonteminin yanı sıra rijit gövde yay modeli de kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada güçlendirme modeli önerilmiştir.

Aster vd., 2014 tarafından yapılan çalışmada 3 farklı ölkede var olan tarihi yapıları değerlendirmiştir. Kırılgnlık eğrileri oluşturmuştur ve tarihi yapılarda mevcut durum analizinde öncelikli yapıların belirlenmesine yönelik yaklaşım gerçekleştirmiştir.

Ayrıca numerik analiz yontemleri ile karşılaştırılarak yapılan çalışmalar da literatürde sıkça yapılan araştırma yontemidir (Bayraktar vd. 2010a; Aras vd. 2010; Foti vd. 2012).

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada takip edilen yöntem ve materyal hakkında bilgiler sunulacaktır.

3.1. İncelenen Yapı: Erzincan Değirmenliköy Kilisesi

Çalışma kapsamında Erzincan Değirmenliköy Kilisesi ele alınmıştır. Kilisede tez çalışmasının yapılabilmesi için gerekli izin, Kültür ve Turizm Bakanlığına bağlı, Erzurum Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulunca 25.05.2017 tarih ve 2663 no'lu kararı ile alınmıştır.

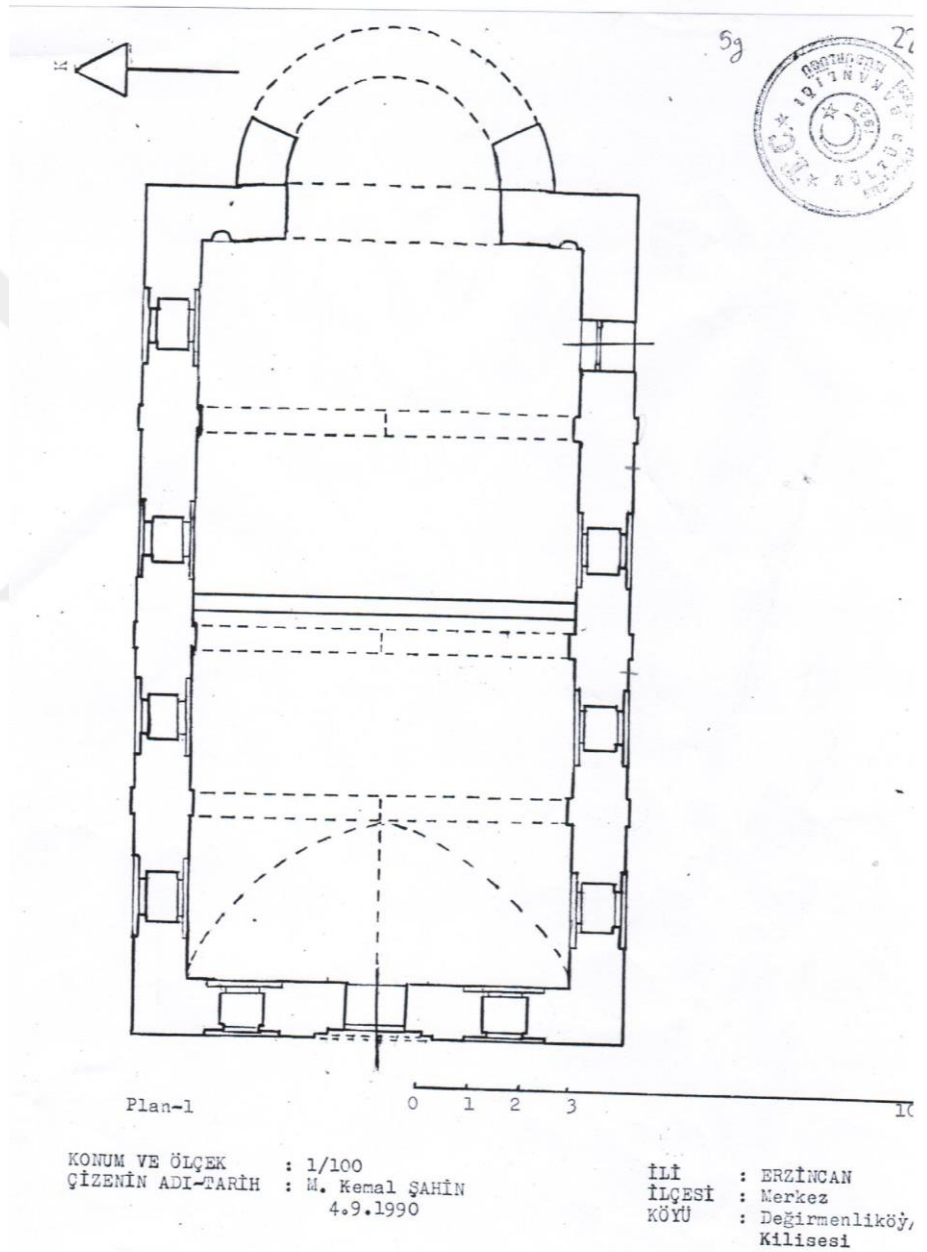
İzin alınmasından sonra tarihi kiliseye ait daha önce elde edilmiş olan tüm bilgiler, Kültür ve Turizm Bakanlığına bağlı, alt birimlere başvurularak araştırılmıştır. Ayrıca yerinde incelemelerde bulunulmuş ve bölge halkından toplanan şifahi bilgiler derlenmiştir.

Kilisenin Ermeniler tarafından yaklaşık 1800'lü yıllarda yapıldığı bilinmektedir (url-1). Yapı tescili, 1991 yılında Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Bugünkü sahibi ve bakımından sorumlu olan kuruluş Köy Tüzel Kişiliğidir. Kiliseye ait tescil fişi Şekil 3.1'de verilmiştir.

KURULUŞ ADI		KURULUŞ ADI		KURULUŞ ADI		KURULUŞ ADI		KURULUŞ ADI																																																																																																													
ERZİRCAN		Merkez		Değirmenliköy - Küyüğü Nev.		KORUMA DEREJESİ:		ANITSAL DEĞERSEL																																																																																																													
113 NUM.		1560		1560		1560		1560																																																																																																													
Değirmenliköy Kilisesi		YAPIM TARİHİ:		YAPIM TARİHİ:		YAPIM TARİHİ:		18-19.yy. (?)																																																																																																													
<p>GENEL TANIM: Değirmenliköy Merkez ilçeye bağlı bulunmaktadır. İlçeye yaklaşık olarak 20 km. uzaklıkta ve ilçenin güneydoğusunda bulunmaktadır. Çayırlayan yolu üzerindedir. Kilise köyün içerisinde Küyüğü mevkiinde yer almaktadır. 1. Pafta, 1560 numaralı parselde bulunmakta ve 280 m²'lik alana kaplanmaktadır. Kilisenin yapım tarihi belli değildir. Fakat mimari ve bezeme özelliklerine göre 18-19.yy'da yapılmış olmalıdır. Kilise 9.80x16.90 m. boyutlarında dikdörtgen bir alan üzerine kurulmuştur. Tek nefli olarak yapılmıştır. Giriş kapısı batıda bulunmaktadır. Kuzey ve güney duvarlarında dörder pencere ile batı duvarında da iki pencere bulunmaktadır. Yapıda kesme ve moloz taş birlikte kullanılmıştır.</p>																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>KORUMA DURUMU</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> <th>I</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>L</th> <th>M</th> <th>N</th> <th>O</th> <th>P</th> <th>Q</th> <th>R</th> <th>S</th> <th>T</th> <th>U</th> <th>V</th> <th>W</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>İHTİ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ORNA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TEMA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										KORUMA DURUMU	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	İHTİ																											ORNA																											TEMA																										
KORUMA DURUMU	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																																																																																											
İHTİ																																																																																																																					
ORNA																																																																																																																					
TEMA																																																																																																																					
VAZİ-ET PLANI					FOTOGRAF																																																																																																																
<p>GÖZLENER: Apside uzantısının oluşturan kısma yıkılmıştır. Olasılıkla 1939 depreminde yıkılmış olmalıdır. Ayrıca güney cephesinde ki en son pencere kapıya dönüştürülmüş, yine bu cephede ki ikinci pencere yıkılmıştır. Ayrıca güney cephesinin bir bölümünü yitirmiştir. Yine daha sonradan köy surlarıyla Kilisenin içerisi bir çarvarla ikiye ayrılmıştır. Duvarlarda yer yer bozulmalar görülmektedir.</p>																																																																																																																					
BUDURUM SAHİBİ: Köy Tüzel Kişiliği					BAKIMININ SORUMLUSU OLMASI GEREKEN İZİN VERİŞİ: Köy Tüzel Kişiliği																																																																																																																
YAPILAN ÇALIŞIMLAR: Kilise belli başlı bir onarım geçirmiştir. Sadece yapılan bir takım eklentiler vardır.																																																																																																																					
GENEL TANIM: Kilise yukarıda da belirttiğimiz gibi 9.80x16.90 m. boyutlarında bulunmaktadır. Tek nefli olarak yapılmıştır. Giriş kapısı batıda bulunmaktadır. Kuzey ve güney duvarlarında dörder, batı duvarında da iki pencere yer almaktadır. Ayrıca doğu duvarında iki tane niş bulunmaktadır. Duvarlardan ilkinde doğu 10 cm. kadar taşınmış ve karşılıklı olarak sıralanmış altı şık birinci ve üçüncü kemerle bölünmüştür. İkinci ve dördüncü kemerler arasında çatı ile örtülü bulunmaktadır. Kilisenin yapımında kesme ve moloz taş birlikte kullanılmıştır. Özellikle pencere ve kapı çerçevelerinde, ayrıca kemerlerde kesme taş kullanılmıştır. Bunların yanında yer yer taş işleme malzemesi de kullanılmıştır. Ayrıca duvarların çapraz kesimlerinde çapraz haç şekilleri ile duvarların bezeme oluşturulmuş istenmiştir. Doğru cephesi en fazla yıkıma uğrayan yeridir. Apside kısmının duvarıyla doğu taşınmış yapıya anlaşılmaktadır. Büyük bir olasılıkla 1939 depreminde yıkılmış olmalıdır. Apside uzantısının üzerinde kare çelikte koyu renkli taşınmış bölümleri kaplanmış olmakla birlikte bezeli olarak işlenmiş haç motifleri ile sari ve kırmızı renklerde bezeme izleri görülmektedir. Bu da olasılıkla Kilisenin içerisindeki çapraz kesimlerle bezeli olduğunu, fresk bezemelerinin yer alabileceğini göstermektedir. Batı cephesinde giriş kapısı (2.30x1.10 m.) yer almaktadır. İçeriye doğru iki kademe halinde girinti yapılmıştır. Ayrıca giriş kapısının iki yanında yuvarlak kemerli pencerelere yer verilmiştir. Giriş kapısının kemerinde bir sıra sarımsak kesme taş, bir sıra koyu renkli taş kullanılmıştır. İkinci ve dördüncü kemerli bulunmaktadır. Kapı kemerinin üzerinde iki kemer geçirmektedir. Birincisi yuvarlak kemerli, ikincisi besamak şeklindedir. Pencerelerin üzerinde de değişik şekilde işlenmiş haç şekilleri görülmektedir. Kuzey cephesinde de diğer cephelerde olduğu gibi																																																																																																																					
YAYIN DİZİNİ:						<table border="1"> <thead> <tr> <th>TEKNİK BİLGİLER</th> <th>SU</th> <th>ELEKTRİK</th> <th>ISITMA</th> <th>KANALİZASYON</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ORJİNAL KULLANIMI:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kilise</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BÜYÜK KULLANIMI:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Samanklık</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ÖNERİLEN KULLANIMI:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cami yada köy odası olarak kullanılabilir.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HAZIRLANAN TARİH: 29/1/1991</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HAZIRLAYAN: M. K. K.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>YERİ: / / 19</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>GEÇERLİLİK ÖZELLİKLERİ NO.:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>EKLER:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BAFOR</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FOTOGRAF</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RÖLÖVE PROJESİ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RESTORASYON PROJESİ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HARİTA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>KROKİ</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ŞİTARE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VAKEFİYE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				TEKNİK BİLGİLER	SU	ELEKTRİK	ISITMA	KANALİZASYON	ORJİNAL KULLANIMI:					Kilise					BÜYÜK KULLANIMI:					Samanklık					ÖNERİLEN KULLANIMI:					Cami yada köy odası olarak kullanılabilir.					HAZIRLANAN TARİH: 29/1/1991					HAZIRLAYAN: M. K. K.					YERİ: / / 19					GEÇERLİLİK ÖZELLİKLERİ NO.:					EKLER:					BAFOR	X				FOTOGRAF	X				RÖLÖVE PROJESİ					RESTORASYON PROJESİ					HARİTA					KROKİ	X				ŞİTARE					VAKEFİYE												
TEKNİK BİLGİLER	SU	ELEKTRİK	ISITMA	KANALİZASYON																																																																																																																	
ORJİNAL KULLANIMI:																																																																																																																					
Kilise																																																																																																																					
BÜYÜK KULLANIMI:																																																																																																																					
Samanklık																																																																																																																					
ÖNERİLEN KULLANIMI:																																																																																																																					
Cami yada köy odası olarak kullanılabilir.																																																																																																																					
HAZIRLANAN TARİH: 29/1/1991																																																																																																																					
HAZIRLAYAN: M. K. K.																																																																																																																					
YERİ: / / 19																																																																																																																					
GEÇERLİLİK ÖZELLİKLERİ NO.:																																																																																																																					
EKLER:																																																																																																																					
BAFOR	X																																																																																																																				
FOTOGRAF	X																																																																																																																				
RÖLÖVE PROJESİ																																																																																																																					
RESTORASYON PROJESİ																																																																																																																					
HARİTA																																																																																																																					
KROKİ	X																																																																																																																				
ŞİTARE																																																																																																																					
VAKEFİYE																																																																																																																					

Şekil 3.1 Yapıya Ait Tescil Fişi

Yapı hakkında çalışma dâhilinde kullanılabilir veri envanteri son derece kısıtlıdır. Herhangi bir röleve çalışması yapılmamış olup, sadece Şekil 3.2’de verilen krokiye ulaşılmıştır. Ancak bu kroki yapının modellenmesi için yeterli olmamıştır. Bu çalışmada yapısal modele esas olmak üzere röleve çıkarılmıştır.



Şekil 3.2. Yapının Tescil Fişinde Yar Alan Krokisi

Bu teze konu olan yapı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nce 1991 yılında tescili yapılmış olan Değirmenliköy Kilisesi' dir. Kilise Erzincan İli Merkez ilçeye bağlı Değirmenliköy' de bulunmaktadır. Köy İlçeye yaklaşık olarak 20 km uzaklıkta ve ilçenin güneydoğusundadır.. Çağlayan Beldesi yolu üzerindedir. Kilise köyün içerisinde Köyiçi mevkiinde yer almaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Değirmenliköy Kilisesi Batı Girişi

Kilise 1.pafta ve 1560 numaralı parselde bulunmakta ve bahçesi dahil olmak üzere yaklaşık 280 m²'lik alan kaplamaktadır. Kilisenin yapım tarihi belli değildir. Fakat mimari ve benzeme özelliklerine göre 18-19 yüzyılda yapılmış olmalıdır. Yapı iç kısmında yer alan yazılı metinler Ermeni dilinde uzman kişilere gösterilmiş ve yazıların

Ermenice olduğu tespit edilmiştir. Kilisenin Ermeni kilisesi olduğu konusunda yabancı basında çıkan haber metinlerine de erişilmiştir. Kilise 9,80m x 16,90m boyutlarında dikdörtgen bir alan üzerine kurulmuştur. Tek nefli olarak yapılmıştır. Giriş kapısı batıda bulunmaktadır. Kuzey ve güney duvarlarında dörder pencere ile batı duvarında da iki pencere bulunmaktadır. Yapıya ait genel görünüş Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Değirmenliköy Kilisesi Genel Görünüm

Kilisenin doğu duvarında iki adet niş bulunmaktadır. Duvarlardan ileriye doğru 10 cm kadar çıkma yapan ve karşılıklı olarak sıralanmış altı ayak birbirine üç sivri kemerle bağlanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Değirmenliköy Kilisesi İç Görünüm

İten sivri beşik tonozla, dıştan da çatı ile örtülü bulunmaktadır. Kilise

yapımında kesme ve moloz taş birlikte kullanılmıştır. Özellikle pencere ve kapı çevrelerinde, ayrıca kemerlerde kesme taş kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kilise Yapısında Kesme Taş ve Moloz Taş Kullanım Örnekleri

Doğu cephesi en fazla yıkıma uğrayan yerdir. Bu kısmın 1939 Erzincan Depremi'nde yıkıldığı varsayılmaktadır. Mevcut durumda yıkılan apsis kısmından geriye 80 cm dışarıya doğru çıkıntı kalmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Apsis Kısmı Görüntüsü

Bunların yanında yer yer devşirme malzeme kullanımı da söz konusudur. Yöreden daha önce yapılmış olan yapı kalıntılarında getirilen malzemeler bulunmaktadır. Özellikle yontma gerektiren sütun, sütun başlığı ve tonozlar yeniden kullanıma iyi birer örnektir. Yine duvarların çeşitli yerlerinde çeşitli haç şekilleri ile duvarlarda bezeme oluşturulmak istenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Haç Şekilleri ve Duvar Motifleri

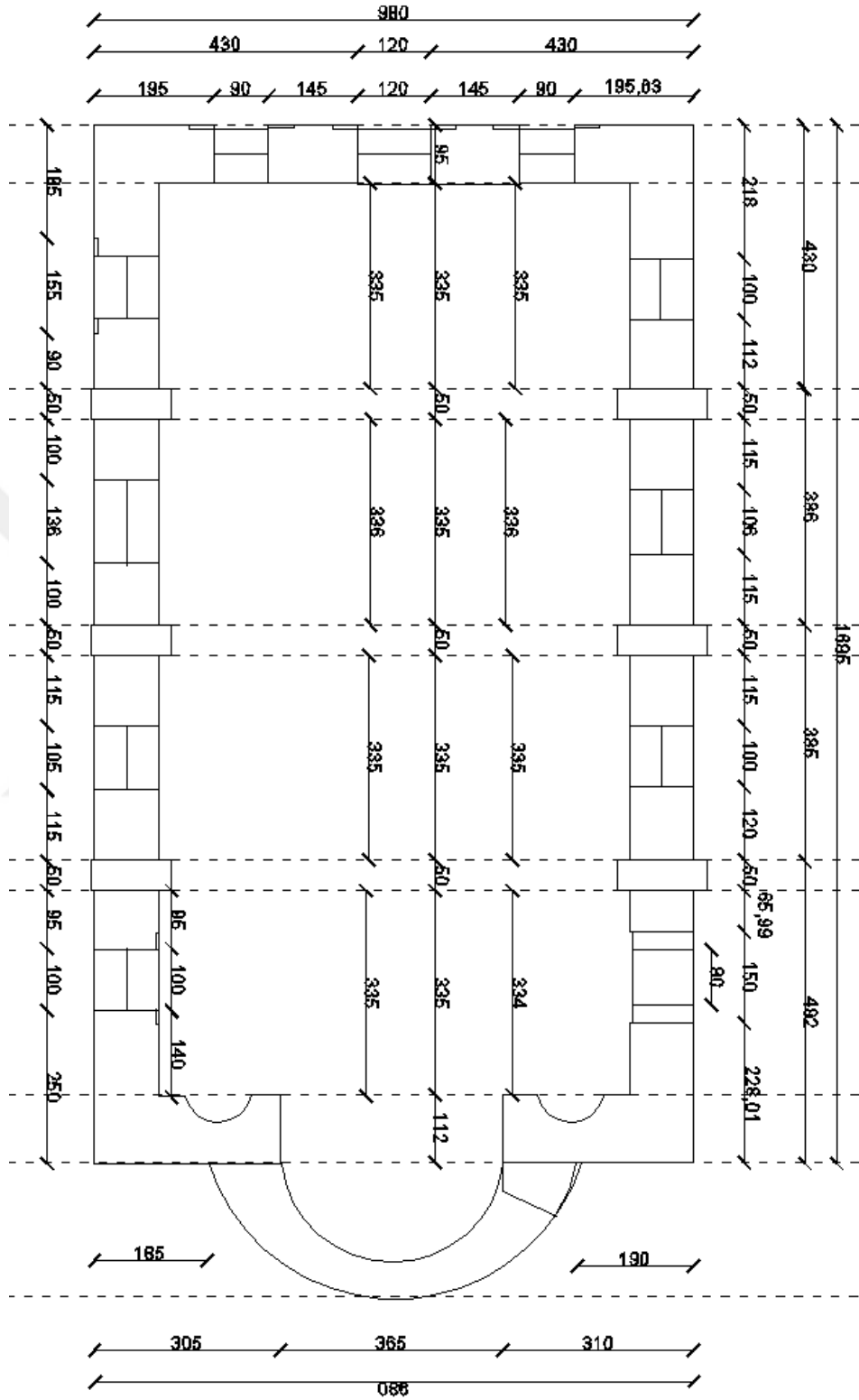
Apsis uzantısının üzerinde kare şeklinde koyu renkli taşın üzerinde haç işareti bulunmasına karşılık şimdi yoktur. Ayrıca apsis duvarının üzerinde çoğu bölümleri kapanmış olmakla birlikte bezeli olarak işlenmiş haç motifi ile sarı ve kırmızı renklerde bezeme izleri görülmektedir. Bu da olasılıkla kilise içerisinin çeşitli renklerde bezeli olduğunu, fresk bezemelerinin yer alabileceğini göstermektedir. Batı cephesinde 2,30 m x 1,10 m ölçülerinde giriş kapısı bulunmaktadır. İçeriye doğru iki kademe halinde girinti yapmaktadır. Ayrıca giriş kapısının iki yanında dairesel kesite sahip kemerli

pencerelere yer verilmiştir. Giriş kapısı kemerinde sarımtırak kesme taş, bir sırada koyu renkli taş kullanılarak iki renklilik oluşturulmuştur. Bunun üzerinde biri kaybolmuş durumda bulunan üç tane bezeli haç motifi bulunmaktadır. Kapı kemerinin üzerinde iki kemer çevirmektedir. Birincisi dairesel kemerli, ikincisi basamak şeklindedir. Pencerelerin üzerinde değişik şekillerde işlenen haç işaretleri görülmektedir. Kuzey cephesi de diğer cephelere benzer şekildedir.

Kilise şu anda ibadete açık değildir ve herhangi bir başka amaçla da kullanılmamaktadır. Zaman zaman Ermeni kökenli kişilerin yöreye gelerek kiliseyi ziyaret ettiği bilinmektedir.

3.1.2. Mimari ve Röleve

Tez çalışması için yapılan araştırmalarda yapıya ait daha önce yapılmış, sadece basit bir kroki haricinde herhangi bir röleve bulunmadığı tespit edilmiştir. Krokide bazı hatalar bulunması ve yapı modeli oluşturulmasında yeterli olmadığı için, bu çalışmada yapı yerinde incelenmiştir ve ölçümler alınarak rölevesi çıkarılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Yapıya Ait Röleve Çalışması (Plandaki Tüm Ölçüler cm'dir)

Değirmenliköy Kilisesi 9,80 m x 16,80 m olmak üzere yaklaşık 165 m² olarak inşa edilmiştir. Kat yüksekliği 3,45m'den başlamak üzere kemerlerin orta noktalarında yaklaşık olarak 7,35 m ile 8,00 m arasında değişmektedir. Duvar kalınlığı 95 cm, 105 cm ve 120 cm olarak değişiklik göstermektedir. Yaklaşık aks açıklıkları 3,35 m olmak üzere, bu açıklıklara oturan kemerler yaklaşık 50 cm genişliktedir ve 4 adet açıklık bulunmaktadır. Bu açıklıkları 5 adet kemer ve kemerlerin oturduğu karşılıklı sütunlar bulunmaktadır. Kemer araları çok daha küçük, sütun yükseklikleri ile yarıçapın en üst noktası aynı olan iç kemerlerle bağlanmıştır. Kemerler ve kemer aralarında çatı kaplamasını oluşturan nispeten hafif malzemeden yapılmış taşlar oluşturmaktadır.

3.1.3. Taşıyıcı Sistem Özellikleri

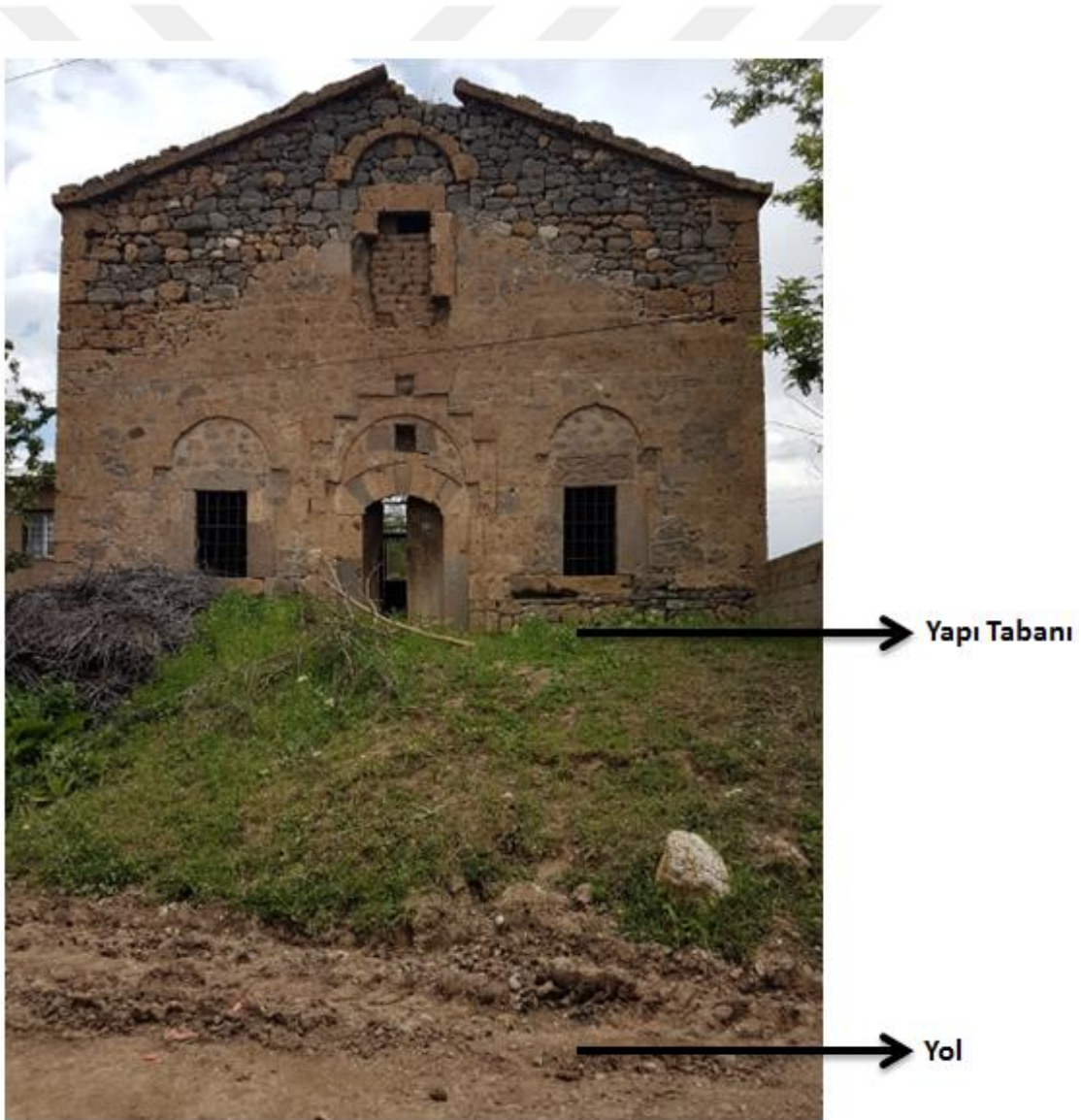
Çalışmada araştırılan yapıda eşit aralıklarla aks sistemi oluşturulmuştur (Şekil 3.9.). Bu sistem üzerinde ana taşıyıcılar olarak kolon benzeri sütunlar ve bu sütunları destekleyen iç kemerler bulunmaktadır. Kilisesi yığma yapı tarzında ağırlıklı olarak kalker taş malzemeden oluşmaktadır. Yapıda 2 adet dış noktada ve 3 adet içte olmak üzere toplam 5 adet kemer ve kemerlerin karşılıklı oturduğu sütunlar bulunmaktadır. Çatı tonoz olarak inşa edilmiştir ve bu tonozlar kemerlere bağlanmıştır. Büyük kemerlerin aks açıklıklarını dıştan küçük kemerler ile geçilmiştir. İç küçük kemerler ve sütunlar nispeten daha dayanıklı bir birleşim ile yapılmıştır. Çatı üst örtüsünde nispeten hafif boşluklu malzeme kullanımı görülmektedir.

Yapıda kullanılan malzemeler andezit, serpantin ve çoğunlukla tüfleşmiş kireçtaşıdır. Çatı kaplamasının ve sütunların büyük çoğunluğunda, kemerlerin tamamında, iç kemerlerin takriben yarısında tüfleşmiş kireçtaşı kullanılmıştır. Andezit daha çok taşıyıcı sütunlarda ve sütunları bağlayan kısımlarda yoğunlaşmıştır. Çatı kaplamasının bazı bölgelerinde de kullanıldığı görülmektedir. Serpantin kemerleri birleştiren çatı kaplamasında az miktarda olmasına karşılık, kemerlere denk gelen dış yüzeylerde, iç kemerlerin üzerinde yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Yapıda kullanılan ayrıntılı malzeme bilgileri ve mekanik özelliklerine ilişkin detaylı bilgi Bölüm 3.2’de sunulmaktadır.

3.1.4. Zemin Durumu

Yapı yakın çevresinde yapılmış olan jeolojik etüd raporu baz alınarak yapının inşa edildiği temelin yaklaşık $10-13 \text{ t/m}^2$ emniyet gerilmesine ve $1000-1600 \text{ t/m}^3$ yatak katsayısına sahip olduğu söylenebilmektedir (Su 2017). Aynı zamanda zeminin mevcut yapısında kot farklılıkları ve eğimli bir yapıda olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.10.).



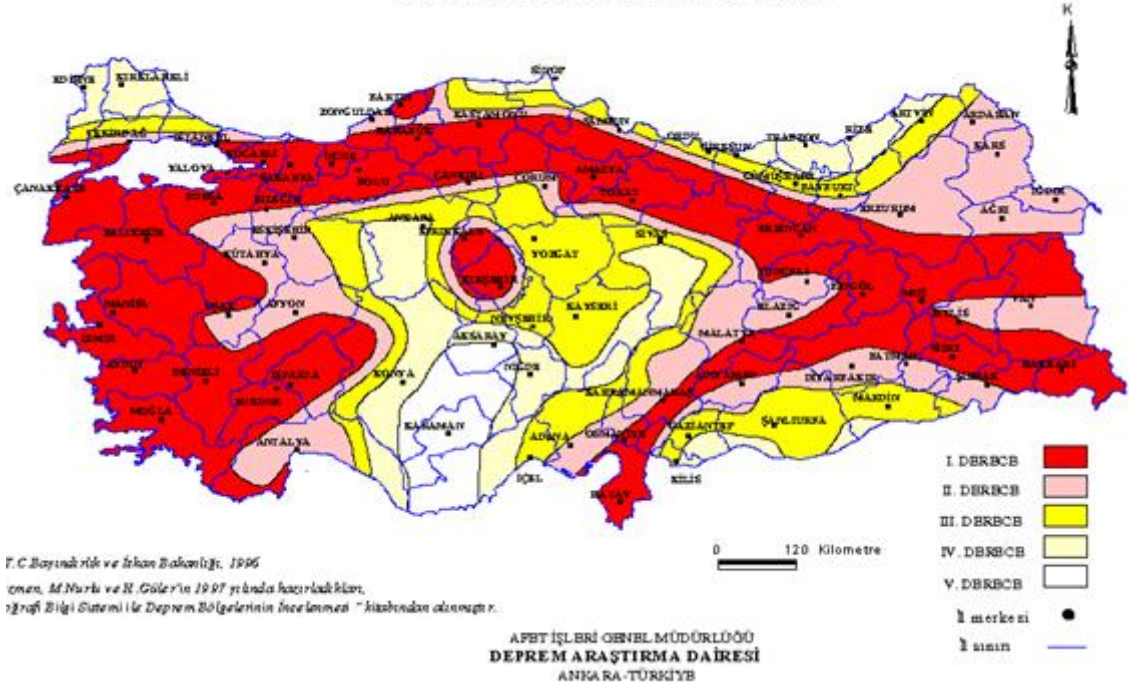
Şekil 3.10. Kot Farklılıklarını Gösteren Fotoğraf

Kilisenin bulunduğu, Erzincan ilinin sahip olduğu yerel zemin koşullarında, gevşek yapılı alüvyon tabakaların hâkim olduğu söylenebilmektedir. Erzincan havzasının yıllar boyunca Fırat nehrinin getirdiği malzeme ile dolduğu bilinmektedir. Bununla birlikte de dağ yamaçlarına yakın yerlerde alüvyon tabakasının kalınlığı azalırken, havza ortasında bu kalınlık artmaktadır ve yüz metrelerce derinliğe ulaşmakta olduğu bilinmektedir. Şehrin yerleşim sınırları içerisinde ise belirli bir sağlam çakıl tabakasının varlığı inceleme noktalarından gözlenmiştir ve genel olarak çakıl tabakası derinliği kuzeyde 4-6 m iken güneyde bu kalınlık değeri 14-16 m değerlerine ulaştığı görülmektedir. Çakıl tabakaları üzerinde sıklığı ve dane çapı dağılımları yer yer değişen alüvyon tabakaları mevcuttur ve genelde orta sıkı, silt ve kil ağırlıklı tabakaların yumuşak ve orta katı olduğu gözlenmiştir. Deprem dalgaları üzerinde zemin tabakalarının büyütme etkilerinin yüzeyden itibaren 10m derinliğe kadar çok önemli mertebelerde olmaktadır. Çakıl tabakasının çok sıkı konumda olduğu ve bu yüzden deprem dalgaları üzerinde önemli bir değişiklik yapmayacağı düşünülebilir (Lav vd 1994).

3.1.5. Bulunduğu Konum ve Depremselliği

Tarihi Değirmenliköy Kilisesi Erzincan ili sınırlarında bulunmaktadır. Erzincan ili Şekil 3.11’de görüldüğü gibi Türkiye’de birinci derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. Erzincan ili Kuzey Doğu Anadolu fay hattı üzerinde yer almaktadır. Doğu Anadolu fay sıkışma bölgesinin ise Karlıova ile Ermenistan arasında kalan bölümü Kuzey Doğu Anadolu fay sıkışma olarak bilinmektedir. Geniş bir kesme zonu olan Kuzey Doğu Anadolu fay sıkışması, birbirlerine paralel olarak gelişmiş kuzey-doğu ve güney batı doğrultulu, sol yönlü ve ters bileşenli birçok kısa fay segmentlerinden meydana gelmektedir. Bu faylar, 15-20 km uzunlukta Kelkit fayı, Erzincan’ın hemen kuzeybatısından başlayan ve kuzeydoğuya doğru 150 km devam eden Akdağ fayı, Tortum güneybatısı ile Aşkale ilçesi arasında uzanan Aşkale fayı, Çat civarından başlayan, Erzurum, Dumlulu, Tortum ve Oltu boyunca uzanan Dumlulu fay zonu ile Tekman ile Gaziler arasında uzanan Çobandede faylarıdır (Gülkan vd. 1993).

DEPREM BÖLGELERİ HARİTASI*



Şekil 3.11. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası

Erzincan ili detaylı deprem bölgeleri haritası Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Bölge olarak merkez, Refahiye Kemah, Otlukbeli, Tercan, Üzümlü olmak üzere birinci derece deprem bölgesi kabul edilmektedir. Kemaliye ve İliç ise ikinci derece deprem bölgesi kabulü yapılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan tarihi kilise ise merkeze yakın Çağlayan mevkiinde bulunmaktadır ve birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır.



Şekil 3.12 Erzincan Deprem Bölgeleri Haritası

Erzincan ilinde geçtiğimiz yüzyılda 1939 ve 1992 yıllarında büyük ve şiddetli depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerden 1939 yılı depreminin yapılar için önemli bir imtihan olduğu ve 1992 depreminin ise betonarme yapıların test edilmesinde ve yapım yönetmeliklerimizin irdelenmesinde çok önemli bir nokta olduğu söylenebilmektedir. Özellikle 1939 Erzincan Depremi geçtiğimiz yüzyılın başında büyük yıkıcı etkisi olmuş ve yaklaşık 33000 insanımızın can vermiştir. Bu özelliği ile dünyanın en yıkıcı depremlerinden birisi olarak kayıtlara geçmiştir. 27 Aralık 1939 tarihinde yaşanan bu deprem ile birlikte Türkiye’de deprem zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmalarında başlangıcı olmuştur (Özmen 2012).

İncelenen yapıdaki apsis hasarının 1939 Erzincan Depremi’nde oluştuğuna dair bilgiler bulunduğu ve tez konusu esasen bu durumun incelenmesi olduğundan, bu depremin daha detaylı olarak açıklanmasında yarar görülmektedir. Kuzey Doğu Anadolu Fay hattı sismik açıdan diri olduğu geçtiğimiz yüzyılda ilk olarak 26 Aralık 1939 gece saat 23:57 meydana gelen Erzincan Depremi ile tespit edilmiştir. 1939 Erzincan Depremi büyüklüğü (magnitüdü) 7.8 gibi büyük bir değerdedir ve yaklaşık

olarak 33000 can kaybına neden olmuştur (Gürsoy 2006). Bu rakam şu an dahi büyük bir can kaybı olmakla birlikte, depremin yaşandığı yıllar göz önüne alındığında bir şehrin neredeyse tamamının hayatını kaybetmesi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, 1939 Erzincan Depremi' ne ait sayısal bir ivme kaydı bulunmamaktadır.

1939 Erzincan Depremi'nden başka aynı fay hattı üzerinde bu tarihten öncede çok büyük depremlerin yaşandığı görülmektedir. Yaklaşık 1000 yıllarının başından itibaren kayıt altına alınan bu depremler büyük can kayıplarına neden olmuştur. Tarih içinde Erzincan'da tespit edilen depremler 1045 yılında 9 şiddetinde, 1168'de 8 şiddetinde, 1374'de 8 şiddetinde, 1584'de 9 şiddetinde (1584'deki depremde 15 bin civarında insanın öldüğü bilinmektedir.). 1784'de 8 şiddetinde, 1888'de ise 7 şiddetinde depremler meydana gelmiştir (Haçın 2014).

Fay özelliklerine bakıldığında Kuzey Anadolu fayı tek bir kayma düzlemi üzerinde değildir. Çeşitli parçalardan meydana gelmiştir. Bu parçaların genişliği, 500 - 1000 m olarak oluşabilmektedir. Bu fay zonunda kayaçlar parçalanmış ve ezilmiştir. Aynı zamanda sıcak veya soğuk su kaynaklarından ve baraj gölleri meydana gelmiştir. Var olan kaynaklar etrafında travertenler oluşmuştur ve volkanik erüpsiyonlar bulunmaktadır. Fayın bütün parçalarında sağ yönlü yatay kayma hareketleri büyük oranda etkilidir. Az miktardaki ölçüde, düşey hareketler vardır ve fayın kuzey kısmı a, güneydeki arazilere göre, sağ yönde ve aşağı yönde kaymıştır. Bunlar doğrultulu ve sağ yönlü faylardır. Depremler neticesinde yatayda oluşan kayma hareketi 1.5 - 4.3 m ortalamasındadır. Aynı şekilde düşey yönde oluşmuş kayma miktarı 0.40 - 1.00 m olmaktadır. Hareket çoğunlukla sağ taraftan meydana gelmektedir. Deprem sonrası tespiti yapılan yol ve duvarların aynı yönde yer değiştirmektedir. Bunun dışında arazide farklı oranlarda sıvalanmış tansiyon çatlakları görülmektedir. Yeni dere yatakları ile bunları kesen fay hatları üzerinde sağ taraftan geldiği bilinen deplasman değerinin belirlenmesi gibi olaylardan faydalanmak suretiyle oluştuğu görülür (Ketin 1969). Aynı depremde, Erzincan'dan Ezinepazar üzerine belirlenen hatta 360 km'lik kırık gelişmişti. ve deprem sonucunda oluşan yüzey kırığı üzerinde fayın karakterini yansıtan 3.7 ile 7.5 metrelik sağ tarafta oluşan yer değiştirmelerin haricinde 1 – 2 metre düşeyde atımların da varlığı saptanmıştır (Gürsoy 2006).

3.2. Malzeme Özellikleri

Yapı hakkında yapılan kapsamlı araştırmada tescil fişi ve yabancı basında yer alan birkaç haber dışında bilgiye erişim mümkün olmamıştır. Yapı hakkında bilgi toplamak için yerinde uzun süre çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda yapıda birden fazla kayacın kullanıldığı tespit edilmiştir. Kayaç türlerinin tespitinde jeoloji mühendislerinden teknik destek alınmıştır. Yapıda kullanıldığı tespit edilen kayaçlar; serpantin, andezit ve tüfleşmiş kalkerdir. Kayaçlar hakkında detaylı bilgi aşağıda sunulmaktadır.

Serpantin taşı, esas olarak kendi adını taşıdığı kayaçtan oluşan. Kimyasal yapı olarak klorit mineral gibidir ve suyla magnezyum silikattan oluşur. Demir ve nikel miktarı azdır. Basit serpantin, krem beyazıyla yeşil ve siyah rekte gözükür. Çizgi rengi beyaz, sertlik derecesi 2.5- 4.0, yoğunluğu 2.6'dır. Yarı saydam ya da mat renklere sahiptir ve kaygan özelliktedir. Yağlı bir parlaklığa vardır ve mika, liçli ve benekli olanları bulunur. Fiziksel özelliklerine göre çeşitlere ayrılır. Sekonder bir mineraldir. Başkalaşıma uğramış kayaç olarak bulunur. Yeryüzünde ve Anadolu'da geniş yatakları vardır. Serpantin olduğu yerlerdeki bitki örtüsünün kaldırılması sonucu, üzerindeki toprak örtüsü rahatça hareket etmektedir. Dolayısıyla bitki örtüsünün aynı yerde yetiştirilmesi genellikle mümkün olmamaktadır. Çoğunlukla uzaktan bakıldığında yeşil olarak fark edilir. Tarihi kilisede kullanılan serpantin örneği Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Yapıda Kullanılan Serpantin Taş Örneği

Andezit, kayaç olarak tersiyer ve kuvaterner dönemlerde oluştuğu bilinmektedir. Volkanik hareketler etkilidir ve kor kayaç olarak nitelendirilir. Andezitleri nispeten fazla olarak montmorillonit alterasyonu gösterir. Bazik özellik taşırlar. İki kısma ayrılır. Bunlardan biri nötr andezitlerdir, diğeri ise kaolinit alterasyonlu beyaz basit andezittir. Andezitler hakkında hakim olan görüş derinliklerdeki bazaltik magmanın ayrışmasından oluştuğudur. Zannedildiği gibi farklı kökenli magmalar değildir. Andezitler volkanik kayaçların ilk birimidir. Dokanak alta gözlenmez ve üst dokanakları, otobreşler ile benzer ve andezitlerle otobreşler giriş çıkışının olduğu gözlenir. Andezitlerin ayrışma seviyeleri farklıdır ve gri pembe renkleri vardır. Volkano-sedimenter yapıdan dolayı, akma düzlemleri, soğuma ve tektonizma çatlakları gözlenmektedir. Andezit taşı Ankara taşı olarak bilinir. Andezit bileşimindeki kor kayaçlar tersiyer ve kuvaterner dönemlere rastlamaktadır. Bu şekildeki oluşum volkanik hareketlere bağlı olarak gelişmiştir. Ankara'nın Gölbaşı bölgesinde bolca bulunduğu için Türkiye'de Ankara taşı olarak da bilinmektedir. Yapıda kullanılan andezit taş örneği Şekil 3.14'de gösterilmiştir.

Kireçtaşı tortul bir kayaçtır. Kalker kireç elde etmekte kullanılan, kalsiyum karbonat tuzundan elde edilir. Kireç taşının diğeri adı kalkerdir. Yapısında en az % 90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) olan kayaçlara kalker denir. Kalker, çimento yapımında kullanılmaktadır. Ana mineraller kalsiyum karbonatlı kalsit ve aragonit ile magnezyum karbonatlı dolomit kireç taşıdır.



Şekil 3.14 Yapıda Kullanılan Andezit Taş Örneği

Yapıda kullanılan tüfleşmiş kireçtaşı üzerinde detaylı incelemeler yapmak mümkün olmuştur. Yapıda kullanılan tüfleşmiş kireçtaşına ait fotoğraf Şekil 3.15’de verilmiştir. Yapı içerisinde duvarlardan döküldüğü belirlenen tüfleşmiş kalker numuneleri olduğu tespit edilmiş ve bunlardan örnekler alınmıştır. Elde edilen örnekler üzerinde elektron mikroskobu incelemesi, birim ağırlık ve basınç dayanımı tayini çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15 Yapıda Kullanılan Tüfleşmiş Kireçtaşı Örneği

Bu taşın öncelikli olarak yeniden araştırılmasının nedeni, yapıda en fazla kullanılan taş birimi olmasıdır. Tonoz, kemer ve iç kemer başta olmak üzere bütün yığma birimlerinde bu taşın kullanıldığı bilinmektedir. Sık kullanılmasının nedeni yakın köylerde bu taşın ait madenin bulunması ve bu taşın çok hafif bir malzemenin oluşmasıdır. Aynı zamanda oldukça boşluklu yapıya sahiptir. Ayrıca test çekici sonuçları düşük çıkmıştır. Bu nedenle de basınç dayanımı tayininde test çekici kullanımını uygun olmama ihtimali düşünülmüştür.

Çalışmanın başında kullanılan bu taşın basınç mukavemeti test (schimidt) çekici kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak teorik ve deneysel modal analiz

sonuçlarının çok uyumsuz olması nedeniyle taşın yeniden gözden geçirilmesine karar verilmiştir.

Tarihi kilise içerisinde daha önce yapıdan ayrıldığı tahmin edilen taş numunesi alınarak Erzurum Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü' nde basınç mukavemetini belirlemek üzere teste tabi tutulmuştur. Taş numunesine eksenel basınç testi uygulanmıştır. Ancak numune dayanımın çok az olması nedeniyle Şekil.3.16'de görüldüğü gibi numuneye ait basınç değeri okunamadan parçalanmıştır.



Şekil 3.16 Tüfleşmiş Kalker Numunesi İçin Basınç Dayanım Testi

Tüfleşmiş kireçtaşının basınç dayanımının belirlenememesi nedeniyle, numuneye karayolları uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve zayıf zeminlerin dayanımını belirlenmesinde tercih edilen Kaliforniya taşıma oranı (CBR) testi uygulanmıştır. Bu deneyde numuneye düşük hızlarda eksenel basınç uygulanmakta ve kırılma anında meydana gelen düşey deformasyon okunmaktadır. Okunan deformasyon kalibrasyon tabloları kullanılarak basınç mukavemeti değerine dönüştürülmektedir. Şekil 3.17'da görüldüğü gibi numune düzeneğe yerleştirilmiş, sabit hızla yük uygulanmış ve yük karşılığında numune üzerinde oluşan deformasyonlar zamana bağlı olarak ölçülmüştür.



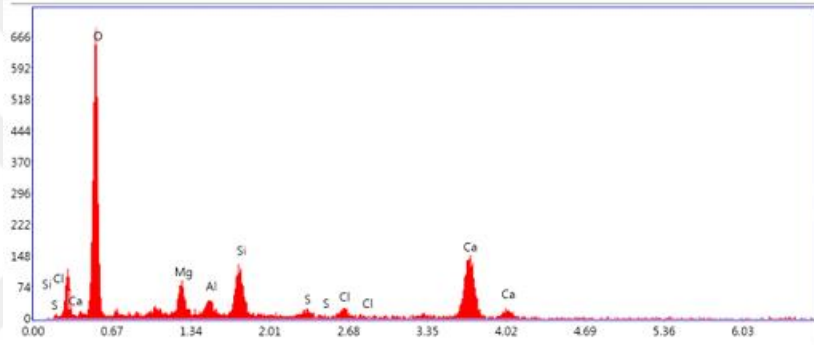
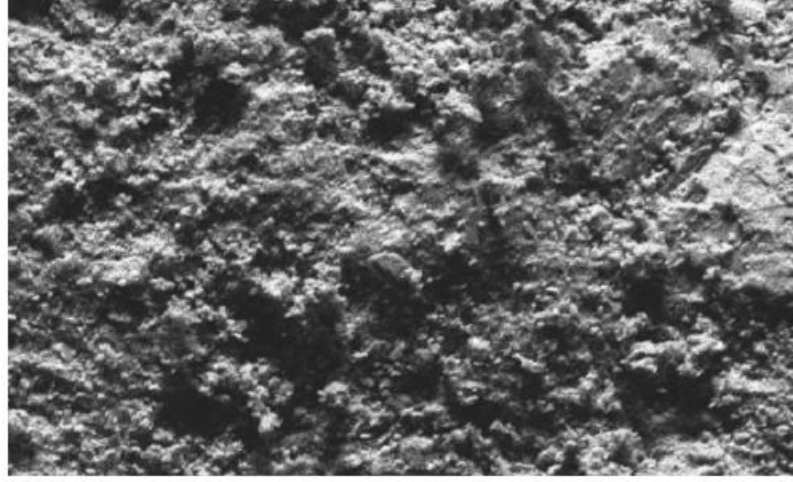
Şekil 3.17 Tüfleşmiş Kalker Numunesi İçin CBR Deneyi

Bu ölçümlerde numuneden elde edilen sonuçlarda basınç dayanımı yaklaşık 1 MPa olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, söz konusu numune yapıdan kopup yere düşen ve zeminden alınan bir numunedir. Yerde bulunduğu sürede dış ortam koşulları nedeniyle dayanımını kaybetmiş olduğu varsayılarak analizlerde basınç mukavemeti değeri 2 MPa olarak değerlendirilmiştir. Buna ek olarak; daha önce yapıda aynı taş için uygulanan test çekici sonucunda elde edilen değer 7.32 MPa olarak ölçülmüştür. Burada yapının başlangıç modeli üzerinde ilk teorik modal analiz yapılırken 7.32 MPa değerinin dikkate alındığı, detayları açıklanan basınç dayanımı testlerinin daha sonra yapıldığı ifade edilmelidir. Deneysel modal analiz sonucunda yapılan kalibrasyon çalışmalarında CBR testinde elde edilen basınç dayanımı değeri kullanılmıştır.

Elde numune bulunması tflemi kalkerin birim ağırlığının deneysel olarak belirlenmesine olanak sağlamıştır. (ekil 3.18). Bu deneysel çalışma sonucunda taşın yoğunluğu $1,3 \text{ gr / cm}^3$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Tflemi Kalker Numunesi İçin Yoğunluk Testinden Bir Görüntü



Şekil 3.19 Kalker Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü Ve Temsili Element Dağılımları

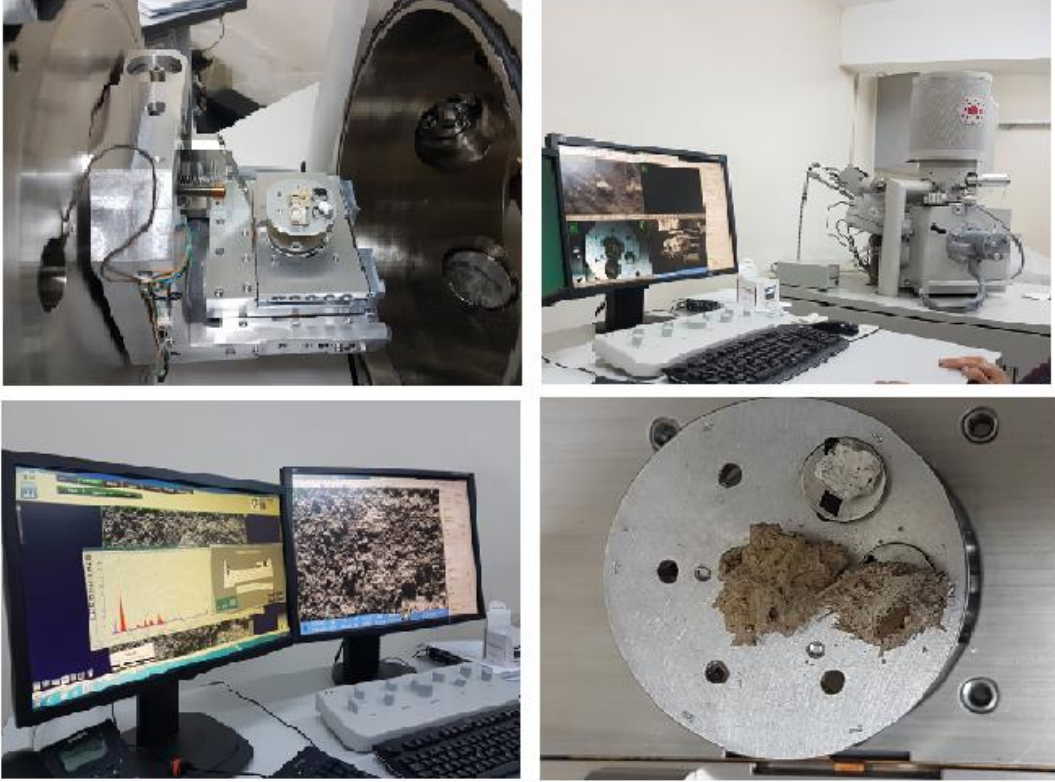
Çalışmada incelenen numunelere ait mikroskobik görüntüleme ve element yapısı hakkında detaylı bilgi oluşturulmuştur. Şekil 3.20’de kalkere ait elektron mikroskobu ile görüntülenme ve Çizelge 3.1’de tüfleşmiş kalkere ait element birleşimlerinin oransal ifadesi verilmektedir. Tüfleşmiş kalker numunesine ait oransal element içeriğine bakıldığında Oksijenin açık ara ile fazla miktarda bulunduğu, bu elementten sonra ise en fazla kalsiyum ve silisyum elementlerinin oransal olarak bulunduğu anlaşılmaktadır. Kimyasal yapı jeoloji mühendislerinin teknik desteği dâhilinde incelendiğinde malzemenin kalker olduğu kesinleşmiştir.

Çizelge 3.1 Kalker Numunesine Ait Oransal İçerik

Element	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.	Hata %	Oran	Z	R	A	F
O K	51.09	69.69	124.8	10.00	0.21	1.08	0.96	0.37	1
MgK	3.63	3.26	19.68	11.43	0.03	0.98	1	0.76	1.01
AlK	2.09	1.69	11.17	13.94	0.02	0.94	1	0.83	1.01
SiK	6.45	5.01	34.04	8.06	0.06	0.96	1.01	0.89	1.01
S K	1.50	1.02	5.82	24.11	0.01	0.94	1.02	0.95	1.03
ClK	1.97	1.22	6.47	24.86	0.02	0.89	1.02	0.97	1.05
CaK	33.27	18.12	56.28	6.54	0.30	0.89	1.03	0.99	1.01

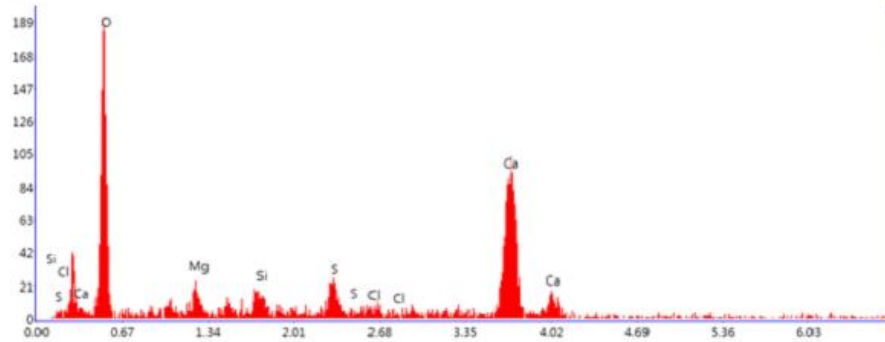
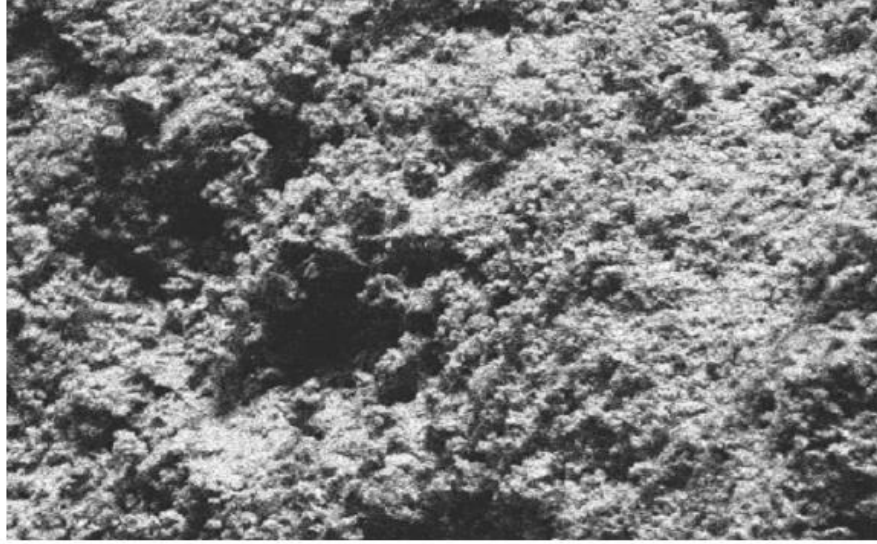
3.2.1. Kullanılan Harç Özellikleri

Bu çalışmada tarihi yapıya ait kalker, bağlayıcı harç ve sıva harcına ait numuneler dökülmüş olarak bulunmuştur. Aderans özelliğine sahip harç, taşların yakın yerlerinde ve sıva harcı da yine duvarlara yakın yerlerden elde edilmiştir. Harç numuneleri ve tüfleşmiş kalker numuneleri laboratuvar şartlarında incelenerek kimyasal yapıları elde edilmiştir. Bu inceleme ise elektron mikroskobu ile Erzurum Teknik Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Laboratuvarı'nda (ETÜ – YÜTAM) gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.19).



Şekil 3.20 Harç Numunelerinin Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi

Yapı malzemelerinin aderans sağlayıcı olarak teşkil edildiği bağlayıcı malzemeye ait elektron mikroskobu ile görüntüleme Şekil 3.21’de yer almaktadır. Çizelge 3.2’de ise bağlayıcı harca ait birleşim detayları gösterilmektedir.



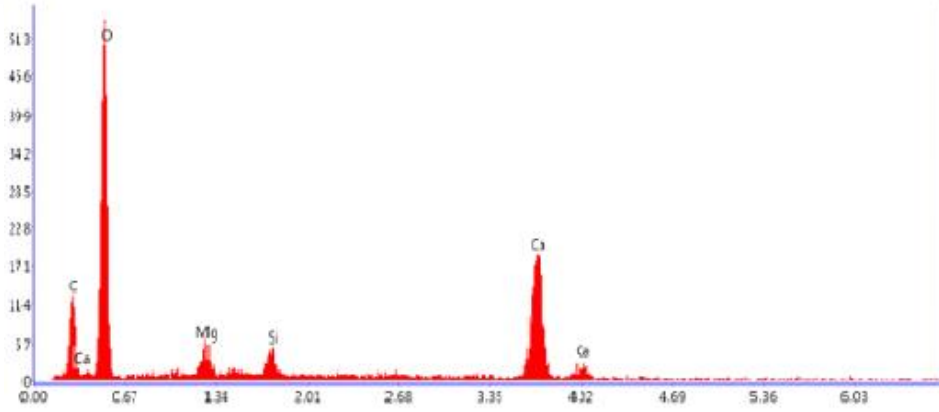
Şekil 3.21 Harç Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü Ve Temsili Element Dağılımları

Çizelge 3.2 Harç Numunesine Ait Oransal İçerik

Element	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.	Hata %	Oran	Z	R	A	F
O K	41.23	62.52	34.80	12.55	0.13	1.1	0.95	0.29	1
MgK	1.62	1.61	3.87	21.76	0.01	1.01	0.99	0.74	1.01
SiK	2.03	1.75	4.89	22.88	0.02	0.98	1	0.9	1.02
S K	4.03	3.05	7.26	18.11	0.04	0.96	1.01	0.96	1.04
ClK	1.72	1.18	2.60	28.56	0.02	0.91	1.02	0.97	1.06
CaK	49.37	29.89	37.71	6.98	0.45	0.91	1.03	1	1.01

Harç numunesine ait element içeriğinde kalker numunesinde olduğu gibi oksijen miktarda diğer elementlere nispet edildiğinde çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bu elementten sonra ise kalsiyum miktarının nispeten fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca kalsiyumunun ağırlık yüzdesine bakıldığında oksijenden az miktarda fazla olduğu görülmektedir.

Sıva numunesinden elektron mikroskobu ile alınan görüntü şekil 3.22’de örnek olarak gösterilmiştir. Yine aynı numuneye ait element dağılımı çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.22 Sıva Numunesine Ait Elektron Mikroskobu Görüntüsü ve Temsili Element Dağılımları

Çizelge 3.3 Sıva Numunesine Ait Oransal İçerik

Element	Ağırlık %	Atomik %	Net Int.	Hata %	Oran	Z	R	A	F
C K	6.35	11.24	16.37	11.89	0.04	1.14	0.94	0.58	1
O K	47.57	63.27	97.93	10.77	0.16	1.08	0.96	0.32	1
MgK	1.63	1.42	8.56	17.64	0.01	0.98	1	0.75	1.01
SiK	2.04	1.54	10.74	16.49	0.02	0.96	1.01	0.9	1.02
CaK	42.42	22.52	71.28	6.17	0.38	0.89	1.03	1	1.01

Sıva harcındaki element dağılımlarının oransal ifadesine bakıldığında oksijen en fazla birleşime dâhil olmakta ve sonra ise kalsiyum elementi gelmektedir. Diğer element dağılımları tabloda sunulmuştur.

Sıva ve harç numuneleri üzerinde mekanik testler yapılarak dayanımlarının tespiti mümkün olmamıştır. Bu nedenle, kimyasal bileşimleri dikkate alınarak literatürde yer alan çalışmalar dahilinde harç ve sıva numunesi için dayanım kabulleri yapılmıştır.

3.2.2 Malzeme Dayanımlarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenen Erzincan Değirmenliköy Kilisesi' nde serpantin, andezit ve tüfleşmiş kireç taşı olmak üzere üç çeşit farklı taş malzemeden oluştuğu söylenebilmektedir. Kullanılan serpantin ve andezitin nispeten karakteristik özellikte olması, malzeme dayanımlarının daha önce yapılan çalışmalardan elde edilmesi yoluna gidilmiştir. Ancak kireç taşında durum biraz farklı olmaktadır. Kireç taşının çok fazla çeşidinin olması ve boşluk miktarının değişken olması nedeniyle dayanımını belirlemek için başka bir yol izlenmiştir. Bunun için yapıda kullanılan kireç taşına ait dayanımı belirleyebilmek için öncelikle test (Schmidt) çekici uygulaması yapılmıştır (Şekil 3.23) ve sonuçların ampirik formülde kullanılarak dayanım elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.23 Test Çekici Uygulaması

Test çekici görünen kemer sütunların her birinde 10 adet olmak üzere toplam 60 adet okuma yapılmıştır. Yapılan okumaların ortalama değerleri alınarak yaş faktörü ile çarpılmak suretiyle, elde edilen değer Çizelge 3.4’deki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 Tüfleşmiş Kalker Test (schmidt) Çekici Okuma Değerleri ve Dayanım Değerleri

No	Deney Yapılan Yer	Schmidt Sayısı ve Okumalar										Ort	Wort	Faktör	Muk. (MPa)	Muk. (MPa)
		17	18	15	16	17	18	19	17	16	15					
1	Kemer Sütun 1	17	18	15	16	17	18	19	17	16	15	16	94	0,600	56,40	5,64
2	Kemer Sütun 2	18	15	22	23	16	16	21	23	21	16	19	136	0,600	81,60	8,16
3	Kemer Sütun 3	19	20	18	19	18	18	19	20	17	18	18	122	0,600	73,20	7,32
4	Kemer Sütun 4	21	19	20	23	23	23	23	22	20	18	21	164	0,600	98,40	9,84
5	Kemer Sütun 5	17	15	16	15	17	17	15	16	14	17	15	80	0,600	48,00	4,80
6	Kemer Sütun 6	20	21	22	19	20	20	18	19	21	20	19	136	0,600	81,60	8,16
Basınç Dayanımı															7,32	

Yapı elemanında kullanılan malzemelerden serpantin ve andezite ilişkin teknik bilgiye literatürde sıkça rastlanmaktadır ve dayanım değerleri çok fazla değişiklik göstermemektedir. Buna karşılık tüfleşmiş kireçtaşı hakkında yapılan çalışmalarda dayanım değerleri arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Bu yüzden serpantin ve andezite ait basınç dayanım değerleri ise Altındağ vd. (2010) tarafından özellikle Türkiye’de yapılan çalışmadan alınmıştır. Kireçtaşı için ise test çekici yöntemi kullanılmıştır. Dayanım değerleri serpantin için 38.10 MPa ve andezit için 86.08 MPa olarak belirlenmiştir. Tüfleşmiş kireç taşı için Schmidt okumaları kullanılarak 7.32 MPa olarak elde edilmiştir. Bulunan bu değerlerin yapı içerisinde oranlarına bağlı olarak yığma sisteminin basınç dayanımı bulunmuştur.

Tarihi Değirmenliköy Kilisesi’nde kullanılan malzemelerin, yapı elemanlarında kullanım oranlarına bakıldığında; kemerlerin tamamında tüfleşmiş kireç taşı, kemerlerin karşılıklı oturduğu sütunlarda çoğunlukla tüfleşmiş kireç taşı az miktarda andezit, iç küçük kemerlerde andezit ve tüfleşmiş kireçtaşından yaklaşık aynı oranda, çatıda ise tüfleşmiş kireç taşı, andezit ve serpantin kullanımı yer almaktadır. İç kemerlere ait farklı yapı taşlarının sayısal olarak ifadesi Şekil 3.24’te verilmiştir. Burada kullanılan

malzemelerden yaklaşık %50 oranında tüfleşmiş kireç taşı ve %50 oranında andezit kullanımı tespit edilmiştir.

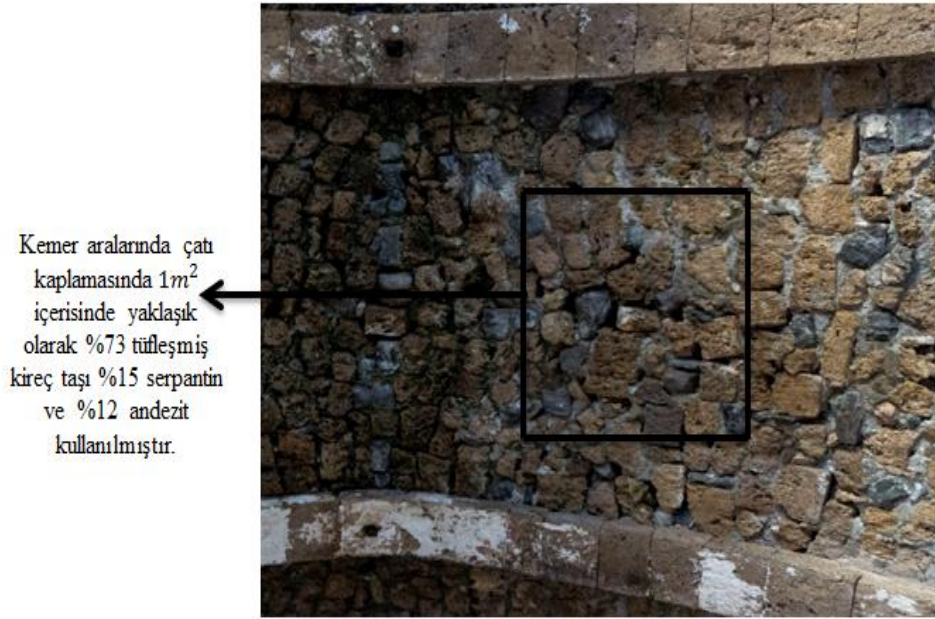


şekil 3.24 i Kemerlerdeki Yapı Taşlarının Dağılımına İlişkin Sayısal ifade

Yapıya ait kemerler arasında çatı kaplamasında nispeten hafif olan tüfleşmiş kireç taşının yoğun olarak kullanılmıştır. Serpantin, andezit ve kireç taşı oranları şekil 3.25' te gösterilmiştir. Burada kullanılan malzemelerden şekil 3.25 ve şekil 3.26'daki iki kesitin ortalaması alındığında yaklaşık çatı kaplamasında 1 m² içerisinde yaklaşık olarak %74 hafif malzeme olan tüfleşmiş kireç taşı, %14 serpantin ve %12 andezit kullanımı tespiti yapılmıştır.



Şekil 3.25 Çatı Kaplamasında Kullanılan Malzeme Birleşenleri



Şekil 3.26 Çatı Kaplamasında Kullanılan Eleman Birleşenleri

Duvarlarda yer alan iç kemerlerin tamamında tek bir malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme tüfleşmiş kireç taşıdır (Şekil 3.27). Kemerlerin oturduğu sütunlarda ise çoğunlukla tüfleşmiş kireçtaşı, az miktarda andezit kullanılmıştır. Şekil 3.28'de gösterildiği üzere andezit oranı yaklaşık olarak %10 ve tüfleşmiş kireçtaşı yaklaşık olarak %90 oranında olduğu tespiti yapılmıştır. Dış cephede içteki küçük kemerlerin üzerinde, çatı örtüsünü dışarıdan bağlayan kısımda, özellikle taşıyıcı olmaktan ziyade

yapıyı tamamlayıcı nitelikte Şekil 3.29’da gösterildiği üzere %60 oranında serpantin ve %40 oranında da tüfleşmiş kireç taşı kullanımının bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.27 Kemerlerde Kullanılan Malzeme Örneği



Şekil 3.28 Kemerlerin Oturduğu Sütunda Malzeme Kullanımı



Şekil 3.29 Dış Cephede Kullanılan Malzeme Örneği

Yapılan kabuller ve ortalama olarak malzeme miktarı ile doğru orantılı olarak malzemelerin kompozit dayanımları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Kullanılan Malzemelerin Yaklaşık Basınç Mukavemeti Değerleri

Kullanılan Yer	Kullanılan Malzeme Oranları (%)			Elde Edilen Ortalama Basınç Mukavemet Değerleri (MPa)
	Serpantin	Andezit	Tüfleşmiş Kireç Taşı	
Kemerler	-	-	100	7,32
İç Kemerler	-	50	50	46,69
Sütunlar	-	10	90	15,19
Tonoz	14	12	74	21,08
Dış Cephe	60	-	40	25,79

Çalışma kapsamında makro modelleme yöntemi kullanılmıştır. Ancak kullanılan yapı elemanlarının kendi içerisinde oluşturduğu farklılıklar nedeniyle, kompozit malzemeler her bir kullanım yeri için ayrı olarak değerlendirilmiştir. Yığma sistemlerinin basınç dayanımı belirlemek için denklem 3.1’den yararlanılmıştır (Eurocode 6, 1995).

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \quad (3.1)$$

Denklemden f_b (MPa) değeri yığma birimlerden taşın basınç mukavemetini ifade etmektedir. f_m (MPa) değeri ise yığma birimler arasındaki harcın basınç mukavemetini ifade etmektedir. Bu değer 20 MPa’da daha büyük ve f_b değerinin iki katından daha büyük olmayacaktır. K , α , β değerleri sabit katsayılardır. K değeri yığma yapıya ait özelliklerden morfolojik yapıya bağlı olarak alınan bir değerdir ve 0,4 ile 0,6 arasında bir değer alınabilmektedir. α Değeri düzün şekilli yığma yapılarda 0,7 olarak,

kaba örülmüş yığmalarda ise 0,65 olarak alınabilmektedir. β Değeri ise düzgün şekilli yığma sistemlerinde 0,30 olarak, kaba örülmüş yığma yapılarda 0,25 olarak alınabilmektedir.

Elastisite modülü için denklem 3.2’de olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliği 2007’de belirtildiği üzere yığma sistemine ait basınç dayanımının 200 katı olarak alınabileceği şeklindedir. Bununla birlikte Koçak (1999)’nin önermiş olduğu ve Özkul (2016) tarafından da kullanılan, yığma yapı sistemine ait çekme mukavemet değerinin, basınç mukavemeti değerine göre bir oran alınabileceği ve bu oranın Denklem 3.3’de olduğu gibi basınç mukavemeti değerinin %10’u olarak öngörüldüğü belirtilmiştir.

$$E = 200 \cdot f_k \quad (3.2)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot f_k \quad (3.3)$$

Yığma yapılarda Poisson oranı Koçak (1999)’nin önermiş olduğu ve Özkul (2016) tarafından da kullanılan 0,17 değeri olarak alınmıştır ve yine aynı çalışmalarda harcın basınç dayanımının 6 - 8 MPa olara öngörülmüştür. Benzer şekilde Oğuz ve diğ. (2015) çalışmasında muhtelif tarihi yapı harçlarının kimyasal özellikleri ve basınç dayanımları detaylı olarak sunulmuştur. Söz konusu çalışma ve incelenen harcın kimyasal yapısı da dikkate alınarak harç basınç mukavemeti ise 6 MPa olarak alınmıştır.

Denklem 3.1, 3.2 ve 3.3 Değirmenliköy Kilisesi’ nde farklı görevlerdeki yapı elemanları için uygulanmıştır. Bu yapı elemanları sütunlar, kemerler, iç kemerler, tonoz ve dış cephe olmak üzere farklı kompozit varlığının kabulüyle yapılmıştır. Yaklaşık basınç mukavemeti değerleri Çizelge 3.5’ ten yararlanılarak elde edilmiştir.

Sütunlar için elde edilen yaklaşık basınç mukavemeti Denklem 3.4, elastisite modülü Denklem 3.5 ve çekme mukavemeti değeri Denklem 3.6’daki gibi elde edilmiştir. Poisson oranı 0,17 olarak, harcın basınç mukavemeti 6 MPa olarak ve K

değeri 0,5 olarak alınmıştır. α ve β değerleri ise bu yapı elemanı oluşturan taşlar için sırasıyla 0,70 ve 0,30 olarak alınmıştır.

$$f_k = 0,5 \cdot 15,19^{0,70} \cdot 6^{0,30} = 5,75 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

$$E = 200 \cdot 5,75 = 1150 \text{ MPa} \quad (3.5)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot 5,75 = 0,575 \text{ MPa} \quad (3.6)$$

Kemerler için elde edilen yaklaşık basınç mukavemeti Denklem 3.7, elastisite modülü Denklem 3.8 ve çekme mukavemeti değeri Denklem 3.9'daki gibi elde edilmiştir Poisson oranı 0,17 olarak, harcın basınç mukavemeti 6 MPa olarak ve K değeri 0,50 olarak alınmıştır. α ve β değerleri ise bu yapı elemanı oluşturan taşlar için sırasıyla 0,70 ve 0,30 olarak alınmıştır.

$$f_k = 0,5 \cdot 7,32^{0,65} \cdot 6^{0,25} = 3,45 \text{ MPa} \quad (3.7)$$

$$E = 200 \cdot 3,45 = 690 \text{ MPa} \quad (3.8)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot 3,45 = 0,345 \text{ MPa} \quad (3.9)$$

İç kemerler için elde edilen yaklaşık basınç mukavemeti Denklem 3.10, elastisite modülü Denklem 3.11 ve çekme mukavemeti değeri Denklem 3.12'deki gibi elde edilmiştir Poisson oranı 0,17 olarak, harcın basınç mukavemeti 6 MPa olarak ve K değeri 0,4 olarak alınmıştır. α ve β değerleri ise bu yapı elemanı oluşturan taşlar yığma kabulü olduğu için sırasıyla 0,65 ve 0,25 olarak alınmıştır.

$$f_k = 0,4 \cdot 49,69^{0,65} \cdot 6^{0,25} = 7,61 \text{ MPa} \quad (3.10)$$

$$E = 200 \cdot 7,61 = 1522 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot 7,61 = 0,761 \text{ MPa} \quad (3.12)$$

Tonozlar için elde edilen yaklaşık basınç mukavemeti Denklem 3.13, elastisite modülü Denklem 3.14 ve çekme mukavemeti değeri Denklem 3.15’deki gibi elde edilmiştir Poisson oranı 0,17 olarak, harcın basınç mukavemeti 6 MPa olarak ve K değeri 0,5 olarak alınmıştır. α ve β değerleri ise bu yapı elemanı oluşturan taşlar yığma kabülü olduğu için sırasıyla 0,65 ve 0,25 olarak alınmıştır.

$$f_k = 0,5 \cdot 21,08^{0,65} \cdot 6^{0,25} = 5,68 \text{ MPa} \quad (3.13)$$

$$E = 200 \cdot 5,68 = 1136 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot 5,68 = 0,568 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Dış cephe için elde edilen yaklaşık basınç mukavemeti Denklem 3.16 elastisite modülü Denklem 3.17 ve çekme mukavemeti değeri Denklem 3.18’deki gibi elde edilmiştir Poisson oranı 0,17 olarak, harcın basınç mukavemeti 6 MPa olarak ve K değeri 0,5 olarak alınmıştır. α ve β değerleri ise bu yapı elemanı oluşturan taşlar kaba örülmüş yığma kabülü olduğu için sırasıyla 0,65 ve 0,25 olarak alınmıştır.

$$f_k = 0,5 \cdot 25,79^{0,65} \cdot 6^{0,25} = 6,47 \text{ MPa} \quad (3.16)$$

$$E = 200 \cdot 6,47 = 1294 \text{ MPa} \quad (3.17)$$

$$f_{ts} = 0,1 \cdot 6,47 = 0,647 \text{ MPa} \quad (3.18)$$

Denklem 3.1’den başlamak üzere Denklem 3.18 dâhil olarak yığma yapı sistemine ait, elemanların sahip oldukları yaklaşık nihai dayanım değerleri Çizelge 3.6’da

özetlenmiş olarak verilmiştir.

Çizelge 3.6 Yığma Birimlerine Ait Yaklaşık Dayanım Değerleri

SÜTUNLAR İÇİN				KEMERLER			
Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	5.75 Mpa		Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	3.45 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	5.75		f_k	basınç mukavemeti	3.45
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.50		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	15.19		f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	7.32
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30
melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.5749	melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.3448
TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 41xf	1150	TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 41xf	690
melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m3)	1100			görünür yoğunluk (kg/m3)	1100
İÇ KEMERLER				TONOZLAR			
Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	7.61 Mpa		Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	5.68 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	7.61		f_k	basınç mukavemeti	5.68
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.40		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	46.69		f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	21.08
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25
melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.7614	melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.5675
TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 27xf	1523	TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 200xf	1135
melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m3)	2000			görünür yoğunluk (kg/m3)	1500
DIŞ CEPHE				APSİS			
Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	6.47 Mpa		Yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)	$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$	3.45 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	6.47		f_k	basınç mukavemeti	3.45
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.50		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0,05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	25.79		f_b (mpa)	taş veya tuğlanın basınç mukavemeti	7.32
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30
melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkul 2016 , altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.6470	melis özkul 2016 , koçak 1999 ft = fk x 0.10	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.3448
TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 41xf	1294	TDY 200*fd	E (mpa)	elastisite modülü 41xf	690
melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkul 2016 , koçak 1999 poisson oranı 0.17 olarak alınabilir	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m3)	2500			görünür yoğunluk (kg/m3)	1100

3.3. Yapısal Analiz Modelinin Oluşturulması

Bu bölümde incelenen tarihi yapının yapısal analize esas modelinin oluşturulması süreci ve takip edilen yöntem hakkında bilgiler sunulacaktır.

3.3.1. Tarihi Yapılarda Modelleme Teknikleri

Tüm yapılar için oluşum aşamasında, ilk olarak yapının tasarımı gerçekleştirilir. Daha sonrasında inşa edilir ve amacına uygun olarak kullanılmaya başlanır. Kullanılmaya başlanmasıyla birlikte tasarıma ait bilgiler yıllar içerisinde kaybolur.. Bilgisayar kullanımının yaygın olmadığı ve yeterli arşiv kayıtlarının bulunmadığı dönemlerde bu bilgilere ulaşmak mümkün olamamaktadır. Özellikle tarihi yapıların tasarım bilgilerine ulaşmak neredeyse imkânsızdır. Yine tarihi yapılarda, yapıya verdiği zarar nedeniyle tahribatlı yöntemlerin kullanılamamaktadır. Bu sebeplerden dolayı mevcut tarihi yapıların modellenmesinde yapıyı gerçekçi olarak ve günümüz şartlarında yansıtılmasında zorluklarla karşılaşılmaktadır. Bu zorlukların giderilmesi adına bazı kabuller yapılmakta ve yapının mevcut durum değerlendirilmesini karmaşık olmaktan çıkarmak amaçlanmaktadır.

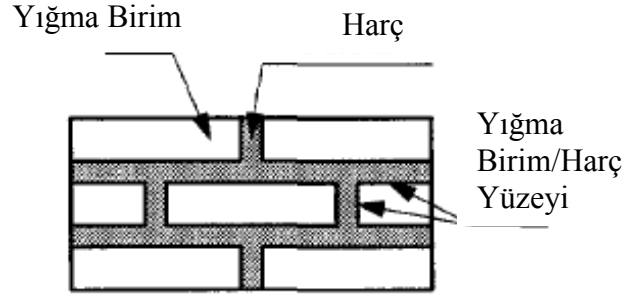
Yığma yapılar sahip oldukları geometri ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi ile modellenebilirler. Sahip oldukları geometrinin hatlarının belirlenmesi nispeten kolaydır. Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde; malzemelerin izotrop olması, doğrultuya göre farklı davranış sergilemesi, mekanik davranışının homojen olmaması, uzun vadeli yüklerde çekme mukavemetinin sıfır kabulü, basınç gerilmeleri altında gevrek davranışı, kayma gerilmesi altında sünek davranışın belli bir seviyede olması, elemanlar arasındaki harcın etkisi sayılabilir (Özkul 2016; Anadut 2016). Bu parametreler doğrultusunda da fiziksel ve mekanik davranışı yansıtılacak şekilde kabul yapılabilir. Bu kabuller doğrultusunda yaklaşımlar geliştirebilmektedir. Ancak modelleme hususunda, yapı elemanlarının kompozit bir şekilde veya ayrık bir şekilde davranış göstermesi gibi kavramların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için

geliştirilmiş üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modellemedir.

Mikro modellemede yapıyı oluşturan elemanlardan taş,tuğla vb. ile harç malzemesi ayrı olarak tasarlanır. Küçük boyutlu malzemelerde kullanımı daha iyidir, fakat 3 boyutlu yapıların modellenmesinde kullanışlı değildir. Basitleştirilmiş mikro modellemede harç kalınlığı ihmal edilir, bunun yerine bu tabaka yarısı kadar genişletilir. Harç ve yığma birimler ara yüzey çizgileri ile ayrılır. Makro modellemede ise, yığma yapı elemanları harç dahi ayırt edilmeksizin yapı elemanları kompozit olarak kabul yapılır. Eşdeğer bir malzeme modeli oluşur ve 3 boyutlu yapıların modellenmesinde ideal bir yaklaşım (Özkul 2016). İlerleyen kısımda modelleme teknikleri hakkında bilgiler sunulacaktır. Bu çalışma kapsamında da makro modelleme tekniğinden yararlanılmıştır.

3.3.2 Mikro Modelleme

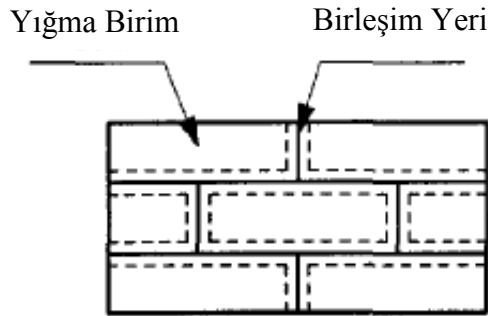
Yığma yapılarda derzlerin oluşturduğu düzlem bölgelerde rijitlik kayıpları yaşanır. Genellikle düzlem ve harç özelliklerinin yansıtılmasında, mikro modelleme tek tek bileşenlerin sayısal temsil olarak odaklanır. Makro modelde ise bunun tam tersi vardır ve tüm düzlem tek bir kompozit tek bir malzemedен oluşmuş olduğu varsayımı oluşur. Mikro modellemede yığma duvarlar düzlem ve harç sürekli elemanlar olmasına karşılık, düzlem ve harç ara yüzü kesintili elemanlar olarak vasıflandırılır. Bu yaklaşımda young modülü, poisson oranı ve isteğe bağlı olarak tek tek hem elemanların hem de harcın inelastik özellikleri dikkate alınır. İçeride süreklilik oluşumu önlemek için ara yüz çatlaktan kaynaklı düzleme ait potansiyel varsayım kabulü yapılır. Bu düzlemin, harcın ve ara yüzün birlikte harekete geçirilmesini, aynı zamanda daha detaylı olarak incelenmesine olanak sağlar (Lourenço 1996). Mikro modellemeye ait temsili olarak gösterilen Şekil 3.30'da belirtilmiştir.



Şekil 3.30 Temsili Mikro Modelleme (Lourenço 1996)

3.3.3 Basitleştirilmiş Mikro Modelleme

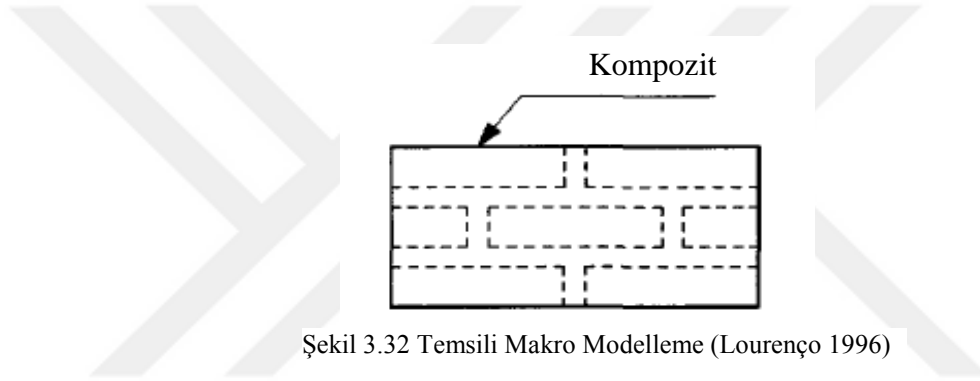
Harç ve iki harç yüzeyinden oluşan her bir birleşme, mevcut geometriyi değiştirmeden tutmak için birimler genişletilirken ortalama arabirimde toplanır. Yığma duvar bu birleşimlerdeki potansiyel kırılma çizgileri ile bağlanmış bir dizi elastik blok olarak düşünülmektedir. Bu yöntemde Poisson etkisi dahil edilmediği için doğruluktan uzaklaşılır (Lourenço 1996). Mikro modellemeye ait temsili olarak gösterilen Şekil 3.31’de belirtilmiştir.



Şekil 3.31. Temsili Basitleştirilmiş Mikro Modelleme (Lourenço 1996)

3.3.4 Makro Modelleme

Mikro modellemeye göre oldukça kolay uygulanabilirliği olan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapı elemanlarından, taş-tuğla ve benzeri yığma birimler ile bunlara arasındaki bağlantıyı sağlayan harçlar arasında ayırım yapmaksızın kompozit bir malzeme oluşturduğu varsayımı yapılır. Bu yapı elemanları arasında yaklaşık bir bağıntı oluşturulur ve eşdeğer malzeme kabulü yapılır. 3 boyutlu yapı tasarımı için uygundur. Kompleks yapılarda iş hacmini azaltır. Şekil 3.32’de temsili makro modelleme örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.32 Temsili Makro Modelleme (Lourenço 1996)

Makro modelleme, düzlemi oluşturan her bir yapı elemanını ve düğüm noktaları arasında ayırım yapmaz ancak homojen bir anizotropik süreklilik olarak görür. Yapıda oluşturulan duvarlar tek biçimli olarak oluşturulacaktır, bu sayede oluşan gerilmeler makro uzunluk boyunca eşit veya yakın olacaktır. Bu modelleme yönteminin zaman ve kayıt gereksinimlerinin azalması ve uygulamacı için birbirine geçişlerin ve bağlantı fonksiyonlarında üretkenliği nedeniyle açık bir şekilde çok daha pratik bir uygulamanın olduğu söylenebilmektedir. Makro modelleme tek başına dahi zaman tasarrufu sağlaması pratik bir yöntem olduğunu göstermektedir ve yine doğruluk-verimlilik arasında kalındığında bu ilişkinin oluşturulmasında önem kazanır (Lourenço 1996).

Yığma yapıların doğru mikro veya makro modellenmesi malzemenin kapsamlı bir deneysel tanımını gerektirir. Bununla birlikte duvarın özellikleri, ünitelerin ve harcın malzeme özellikleri, zemin ve ısı derzlerinin düzenlenmesi, birimlerin anizotropisi, birim boyutları, derz genişlikleri, işçilik kalitesi, sertleşme derecesi, çevresel etkiler ve

yaş gibi çok sayıda faktörlerden etkilenirler. Çeşitliliğin çok fazla olmasıyla birlikte sayısal modelleme daha fazla öneme sahip olmaya başlamıştır. Ortaya çıkan ampirik formül ya da yöntemlerin kimi zaman yetersiz kaldığı görülmüştür. Üstelik numerik model için gerçekçi ve kullanışlı olarak elde edilen deneysel verilerin elde edilmesine karşılık sayısal analizciler ve deneysel çalışmacılara arasında eksiklikler gizli kalmıştır. Değişik test metotları, test parametreleri ve malzemeler birçok deneysel sonucun karşılaştırılmasını ve sonuçlandırılmasını önlemesine karşılık, parametrelerin doğru kullanımıyla sonuçlar gerçeği yaklaşık olarak yansıtmaktadır (Lourenço 1996). Aynı zamanda Lourenço'nun 1996 yılındaki mikro ve makro modellemelerin sayısal ve deneysel analizinde yer verdiği doktora tezinde sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Parametrelerin gerçekçi olduğu ve malzeme modellemelerinin doğru tanımlandığında deneysel verilerin, analizlerde elde edilen değerlerle uyumlu sonuç verdiği anlaşılmaktadır (Özkul 2016).

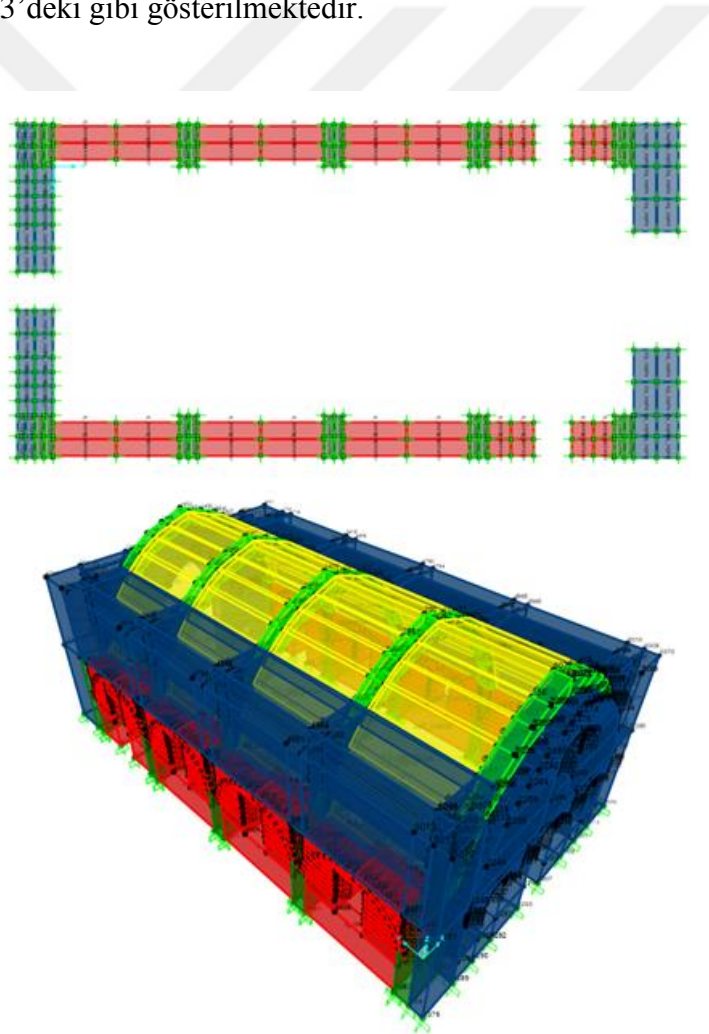
Bu çalışmada incelenen yapı için makro modelleme tekniği kullanılmıştır.

3.4. Değirmenliköy Kilisesi Yapısal Analiz Modelinin Oluşturulması

Yapısal analizlerin gerçekleştirileceği modeller SAP2000 yazılımı ortamında katı elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Araştırmada yapının mevcut durumunu temsil eden (apsis olmayan) model ile 1939 Erzincan Depremi'nde yıkıldığı ifade edilen apsisin de yer aldığı model olmak üzere 2 model oluşturulmuştur. Burada mevcut durumu yansıtan model hazırlandıktan sonra teorik modal analiz ve deneysel modal analiz yapılarak model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu çalışmasında sonra apsisin olduğu ikinci model kurgusal olarak oluşturulmuştur ve yapısal analizler bu model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan modelin kurgusunu oluşturabilmek için zemindeki izlerden ve apsisin dışarıya yapmış olduğu çıkıntıdan yararlanılmıştır. Aynı zamanda Ermeni Kiliselerinin karakteristik mimari özelliklerinden faydalanılmıştır. Yapısal modellere ilişkin detaylar aşağıda sunulmaktadır.

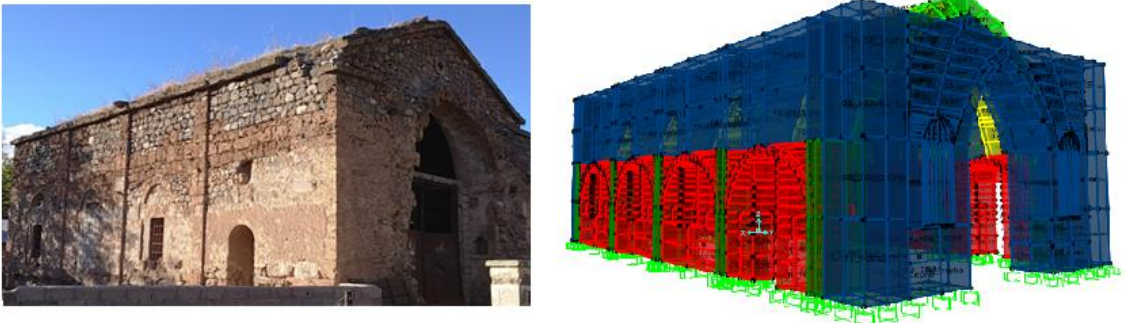
3.4.1. Mevcut Yapı Modeli

Tarihi Değirmenliköy Kilisesi' nin mevcut durumunu yansıtan bilgisayar modeli SAP2000 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapı elemanları kompozit malzeme ve makro modelleme yaklaşımı ile tanımlanmıştır. Yapı içinde serpantin, andezit ve tüfleşmiş kireçtaşı olmak üzere farklı tipte taşlar kullanılmıştır. Bu taşların kullanımı ve yoğunluğu yapı elemanlarına göre değişiklik göstermektedir. Taşların kullanım sıklığı kemerler, iç kemerler, tonoz, sütun ve dış cephe olmak üzere kendi içerisinde yekpare olarak modellenmiştir. Yapı elemanların kendi içerisinde yekpare olarak oluşturulan model Şekil 3.33'deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 3.33. Yapının Mevcut Durumuna İlişkin Bilgisayar Modeli

Yapısal model 2275 katı (solid) eleman kullanılarak oluşturulmuştur. 5800 düğüm noktası bulunmaktadır. Yapı toplam ağırlığı 850 ton olarak belirlenmiştir. Yapı ilk olarak apsis kısmı olmaksızın, mevcut haliyle oluşturulmuştur. Yapının mevcut hali ile bilgisayar modeli temsili görüntüleri Şekil 3.34’de sunulmaktadır.

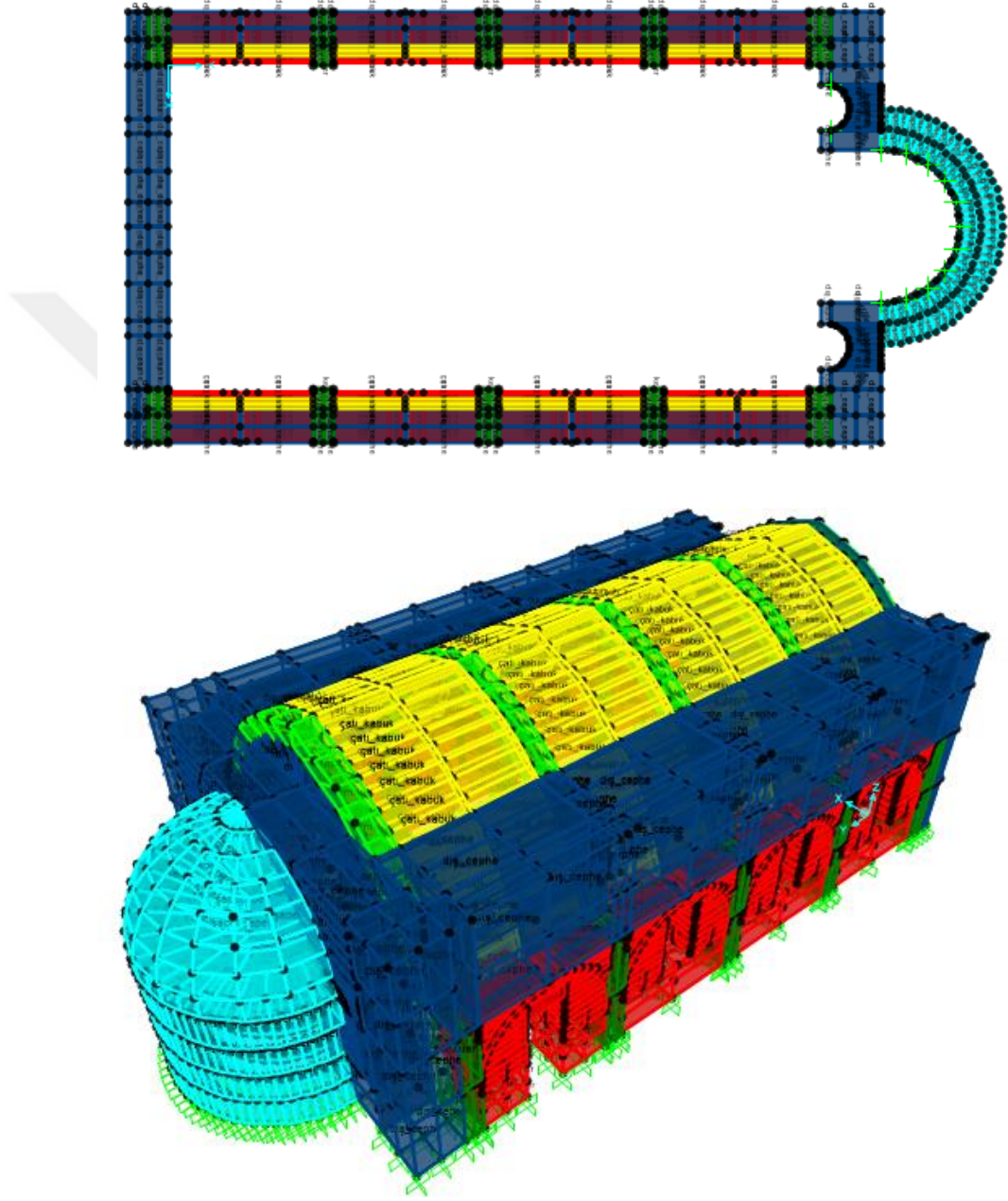


Şekil 3.34 Mevcut Durum ile Yapı Modeli Temsili Görüntüleri

3.4.2. Yıkılan Apsisin Varlığını Kabul Eden Yapıya İlişkin Bilgisayar Modeli

Bu model oluşturulurken mevcut model hazırlanırken takip edilen yöntem kullanılmıştır ve yapı apsis olduğu halde yaklaşık modelinin teşkili sağlanmıştır. Tarihi kilisenin apsis kısmı hâlihazırda yıkık bir vaziyettedir. Bu hasarın 1939 Erzincan Depremi’nde meydana geldiği ifade edilmektedir. Ancak ilk yapımına ait fikir vermesi anlamında apsisin oluşturacağı yarım dairenin, yapıya bitiştiği noktada takriben bir metrelik taş blok bulunmaktadır. Yarı yıkık olarak bulunan taş blok bu çalışma kapsamında apsis kısmına ait bilgi vermiş ve bu varsayım üzerine yapı yaklaşık modeli oluşturulmuştur. Mekanik özellikler, malzeme dayanımı ve modelleme tekniklerine mevcut durumdaki (yapısal model kalibrasyonu sonrası elde edilen şekliyle) gibi sadık kalınmıştır. Bu yeni model 3116 katı (solid) elemandan ve 6632 düğüm noktasından

oluşmaktadır. Yapı toplam ağırlığı 892 ton olarak belirlenmiştir. Modele ilişkin görüntüler Şekil 3.35’te sunulmaktadır.



Şekil 3.35 Apsis Dahil Yapıya İlişkin Bilgisayar Modeli

3.5. Yapısal Modelin Kalibrasyonu

Yapının mevcut durumunu yansıtan model oluşturulduktan sonra hesaba esas alınan malzeme özelliklerinin ve modelin doğrulanması işlemi için yapı üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilerek modal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak mevcut duruma ilişkin yapısal modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon çalışması neticesinde yıkık apsisin eklendiği model oluşturulmuş ve yapısal analizler bu model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde yapısal model kalibrasyonuna ilişkin gerçekleştirilen çalışma detayları hakkında bilgilere yer verilecektir.

3.5.1. Bina Dinamik Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

İnşaat mühendisliği yapılarının analizi alanında tekniklerinin hızla gelişmesi, kişisel bilgisayar kullanımındaki teknolojik gelişmeler eşliğinde, yapısal tasarımcıların yapısal davranışın doğru simülasyonu için yazılım paketleri kullanmasına izin vermiştir. Bunu statik ve dinamik analizlerin doğru tanımlanabilmesini sağlayacak deneysel araçların gelişimi izlemiştir. Bu araçlar, tasarım aşamasında yapısal analizler için kalibrasyonu ve güncellenmesi için güvenilir veriler sağlayabiliyordu. Bu gelişimlerin sonuçlarından bir tanesi de mevcut yapılarda yapısal sağlığın izlenmesi ve mevcut durum kontrollerine izin veren etkili titreşim yöntemlerinin geliştirilmesi olmuştur. Yapıların tahrip edilmeden durumunun anlaşılması için bu yöntemin geliştirilmesi önemlidir. Ölçüm sensörlerindeki teknolojik ilerleme ile analog dijital dönüştürücüler, sadece ortam uyarılarına, yapısal tepkinin ölçülmesine dayanan yapıların modal analizini desteklemiştir. Aynı zamanda stokastik tanımlama yöntemlerinin uygulanmasında da etkili olmuştur (Cunha 2006). Son şeklini deneysel modal analize yöntemleriyle almıştır. Deneysel modal analiz yöntemleri ise iki kısımda incelenebilmektedir. Birinci kısım çevresel titreşim yöntemi, ikinci kısım ise zorlanmış titreşim yöntemidir. Bu çalışmada çevresel titreşim yöntemi (operasyonel modal analiz) benimsenmiş olsa da; her iki yöntem hakkında takip edilen kısımda bilgi sunulmaktadır.

3.5.1.1. Çevresel Titreşim Yöntemi (Operasyonel Modal Analiz)

Çevresel titreşimlerin kullanımı mekanik ve havacılık mühendisliği başta olmak üzere birçok alanda bulunmaktadır. Son yıllardaki yazılımsal gelişmelerle birlikte İnşaat mühendisliğinde kullanımı da oldukça artmaktadır. İnşaat alanında yapay kuvvet ve uyarılmaların büyük çaplardaki köprü ve kule benzeri yapılarda büyük bir sorun oluşturması bu tarzda doğal titreşim kullanımını daha etkin hale getirmiştir. Teknikler doğal koşullar altında sanal bir sistemin dinamik tepki ölçümlerine dayanır. Uyarılmalar zaman içinde rastgele olduğu kabulü yapılır. Bu tip tanımlamalarda sistemin uyarılması bir frekans aralığında sabit olarak yapılır. Ölçümden elde edilen ilk veriler ortam kuvvetlerinin modal katkılarını, yapısal sistemin katkısını ve istenmeyen kaynaklardan gelen ortamın gürültülerinden oluşur. Bunlara ilave olarak ölçülen tepkiler yapısal sistemin özelliklerini yansıtır olmalıdır ve ortam kuvvetleri ile tanımlama tekniklerinden ayırma yeteneğine sahip olmalıdır (Ramos2007).

Bu titreşim yönteminde modal kimlik belirlenirken ortamın uyarılması genellikle çoklu giriş ve geniş bant frekans içeriğini sağlar, böylece önemli miktarda titreşim modları uyarılır. Basitlik açısından çevresel titreşim yönteminde, uyarma girişinin sıfır ortalamalı bir Gauss beyaz gürültü olduğu ve bunun ise uyarımın beyaz gürültü girdisi ile uyarılan uygun bir filtrenin çıktısı olarak ifade edilebileceği varsayımı yapılır. Bazı ek hesaplamalı kutuplar fiziksel bir anlamı olmaksızın, beyaz gürültü varsayımının bir sonucu olarak ortaya çıkarlar. Çevresel titreşim modal tanımlama yöntemleri gerçekte frekans alanında geliştirilen parametrik olmayan yöntemler ve zaman etki alanındaki parametrik olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Cünha 2006). Parametrik olmayan yöntem frekans ortamındaki yöntemler ve parametrik olan yöntemler ise zaman alanındaki yöntemler olarak tanımlanabilir. Dinamik karakteristiğini frekans ortamındaki yöntemle belirlenmesi sinyal analizi ve sinyaller arasındaki etkileşime dayanır. Zaman ortamındaki yöntemlerde ise sinyallerin zaman geçmişine ve arasındaki etkileşimin modal fonksiyonuna bağlı olarak belirlenir. İki yöntemin birbirine göre kesin olarak üstünlüğün olduğu söylenemez. Fakat bu yöntemlerden zaman ortamına dayalı olan daha sağlam olmakla birlikte, bu yöntemde istenmeyen gürültü sinyalleri daha kolay ayırt edilebilmekte ve sızıntı, filtreleme hataları en aza indirilmektedir. Özellikle yakın

frekanslar zaman ortamına dayalı yöntemlerle daha kolay belirlenebilmektedir. (Ramos2007; Sevim 2010).

Frekans tanım alan yöntemi, daha önce birkaç kez binaların ve köprülerin modal tanımlamasında kullanılmış olsa da yaklaşık 25 yıl kadar önce Felber tarafından kullanılmıştır. Operasyonel mod şekillerinin tahminlerine yol açan bu yaklaşım, ortalama normalleştirilmiş güç spektral dengesinin oluşturulmasına ve tüm ölçüm noktalarını içeren ortam tepki transfer fonksiyonlarına dayanmaktadır. Bu ise modal tanımlamayı görselleştirmesine izin vermektedir. Frekans bölgesi yaklaşımı daha sonra, bir tepki spekturumu matrisinin tek değerli bir ayrışmasını gerçekleştirilerek geliştirdi ve bir dizi spektral güç yoğunluğu elde edildi. Bu yöntem Brincker tarafından uygulanmış ve daha sonra modal sönüm faktörü tahminlerini çıkarmak üzere güçlendirilmiştir. Bu tahminler sistemin güç spektrum yoğunluğunu ters Fourier dönüşümü yapılarak değerlendirilen otomatik ilgileşim fonksiyonlarının çürümesinin incelenmesi yoluyla elde edilir. (Cunha 2006).

Zaman etki alanı parametrik yöntemleri ise dinamik yapısal davranışı ideal hale getirmek ve modal parametrelerin değerlerini tanımlamak için uygun bir matematiksel modelin seçimini içerir; böylece model, bazı uygun kriterleri takiben mümkün olduğu kadar deneysel verilere uyar. Bu yöntemler ayrı bir tepki zaman serilerine doğrudan veya alternatif olarak tepki korelasyon işlevlerine uygulanabilir. Fonksiyonların değerlendirilmesinde ise farklı algoritma ve metotlar uygulanabilir (Cunha 2006).

3.5.1.1.1. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) Yöntemi

Bu yöntem frekans ortamına dayalı bir yöntemdir ve frekans tanım alanında ayrıştırma yönteminin geliştirilmiş haline, geliştirilmiş frekans alanında ayrıştırma yöntemi denmektedir. Geliştirilmiş frekans tanım alanında ayrıştırma yönteminde, frekans ortamına dayalı yöntemden farklı olarak doğal frekansların ve mod şekillerinin elde edilmesinin yanı sıra sönüm oranları da belirlenebiliyor. Ayrıca frekans tanım alanında Hızlı Fourier dönüşümünden tek bir frekans hattının kullanımına dayalı olması

da, geliştirilmiş yöntemde, doğal frekans ve mod şekillerinin kesinliğini de arttırmaktadır. Modların davranışı spektral yoğunluk fonksiyonundan hesaplanan tekil değerler ayrıştırma grafiklerindeki pik değerlerin seçilmesiyle oluşturulmuştur ve piklerin seçilmesi ise sübjektif bir şekilde yapıldığı için bazı dezavantajları bulunmaktadır. Yine piklerin objektif olmayan seçilimi sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu yöntem sinyal işleme aşamasında yaygın kullanıma sahiptir. Geliştirilmiş frekans tanım alanında, çevresel titreşim altından ölçülemeyen etki kuvveti ve ölçülebilen tepki kuvveti, davranış fonksiyonu denklem 3.19'daki gibidir.

$$G_{yy}(j\omega) = H(j\omega) H(j\omega)^T \quad (3.19)$$

Denklem 3.19'da $G_{yy}(j\omega)$ tepki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu, $G_{xx}(j\omega)$ etki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ve $H(j\omega)$ frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. * ve T ifadeleri kompleks eşleniğini ve transpozisini göstermektedir. Matematiksel düzlemlerden sonra tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu denklem 3.20'deki gibi olur.

$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \quad (3.20)$$

Denklem 5.2'de λ_k kutup fonksiyonu ve n mod sayısını göstermektedir. Bu ifadeden sonra yapılan işlemler ile denklem 3.21'deki şekle dönüşür.

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \sum_{s=1}^n \left[\frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \right] G_{xx}(j\omega) \left[\frac{R_s}{j\omega - \lambda_s} + \frac{R_s^*}{j\omega - \lambda_s^*} \right] \bar{H} \quad (3.21)$$

Burada ise s , tekil değerleri ve \bar{H} , kompleks eşleniği, transpozeyi ifade eder. İfadeler dzenlendiğinde güç spektral yoğunluğuna ait fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu olarak denklem 3.22'deki gibi olmaktadır.

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \left[\frac{A_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{A_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} + \frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k} + \frac{B_k^*}{-j\omega - \lambda_k^*} \right] \quad (3.22)$$

Bu denklemde A_k , tepki sinyalinin güç spektrumu yoğunluk fonksiyonuna ait k artık değer matrisini göstermektedir (Brincker 2000; Sevim 2010; Uçak 2012).

Geliştirilmiş frekans tanım alanında ayrıştırma yönteminde ilk adım güç spektrum yoğunluğunun matrisinin belirlenmesidir. Ayrık frekanslarda tepki sinyalinin spektrum yoğunluğunu tahmini $\omega = \omega_i$ bilinerek, daha sonra da tekil değer ayrışım matrisi alınarak ayrıştırılmaktadır. Oluşan denklem Şekil 3.23'deki gibi olmaktadır.

$$G_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H \quad (3.23)$$

Bu denklemde U_{ij} tekil vektörleri, $U_i = [U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}]$ tekil vektörleri içeren bütün matrisi, S_{ij} skaler tekil değerleri ve $S_i = [S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}]$ skaler tekil değerleri içeren diyagonal matrisi göstermektedir. Denklem 3.23'de g spektrum yoğunluğu fonksiyonda, pik değerler yapan noktalar doğal frekanslara karşılık gelmektedir ve pik noktaları oluşturan tekil vektörler doğal mod Őekillerine karşılık gelirler. Pik etrafındaki güç spektrumu yoğunluğu fonksiyonundan elde edilen tek serbestlik dereceli tekil değer fonksiyonu kullanılarak doğal frekans ve sönüm belirlenebilir, bununla birlikte tersine yapılan işlemede zaman ortamında da doğal frekans ve sönüm yine belirlenebilecektir. Birinci tekil vektörlerin iyi bir mod Şekli oluşturması için iki modun da belirgin olması gerekir ve modlara ait tekil vektörler ilgili mod Şekil vektörlerini göstermesinde iki modun ortogonal olması Őartı aranır (Brincker 2000; Sevim 2010; Uçak 2012).

3.5.1.1.2. Stokastik Altalan Belirleme (SAB) Yöntemi

Stokastik altalan belirleme yöntemi zaman ortamına dayalıdır ve zaman verileriyle çalışır. Etkileşim, spektruma ihtiyaç duymaz ve dinamik karakteristiklerin belirlenmesi için çok uygundur (Yu ve Ren 2005).

Yöntemin yapı sistemine ait dinamik davranışı belirlemedeki denklemi sabit katsayılı ikinci dereceden diferansiyel olarak ortaya çıkar ve davranış lineer'dir. Bu denklem ise 3.24'deki gibi olmaktadır.

$$M\ddot{U} + C_2 \dot{U}(t) + KU(t) = F(t) = B_2 u(t) \quad (3.24)$$

Burada M, kütle matrisini, C_2 , sönüm matrisini ve K, ise rijitlik matrisini ifade eder. F(t) kuvvet vektörüdür. U(t) devam eden t zamanında deplasman vektörüdür. F(t) kuvvet vektörü çarpanlarına ayrılarak, $B_2(t)$ girdilerin lokasyonu, u(t) girdilerin zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Durum vektörü x(t), durum matrisi Ac ve sistem kontrolü etki katsayısı matrisine ait bağıntı 3.25'deki gibi olur.

$$x(t) = \begin{pmatrix} U_0 \\ \dot{U}_0 \end{pmatrix}, A_c = \begin{pmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C_2 \end{pmatrix}, B_c = \begin{pmatrix} 0 \\ M^{-1}B_2 \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Denklem 3.23'den durum uzayında sistem denklem 3.26'deki gibi dönüştürülebilir.

$$\dot{x}(t) = A_c x(t) + B_c u(t) \quad (3.26)$$

Pratik bir operasyonel titreşim izleme ile, yapının tüm serbestlik dereceleri ölçülmez. Ölçümler genel olarak ya ivme ya hız ya da yer değiştirme ile oluşan denklem 3.27'deki gibi olur.

$$y(t) = C_a \ddot{U}(t) + C_v \dot{U}(t) + C_d U(t) \quad (3.27)$$

Burada C_a, C_v, C_d ivme, hız ve yer değiştirme için çıkış konumu matrisleridir. Sistem davranış matrisi C_c ve doğrudan iletim matrisi D_c 'nin tanımları bağıntı 3.28'dan belirtilmektedir.

$$C_c = [C_d - C_a M^{-1} K C_v - C_a M^{-1} C_2], \quad D_c = C_a M^{-1} B_2 \quad (3.28)$$

Sistem davranış matrisi ve iletim matrisi 3.24'den yazılırsa, oluşan yeni bağıntı 3.29'daki gibi olmaktadır.

$$y(t) = C_c \cdot x(t) + D_c u(t) \quad (3.29)$$

Denklem 3.26 ve 3.29'de bir titreşim sistemi sürekli zamanı ifade eden bir durum uzay modelini oluşturmaktadır. Sürekli zaman kullanımı ifadelerin her an için değerlendirilebileceği anlamına gelir. Bu ise gerçeği olmaz, çünkü ölçüm verileri her zaman ayrıktır. 3.30'da örnekleme sonrasında sürekli zaman durum uzayı ifadesi, ayrık zamanlı durum uzay modeline dönüştürülebilir (Yu ve Ren 2005).

$$x_{k+1} = A_{xk} + B_{uk}, \quad y_k = C_{xk} + D_{uk} \quad (3.30)$$

Buraya kadar yapının belirleyici bir girdi u_k tarafından yönlendirildiği kabul edilmektedir. Bununla birlikte belirleyici model gerçeğ operasyonel ölçüm verilerini tam olarak tanımlayamaz, çünkü işlem ve ölçüm gürültüleri belirsizdir. İşlem gürültüsü bozulmalar ve modelleme hatalarından kaynaklanırken, ölçüm gürültüsü, sensörün hatalı olmasından kaynaklanır. Bu durumda stokastik bileşenler modele dahil edilmelidir ve böylece denklem 3.31'de ayrık zamanlı kombine deterministik stokastik durum uzay modeli elde edilir.

$$x_{k+1} = A_{xk} + B_{uk} + w_k, \quad y_k = C_{xk} + D_{uk} + v_k \quad (3.31)$$

Burada w_k işlem gürültüsü yani modeldeki belirsizlikler ve kurulardır. v_k ise ölçüm

gürültüsüdür, yani ivmeölçerler kusurlarından dolayı işlenen gürültü siyalidir. Bunlar etkisi olmayan ortalama beyaz gürültü ve kovaryans matrisleri ile ölçülebilen vektör sinyalleridir. Bunlar arasındaki bağıntı ise 3.32’de gösterilmiştir.

$$E \left[\begin{pmatrix} w_p \\ v_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_q^T & v_q^T \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} Q & S \\ S^T & R \end{pmatrix} \delta_{pq} \quad (3.32)$$

Burada ise E, beklenen değer operatörünü, δ_{pq} ise kronecker deltayı ifade eder. Yapısal sağlık izleme sisteminde mevcut olan titreşim bilgisi, genellikle ölçülebilen girdiler olan operasyonel girdilerden etkilenen bir yapının tepkisidir. Giriş bilgileri eksik olması ya da ölçülemeyen sinyaller nedeniyle, u_k ’yı denklemlerdeki gürültü terimleri olan v_k ve w_k ’den ayırmak mümkün olamamaktadır. Bunun için denklem 3.33’de bağıntı kullanılabilir.

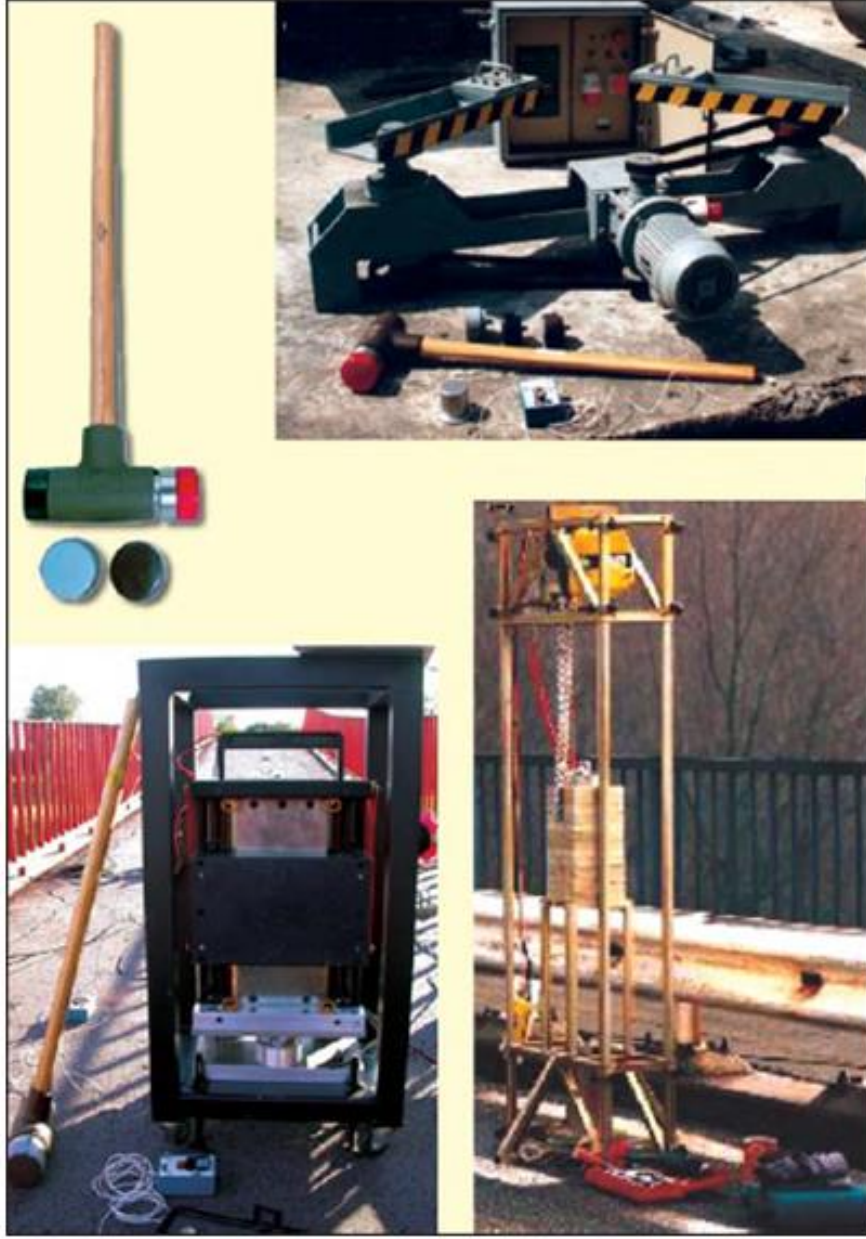
$$x_{k+1} = A_{xk} + w_k \quad y_k = C_{xk} + v_k \quad (3.33)$$

Burada deterministik giriş terimi olan u_k gürültü terimleri olan w_k ve v_k cinsinden modellenirse titreşim ayrık zamanlı stokastik durum uzay modeli elde edilmiş olur (Yu ve Ren 2005).

3.5.1.2. Zorlanmış Titreşim Yöntemi

Zorlanmış titreşim yönteminde, bir kuvvet uygulanır ve buna karşılık gelen tepki ile ilgili bir dizi frekans tepki fonksiyonu kullanılarak, tahmin yapılır. Bunun için yeterli büyüklükte uzaysal ve frekans çözünürlüğe sahip yapının belirli noktalarından ölçüm yapılır. Frekans tepki fonksiyonunun kullanımında yapısal uyarma, veri toplama ve sinyal işleme süreçleri izlenir (Cunha 2006).

Bu yöntemde küçük ve orta ölçekli yapılar için, uyarma işlemini mekanik mühendisliğinde kullanılan benzer darbe çekici kullanılması mümkündür. Bu cihaz farklı titreşim modlarını uyaran geniş bantlı bir girdi sağlama avantajına sahiptir. En büyük dezavantajı ise spektral tahminlerin nispeten düşük frekans çözünürlüğü ve bazı ilgili titreşim modlarını harekete geçirmek için enerji noksanlığı vardır. Bu ise modal sönümlenme faktörlerinin doğru tahmin edilmesine engel olabilir. Bu sorunu çözmek için bazı laboratuvarlar köprüleri uyararak üzere, özel tasarlanmış etki cihazları yaptılar. Alternatif olarak ise makine mühendisliğinde kullanımı bulunan, büyük elektrodinamik sarsıcılar kullanılabilir. Sarsıcılar, bir sinyal üretici ve bir güç amplifikatörü kullanarak hem frekans hem de genlik bakımından uygun şekilde kontrol edildiğinde çok çeşitli giriş sinyalleri uygulayabilecektir. Sarsıcılar, yapıları daha düşük bir frekans aralığında ve daha yüksek frekans çözünürlüğünde uyarma kapasitesine sahiptir. Sinüs eğrisi şeklinde kuvvetlerin uygulanması, yapının rezonans frekanslarında uyarılmasına olanak sağlar ve sonuçta da mod şekillerinin doğrudan tanımlanmasına olanak sağlar (Cunha 2006). Zorlanmış titreşim yönteminde kullanılan bazı cihazların gösterimi Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.36 Zorlanmış Titreşimde Kullanılan Cihaz Örnekleri (Cunha 2006)

3.5.2. Teorik ve Deneysel Modal Analiz (OMA) Sonuçları Kullanılarak Sonlu Eleman Modelinin İyileştirilmesi

Operasyonel modal analiz çalışması ile bir yapıdan dinamik karakteristiğini belirlemeye yönelik veriler alınmaktadır. Sonlu elemanlar metoduyla da bazı kabuller yapmak suretiyle ve son zamanlardaki gelişen bilgisayar teknolojisiyle yapıya ait dinamik karakteristik özellikler belirlenmeye çalışılmaktadır. İki yöntem sonucunda uyumlu sonuçlar bulunması beklense de bu her zaman mümkün olamamaktadır. Dolayısıyla da sonuçlarda düzeltmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle serbest titreşim testlerine dayanan en önemli modal parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanması sayısal modellemeyle ilişkili bazı belirsizliklerin üstesinden gelebilecek sonlu elemanlar modellerinin güncellenmesini destekleyebilir. Bu gibi güncelleme, çeşitli modal modellerini kullanarak, tanımlanmış ve hesaplanan modal parametreler arasında iyi bir eşleme sağlamak için bazı yapısal özelliklerin değerlerini değiştiren bir hassasiyet analizi temelinde geliştirilebilir (Cunha 2006). Bu farklılığın nereden kaynaklandığına bakıldığında ise sonlu eleman modeli oluştururken malzeme dayanımları, sınır şartları ve yapının mevcut yıpranma durumu ve benzeri özellikleri hakkında kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller ise her zaman isabetli olamamakta ve doğru sonuçlara ulaşılmamaktadır. Deneysel modal analiz yönteminde ise ölçümler yapı üzerinde yapılmakta ve ölçüm yapılan parametreler nispeten doğru sonuçlar vermektedir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yönteminde işlenerek düzeltme yapılır. Bu düzeltme işlemine model iyileştirme yöntemi denmektedir (Uçak 2012). Deneysel modal analiz yönteminden elde edilen verilerin, teorik yöntem olan sonlu elemanlar yönteminde işlenerek düzenlenmesi literatürde iyileştirme, kalibre etme veya güncelleme gibi kavramlar ile de nitelendirilebilmektedir. İyileştirme yöntemleri farklı şekillerde olabilmektedir. İşlemlerin birbirleriyle kalibre edilmesi, bunun sonucunda ortaya çıkarılan sonlu eleman modeli, olması beklenen yapı davranışını çok gerçeğe en yakın şekilde yansıtmaktadır.

Yapısal modelin kalibre edilmesi 3 farklı şekilde olmaktadır. Bunlardan bir tanesi elastik modülü gibi malzeme özelliklerinin değiştirilmesidir. Diğer mesnet koşullarının

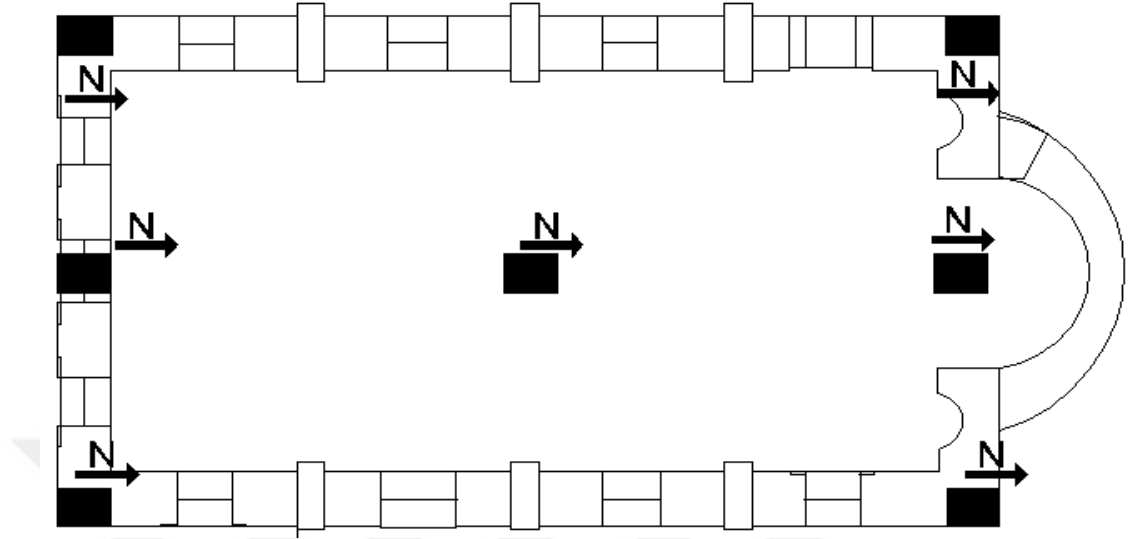
değiştirilmesidir. Bu iki işlemin dışında model geometrisinin değiştirilmesi suretiyle güncelleme yapılabilmektedir. Bu çalışmada malzeme özelliklerinin değiştirilmesi yoluna gidilerek, modelin kalibre edilmesi sağlanmıştır.

3.5.3. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile Mod Şekilleri ve Frekansların Elde Edilmesi

Erzincan Değirmenliköy Kilisesi üzerinde operasyonel modal analiz çalışması gerçekleştirilerek yapının mod şekilleri ve ilgili frekansları deneysel olarak elde edilmiştir. Çalışma detayları bu bölümde sunulmaktadır.

3.5.3.1 Yapı Üzerinde İvme Kayıtlarının Elde Edilmesi

Çalışmanın birinci aşamasında yapı üzerinde titreşim kayıtları alınmıştır. Titreşim kayıtları için öncelikle teorik mod şekilleri dikkate alınarak ölçüm şeması hazırlanmıştır. Titreşim kayıtlarında kullanılan ivmeölçer yerleşim planı Şekil 3.37' de sunulmaktadır.



Şekil 3.37 Değirmenliköy Kilisesi Titreşim Ölçüm Krokisi

Ölçümler için 7 adet 3 eksenli ivme ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kablosuz ölçüm alabilen; kendi içerisinde kayıt ünitesine sahip olan ultra hassas titreşim ölçüm cihazlarına ait örnek gösterim Şekil 3.38'de verilmiştir. Cihazlar TÜBİTAK 1001 – 114M280 kod nolu proje kapsamında temin edilen sensörlerdir. Bu ivme kayıt cihazları ile yapısal sağlık takibi, sismik kuvvetli yer hareketlerinin izlenmesi, tarihi eserlerin takibi, dinamik kimliklendirme, köprü ve tünellerin izlenmesi, jeolojik araştırmalar, fabrikalar ve patlamalardaki ve benzeri çok çeşitli titreşim türlerinin incelenmesi mümkün olmaktadır.

Kablosuz ölçüm alabilen cihazlara ek olarak kablolu ölçüm yapabilen 1 adet ivmeölçer ölçüm ve kayıt güvenliğinin sağlanması adına tonoz orta noktasındaki kablosuz ölçüm aletinin yanına konumlandırılmış ve eş zamanlı ölçüm alınmıştır. Çalışmada öncelikle kısa süreli pilot ölçümler alınarak tüm cihazların eş zamanlı olarak kayıt alıp almadığı kontrol edilmiştir. Kontrol ölçümü yapılan noktadaki kablolu ve kablosuz ölçüm cihazının aldığı kayıtlar karşılaştırılarak ölçümün doğruluğu teyit edilmiştir. Bu aşamadan sonra operasyonel modal analiz çalışmasında veri olarak kullanılacak yapısal titreşim kayıtları alınmıştır.



Şekil 3.38 Kablosuz 3 Eksenli İvme Ölçüm Cihazları

Arazide yapılan ölçümler krokide belirtildiği üzere, dört adet köşe ve üç adet orta noktalar olmak üzere toplam yedi farklı noktadan ve yapının üst örtü mahallinden alınmıştır (Şekil 3.39). Ölçüm noktalarına erişim kovalı mobilize merdiven ile sağlanmıştır.



Şekil 3.39 Arazide Gerçekleştirilen Yapısal Titreşim Kayıt Çalışmaları

Ölçüm yapılan noktaların yerden yükseklikleri yaklaşık olarak 8 m'dir. Cihazlar ölçüm noktalarına sabitlendikten sonra dahili GPS antenleri kullanılarak senkronize olmaları sağlanmıştır. Burada amaç; tüm sensörlerin dahili hafızalarına eş zamanlı olarak (uydudan senkronize oldukları saat dilimi dahilinde) veri kaydetmelerinin sağlanmasıdır. Ölçümlerin tamamı açık havada gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.40). Bu cihazların GPS antenleri kullanarak senkronize kayıt olabilmeleri esastır.



Şekil 3.40 Operasyonel Modal Analiz İçin Yapılan Titreşim Ölçümlerinden Görüntüler

Ölçüm krokisinde belirtilen yön (N harfi ile) kuzey doğrultusudur. Ancak, burada açıklanması gereken husus N ile ifade edilen yönün ölçüm cihazları üzerinde gösterilen doğrultu olduğudur. Bu hususun kroki üzerinde belirtilmiş olması veri işleme aşamasında çalışmalara kolaylık sağlamaktadır. Bir başka ifadeyle; yerleştirilen yönün doğruluğu yapı için mevcut yön bulma yöntemleriyle ve cihazlar için üzerlerinde gösterildiği gibi N (North: Kuzey) harfine içinde ok işareti gösteriminden yararlanılarak sağlanmıştır (Şekil 3.41). Ölçümler öncesi cihaz kalibrasyonları yetkili firmaca kontrol edilmiştir. Tüm ölçümler g cinsinden; 0.01 sn aralıklarla alınmıştır. Saatlik olarak ölçümler yapılmıştır.



Şekil 3.41 Cihaz Ölçüm Yönlerin Belirlenmesi

Çevresel titreşim testi için araç motoru, yaya faktörü ve rüzgar etkisinden yararlanılmıştır. Çalışmanın yapıldığı dönemde köyde gerçekleştirilmekte olan alt yapı çalışmasında kullanılan iş makinalarının yapı çevresinden geçerek titreşim oluşturmaları sağlanmıştır. Ölçümler tamamlandığında tüm cihazlarla teker teker bilgisayar ile bağlantı kurulmuş ve veri alınmıştır. Tüm cihazlarda bu işlem tamamlanmadan cihazlar toplanmamıştır (Şekil 3.42). Bu şekilde hem cihazların doğru çalışıp çalışmadığı hem de birbirleri ile senkronize olup olmadığına dair tespitler yapılmış; sağlıklı veri alındığına kanaat getirildikten sonra cihazlar toplanarak ölçüm çalışması sonlandırılmıştır.

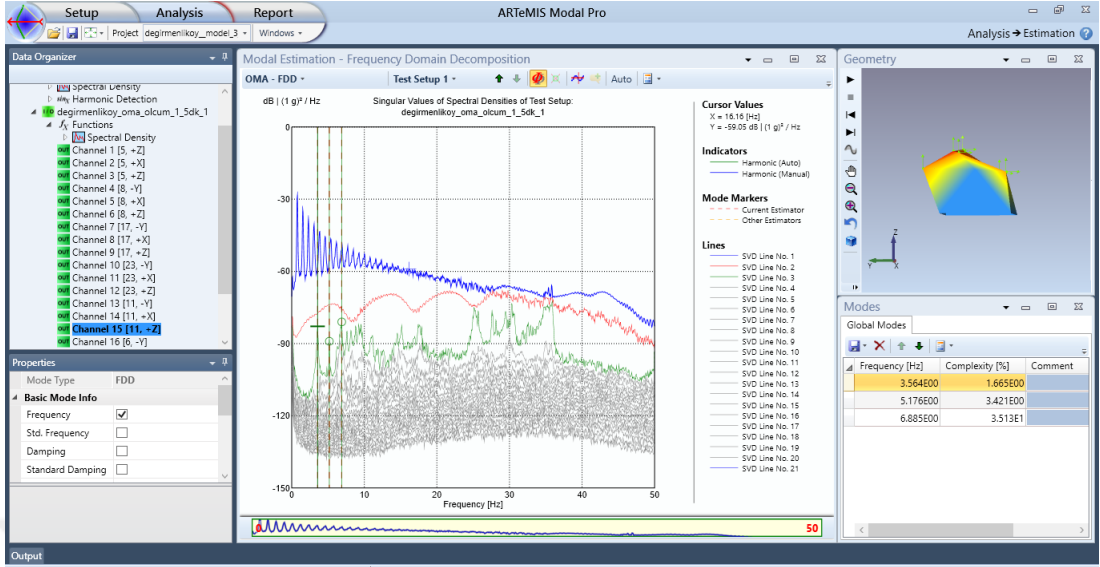


Şekil 3.42 Elde Edilen Verinin Sahada Kontrolü

3.5.3.2 Elde Edilen Kayıtların Değerlendirilmesi

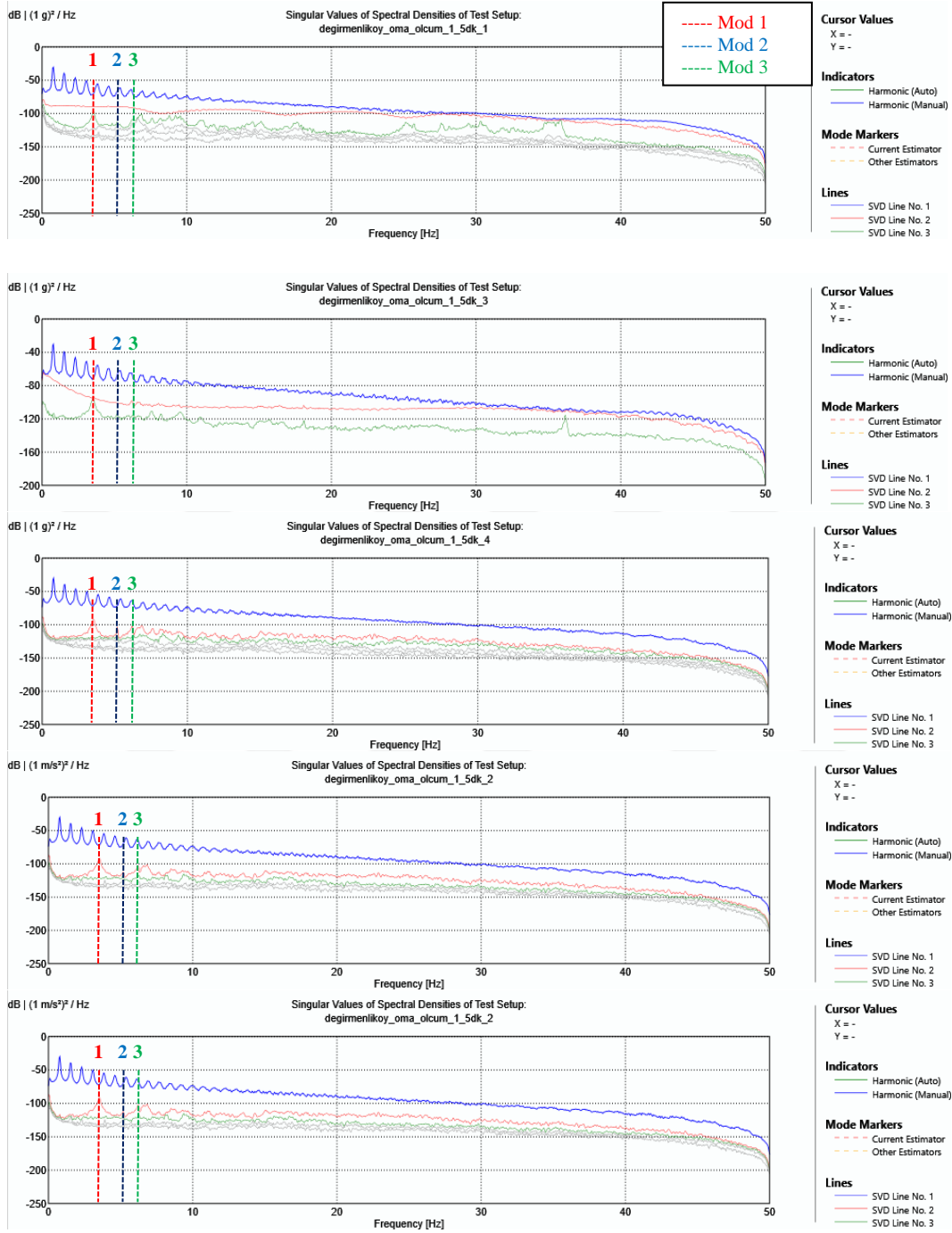
Yapıdan alınan titreşim ölçümleri öncelikle temizlenmiş ve tüm veri aynı uzunluğa getirilmiştir. Burada yapılan çalışma esasen şöyledir. Kablosuz ölçüm alan titreşim cihazları çalışma başında ve sonunda ilgili tuşa basılarak kaydın başlatılması ve sonlandırılması işlemi yapılmaktadır. Bu işlem tüm cihazlarda eş zamanlı olarak yapılamadığından senkronize olduktan sonra aynı zaman diliminde kayıt almaya başlayan cihazların kayda başlama ve sonlandırma süreleri birbirlerinden saniye mertebesinde farklı olabilmektedir. Öncelikle bu farklar giderilerek tüm veri aynı uzunluğa getirilmiştir. İkinci aşamada saatlik olarak alınan ölçümler 5 dk'lık ölçüm dosyaları haline dönüştürülmüştür. Herbir dosya ayrı ayrı kullanılarak yapıya ait deneysel mod şekilleri ve frekanslar elde edilmeye çalışılmıştır. Herbir veri dosyasının ayrı ayrı analizinden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek ilk 3 mod şekli ve modal frekanslar belirlenmiştir.

Titreşim verilerinin işlenmesi ve dinamik parametrelerin elde edilmesi sürecinde Artemis Modal Pro yazılımı kullanılmıştır. (2017) Yapıya ait dinamik karakteristik verileri geliştirilmiş frekans ortamında ayrışma yönteminden elde edilmiştir. Çalışmalara ilişkin örnek bir ekran görüntüsü Şekil 3.43' de sunulmaktadır.



Şekil 3.43. Artemis Modal Pro Yazılımı Kullanılarak Mod Şekilleri ve Frekansların Elde Edilmesi

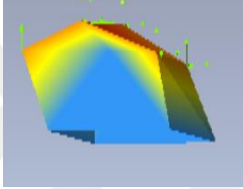
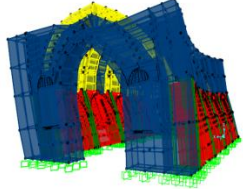
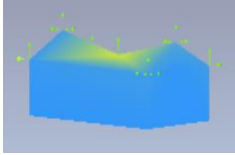
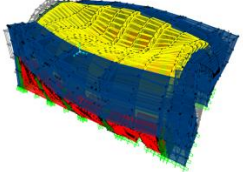
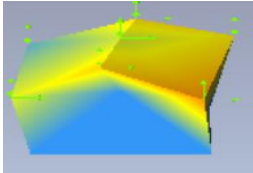
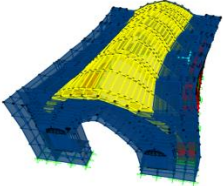
Farklı veri setlerinden elde edilen spektral yoğunluk grafikleri Şekil 3.44’ de sunulmaktadır. Benzer grafikler saatlik ölçümlerin 5 dk’ lık dosyalara ayrıştırılması ile elde edilen titreşim kayıtları kullanılarak elde edilmiştir. Mod şekilleri ve modal frekansların güvenilir bir şekilde elde edilmesi için çalışma farklı dosyalar oluşturularak defaten tekrarlanmıştır. Tekrarlı çalışma sonucunda birbirine çok yakın değerler çıkan ilk 3 mod şekli ve mod frekanslar yapının deneysel olarak elde edilen mod şekilleri ve modal frekanslar olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.44. Farklı Veri Setlerinden Elde Edilen Spektral Yoğunluk Grafikleri

Gerçekleştirilen çalışma neticesinde yapının ilk 3 mod şekli ve modal frekanslarının elde edilmesi mümkün olmuştur. Operasyonel modal analiz ve teorik analiz ile ilgili sonuçlar ve elde edilen mod şekilleri Çizelge 3.7.' de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7. Operasyonel Modal Analiz Ve Teorik Analiz Sonucunda Elde Edilen Mod Şekilleri ve Modal Frekanslar

Mod	Açıklama	Mod Şekli	Modal Frekans (Hz)	Mod Şekli	Modal Frekans (Hz)
1	kısa doğrultuda yatay hareket		3.56		3.57
2	çatı örtüsünün düşey hareketi		5.18		5.07
3	burulma		6.89		5.29

3.5.4. Yapısal Analiz Modelinin OMA Sonuçlarına Göre Güncellenmesi

Teorik olarak hesaplanan modal frekanslar ile operasyonel modal analiz yöntemiyle bulunan değerler arasında yaklaşık olarak 2 katı gibi büyük farkın oluşması nedeniyle oluşturulan malzeme modeline ait parametrelerin yeniden değerlendirilmesi metoduna gidilmiştir. Yapıda en çok kullanılmış olan malzeme tüfleşmiş kalkerdir. Başlangıçtaki teorik modal analizin gerçekleştirildiği model oluşturulurken bu malzemeden basınç dayanımı olarak Schmidt çekici yönteminde elde edilen mukavemet değeri dikkate alınmış ve ilgili diğer değerler bu değere göre hesaplanarak modele uygulanmıştır.

Modelin güncellenmesi çalışmasında öncelikle tüfleşmiş kalker malzemenin deneysel olarak elde edilen yoğunluk ve basınç dayanımı değerleri dikkate alınarak ilgili diğer malzeme parametreleri yeniden hesaplanmış ve yeni hali ile oluşan parametreler Çizelge 3.9'de gösterilmiştir.

Malzemelere ait dayanım özellikleri yeni hali ile değerlendirilmiş ve teorik modal analiz tekrarlanmıştır. Ancak hesaplanan yeni modal frekans değerleri deneysel sonuçlara daha çok yaklaşmış olsa da yine de teorik ve deneysel modal frekanslar arasında farklar olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapısal elemanlar için tanımlanmış olan elastisite modülünü değiştirmek suretiyle teorik frekansların deneysel frekanslara yaklaştırılması yoluna gidilmiştir. Tonoz, kemer, iç kemer sütun ve dış cephe elemanları arasında elastisite modülü temel alınarak farklı korelasyonlar oluşturulmuştur. Çok sayıda ihtimal gözden geçirilmiştir.

Başlangıçta tüm elemanlar için elastisite modülü sayısal değeri olarak TDY 2007' de önerilmiş olan basınç mukavemetinin 200 katı önerisi kullanılmıştır (200 f_d). Fakat deneysel değerlerden yüksek olarak hesaplanan frekans değerlerinin deneysel değerlerle uyumlu olabilmesi için değerler azaltılmıştır. İç kemerlerde basınç dayanımının 27 katı, sütun, kemer ve dış cephede 41 katı ve tonozlarda 200 katı

kullanılarak deneysel sonuçlara en yakın teorik modal frekanslar elde edilmiştir. Modal frekans sonuçları toplu olarak Çizelge 3.10' da sunulmaktadır.

Operasyonel modal analiz ile teorik analizin karşılaştırılmasına bakıldığında şu değerlendirmeler yapılmaktadır; her iki analizde de mod şekilleri aynıdır. Birinci modda binanın kısa doğrultusunda doğu-batı yönünde hareket olmaktadır. İkinci mod şekli ise çatı örtüsünde düşey doğrultuda olmaktadır. Üçüncü mod şekli burulma modu olarak oluşmaktadır.

Teorik ve deneysel modal frekans değerlerinin ilk ikisinde çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel analizde birinci modda 3.56, ikinci modda 5.18, üçüncü modda 6.89 olarak tayin edilmişken, teorik analizde ise birinci modda 3.57, ikinci modda 5.07, üçüncü modda 5.29 olarak tayin edilmiştir.

Çizelge 3.8 Tüfleşmiş Kalker Malzeme Özelliklerine Göre Güncellenen Malzeme Parametreleri

SÜTUNLAR İÇİN				KEMERLER			
yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$		yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$	
		4.41 Mpa				1.39 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	4.41		f_k	basınç mukavemeti	1.39
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.50		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	10.41		f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	2.00
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30
melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.4412	melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.1390
TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 41x'fd	882	TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 41x'fd	278
melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m ³)	1100			görünür yoğunluk (kg/m ³)	1100
İÇ KEMERLER				TONOZLAR			
yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$		yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$	
		7.33 Mpa				4.96 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	7.33		f_k	basınç mukavemeti	4.96
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.40		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	44.03		f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	17.14
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25
melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.7329	melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.4962
TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 27x'fd	1466	TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 200x'fd	1002
melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m ³)	2000			görünür yoğunluk (kg/m ³)	1500
DIŞ CEPHE				APSİS			
yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$		yığma taş ve harçtan oluşan duvarlar için önerilen denklem (EUROCODE 6, 1995)		$f_{k=K \cdot f_b^a \cdot f_m^b}$	
		6.12 Mpa				1.39 Mpa	
	f_k	basınç mukavemeti	6.12		f_k	basınç mukavemeti	1.39
	K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.50		K	sabit değerdir. Yığma sistemin morfolojik yapısına göre 0.4 ile 0.6 arasında alınacak. 0.05'lik farklarla değişir	0.50
	f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	23.66		f_b (mpa)	taş veya tuğlaların basınç mukavemeti	2.00
	α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.65		α	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.70 kaba örülmüş yığmalarda 0.65	0.70
	β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.25		β	sabit değer. Düzgün şekilli yığmalarda 0.30 kaba örülmüş yığmalarda 0.25	0.30
melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00	melis özkül 2016, altaş 2012 fm = 6-8 mpa	f_m (mpa)	harçın basınç mukavemeti	6.00
melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.6118	melis özkül 2016, koçak 1999 ft = fk x	f_{ts} (mpa)	çekme mukavemeti	0.1390
TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 41x'fd	1224	TDY 2007'fd	E (mpa)	elastisite modülü 41x'fd	278
melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17	melis özkül 2016, koçak 1999	poisson	poisson oranı	0.17
		görünür yoğunluk (kg/m ³)	2500			görünür yoğunluk (kg/m ³)	1100

Çizelge 3.9. Teorik ve Deneysel Modal Frekanslar

Mod	Açıklama	Modal Frekans (Hz)			
		Başlangıç Teorik Modal Analiz Sonucu	Tüfleşmiş Kalker Malzeme Özellikleri Güncellendikten Sonraki Teorik Modal Analiz Sonucu	Operasyonel Modal Analiz Sonucu	Elastisite Modülü Değişimi Sonucunda Teorik Modal Analiz Sonucu
1	kısa doğrultuda yatay hareket	18.93	6.38	3.56	3.57
2	çatı örtüsünün düşey hareketi	28.47	7.71	5.18	5.07
3	burulma	29.13	8.78	6.89	5.29

Yapılan çalışma neticesinde teorik olarak elde edilen modal frekans değerleri ile saha çalışmasında elde edilen değerlerin uyumlu olduğu görülmüştür. Özellikle ilk iki frekans değeri oldukça yakın olarak bulunmuştur. Sonuçların elde edilmesinde tonozlarda TDY 2007’de önerilen şekliyle $200f_d$ olarak alınmasına karşılık, zamana bağlı deformasyonların ve tahribatın olduğu yapı elemanlarında bu değerlerin düştüğü görülmektedir. Özellikle tahrip olmuş olan iç kemerlerde elastisite modülünün $27f_d$ ’ye kadar düştüğü, çoğunlukla zamana bağlı deformasyonların olduğu düşünülen kemer, sütun ve dış cephede ortak olarak $41f_d$ alınmıştır. Bu değerlerin dışında da elde edilecek elastisite modülleriyle deneysel frekans değerlerinin denk gelmediği anlaşılmıştır. Bu çalışmada apsisli model nihai olarak hedeflenen modeldir ve güncellenen elastisite modüllerine göre yeniden kalibre edilmiştir. Kalibrasyon çalışması ise apsisli modeli nispeten daha doğru bir yaklaşımla analiz edebilmek için yapılmıştır.

3.6. Yapısal Analizler

Bu çalışmada SAP2000 programı kullanılarak statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Her iki analizde de doğrusal elastik hesap yöntemi kullanılmıştır. Doğrusal elastik hesap yönteminde malzeme özelliklerinin sahip olduğu rijitlik, sönüm ve benzer nitelikler analiz sırasında sabittir. Bu yöntemin başlangıç koşulunda basınç veya çekme gerilmesi sıfırdır ve daha önceki analizlerden de gelen yüklerin alınması öz konusu değildir. Tüm deplasman ve gerilme değerleri uygulanan yüklerin büyüklüğü ile orantılıdır.

İlk yükleme durumunda Değirmenliköy Kilisesinin mevcut yapı modelinin ve apsisin dâhil olduğu modelin statik analizi doğrusal elastik olarak yapılmıştır ve yapısal analiz sadece yapının zati yükleri için gerçekleştirilmiştir.

İkinci durumda ise Değirmenliköy Kilisesinin apsisli modelinin dinamik analizi doğrusal elastik zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zaman tanım alanı doğrusal elastik veya doğrusal olmayan elastik yöntem olarak uygulanabilmektedir. Bu yöntemde yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiştir deprem yer hareketleri kullanılabilir. Yer hareketinin benzeştirilmesi kaynak ve dalga yayılım özelliklerinin fiziksel kullanımı ile yapılabilmektedir (TDY 2007). SAP2000 programında zaman tanım alanında analiz yöntemi, bir yapının zamana bağlı olarak değişebilen belirli bir yüklemeye dinamik tepki vermesi ile oluşmaktadır. Deprem zemindeki ivme hareketini temsil ettiği varsayımı ile zemindeki ivmelenmenin programda kullanılmasıyla, yapıda oluşan deplasman, hız ve ivmelenme değerleri buna bağlı olarak alınmaktadır. Programda zaman tanım alanı, uygulanan yüklerin uzay ve zamandaki gelişigüzel oluşturulmuş fonksiyonu olarak alınabilmektedir. Yine program mekânsal yük vektörlerini temsil etmek için yük kalıpları ve ivme yükleri kullanılmaktadır. Tasarım x,y,z koordinat sisteminde gerçekleştirilmiştir. Program tarafından önerildiği şekilde zaman tanım alanında aynı koordinat sistemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ilk koşullar ve elde edilen parametreler; yer değiştirmeler, ivmelenmeler, iç kuvvetler, gerilme dağılımları, yapının

enerji seviyesi ve dış yükler olarak belirlenmiştir. Programda bu parametreler başlangıç koşulları ve analizin sonundaki koşullar için gerekli şekilde dengeler ve otomatik olarak ayarlama yapmaktadır.

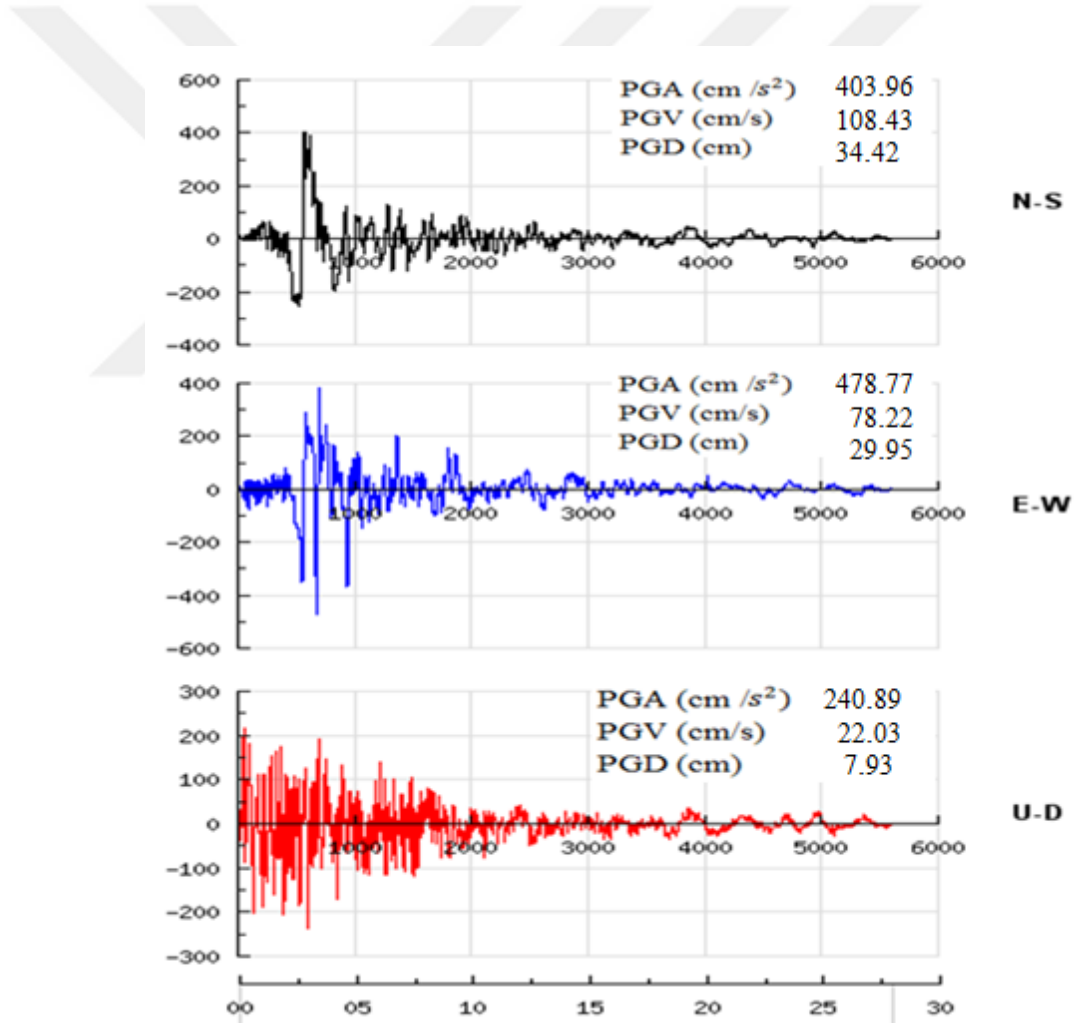
Yapının SAP2000 ortamında oluşturulan ve kalibre edilen mevcut modeli ve apsisli orijinal modeli üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Mevcut model üzerinde sadece yapının öz ağırlığı etkisinde statik analizler yapılmıştır.

Kilise yapısının 1939 Erzincan Depremi davranışının belirlenmesi için, tarihi depremin ivme kayıtlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak, depremin çok eski bir tarihte yaşanmış olması nedeniyle sayısal ivme kayıtları yoktur. Zamanın şartlarına göre depreme ait ivme kaydı alınması oldukça zor olduğu bilinmektedir. Yaşanan depreme ait bilgi olarak sadece depremin şiddeti ve büyüklüğü bilgisi bulunmaktadır. Bu deprem davranışının yapıya yansıtılması amacıyla bu depremden yaklaşık elli yıl sonra 1992 yılında yine Erzincan'da yaşanmış depremin kayıtlarının elde edilmesi ve bu çalışma kapsamında kullanılması uygun görülmüştür. Nedeni ise 1992 Erzincan Depreminin özellikle oluşan fay hattına yakın bölgelerde etki gücünün fazla olması, aynı coğrafyada cereyan etmesi ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kabulünün yapılmasıdır. Burada temel çıkış noktası, esasen yapının dinamik etkiler altındaki davranışını görmek ve apsis bölgesinin hasar alıp alamayacağı konusunda kestirim yapmaya çalışmak olduğundan 1992 Erzincan Deprem kayıtlarının kullanılmasının hatalı olmayacağı düşünülmüştür. Her iki depreme ait hasar ve şiddet değerleri çizelge 3.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.10 1939 ve 1992 Erzincan Depremlerini Karşılaştırılması (Doğan 2007)

Tarih	Saat	Yer	Şiddet	Mag (Ms)	Can Kaybı	Hasarlı Bina
1939	01:57	Erzincan	X-XI	7.9	32968	116720
1992	19:18	Erzincan	VII	6.8	653	2189

Dinamik davranış zaman tanım alanında (time history) lineer analizler gerçekleştirilmek suretiyle incelenmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları Şekil 3.45 'de sunulmaktadır.



Şekil 3.45 1992 Erzincan Depremi İvme Kaydı Kayıtları

Apsisli model üzerinde dinamik analizlere ek olarak modal analiz ve ölü yükler altında statik analiz çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ARAŞTIRMANIN BULGULARI ve TARTIŞMA bölümünde sunulmaktadır.

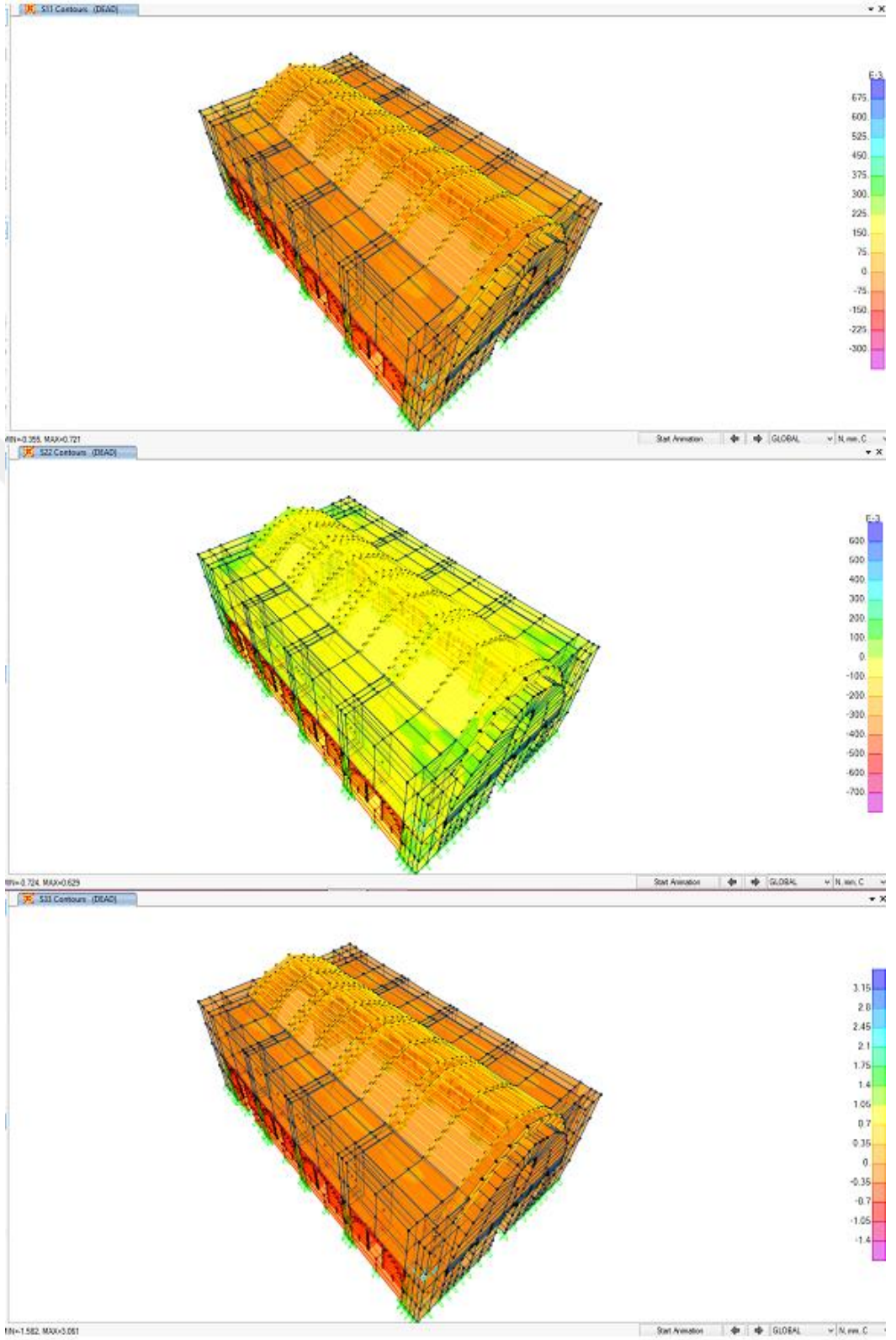


4.ARAŞTIRMANIN BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapının apsisli modeli önceki bölümlerde açıklanan aşamalardan sonra oluşturularak yapısal analize hazır hale getirilmiştir. Mevcut duruma ilişkin model için zati yükler altında statik analiz ve apsisli model için statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu çalışması önceki bölümde detaylandırıldığından burada sadece yapısal analiz sonuçları sunulmaktadır.

4.1. Mevcut Durumu Yansıtan Modelin Statik Analizi

Yapının statik analizi, kendi ağırlığı altındaki değerlendirmeden elde ettiğimiz bulgulardan oluşmaktadır. Bu aşamada yapıda hesaplanan aksel gerilmeler ve düşey çökme değerleri irdelenmektedir. Yapı analizi sonucunda mevcut durum için ve sadece ölü yükler altında oluşan gerilme dağılımı (düşey eksene paralel) Şekil 4.1'deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Mevcut Durum Statik Analiz Gerilme Dağılımı (S11,S22,S33)

Yapıdaki gerilme dağılımına bakıldığında en fazla gerilmenin apsis kısmının her iki yanında nişlerin üzerinde, yarım dairesel kesitli elemanın bitişiğinde bulunan 246 ve 424 no'lu solid elemanlarda olduğu görülmektedir. Bu solid elemanlar yapının kuzeyinde apsis kısmına bitişik olan dış cephenin kesiştiği noktada bulunmaktadır. Şekilde de ifade edildiği üzere 3.06 MPa çekme gerilmesi ve 1.58 MPa çekme gerilmesi 246 no'lu tek bir elemanda ve 1.70 MPa basınç gerilmesi ve 0.96 MPa basınç gerilmesi 424 no'lu tek bir elemanda gerçekleşmektedir. Bu kısımlarda hesaplanan maksimum çekme gerilmeleri, hesaplanan çekme dayanımının üzerinde bulunmaktadır. Ve hâlihazırda da bu bölgede çatlakların mevcut olması bulunan sonuçları desteklemektedir (Şekil 4.2).



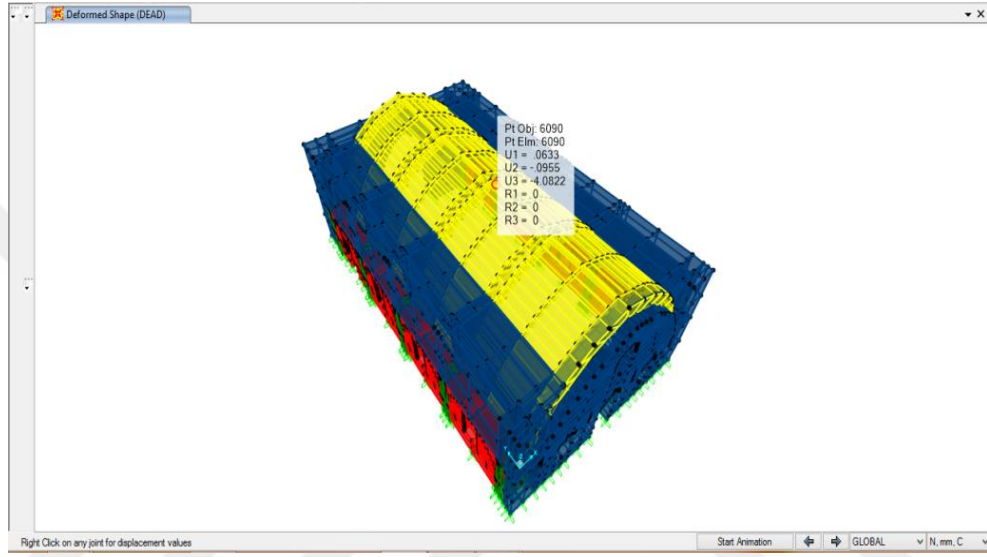
Şekil 4.2 Çekme Gerilmeleri Nedeniyle Oluşan Kılcal Çatlaklar

Yapı özağırlığı etkisinde hesaplanan en büyük gerilme değerleri eleman bazında Çizelge 4.1'deki belirtilmiştir. Tarihi yapının mevcut durumunda sadece zati yüklerin etkisi altında elde edilen çekme ve basınç gerilmeleri, hesaplanan dayanımları geçmemektedir. Elde edilen basınç gerilmeleri hesaplanan değerlerin çok altında kalmaktadır ve basınç gerilmeleri anlamında bina güvenli bir konumdadır. Çekme gerilmelerinin de çekme dayanımlarının altında kaldığını söylemek mümkündür. Ancak buradaki durum basınç gerilmesine ait dağılımdan biraz farklıdır. Zira tonozlarda oluşan maksimum çekme gerilmesi, çekme dayanımının %80 oranında yaklaşmaktadır. İç kemerler ve dış cephede ise bu değer %50 oranlarına ulaşmaktadır. Bu sonuçlar ise bize mevcut durumda tonozlarda fazla olmak üzere, iç kemer ve dış cephede çekme gerilmelerinden kaynaklanan zorlanmaların olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1 Yapıya Ait Zati Yüke Göre Maksimum Gerilme Dağılımı Ve Dayanım Değerleri

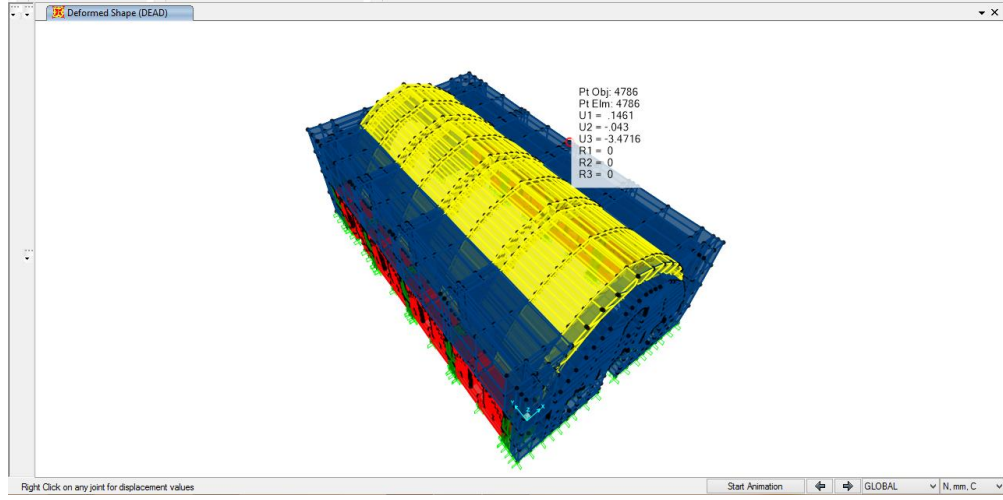
Yapı Elemanı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Tonoz	1,170	4,960	0,415	0,496
Kemer	0,274	1,390	0,047	0,139
Sütun	0,209	4,410	0,048	0,442
İç Kemer	0,453	7,330	0,314	0,733
Dış Cephe	1.436	6,120	0,319	0,610

Mevcut durumda elde edilen yer değiştirme değerlerine bakıldığında tonozu destekleyen 3. kemerin tepe noktasında 4.08 mm dūřey okme hesaplandığı görülmektedir (şekil 4.3). Bu, sistemde yapının kendi ağırlığı altında hesaplanan en büyük dūřey okme değeridir. Tonozun özellikle orta kemere yakın bölge birim şekil değiştirme direncinin en az olduğu bölgeyi oluşturmaktadır.



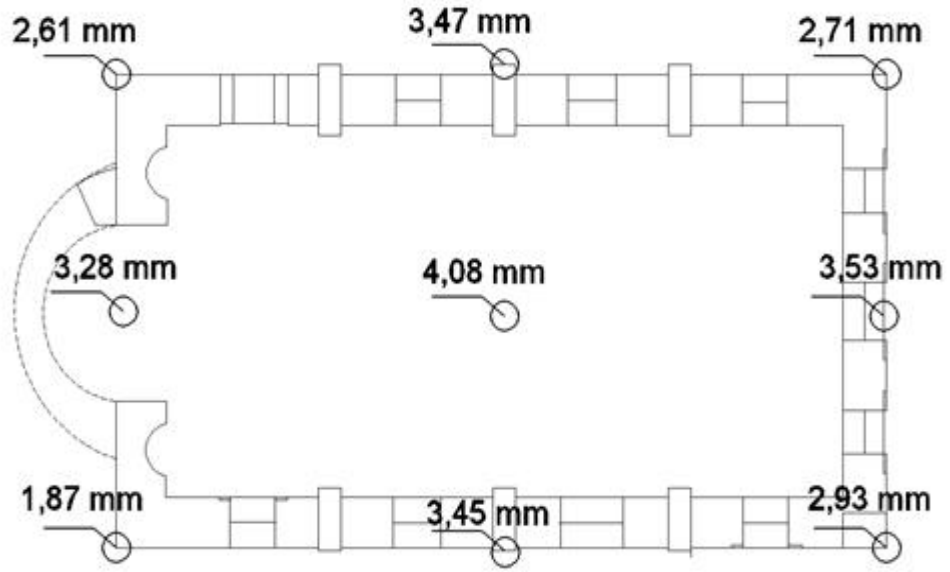
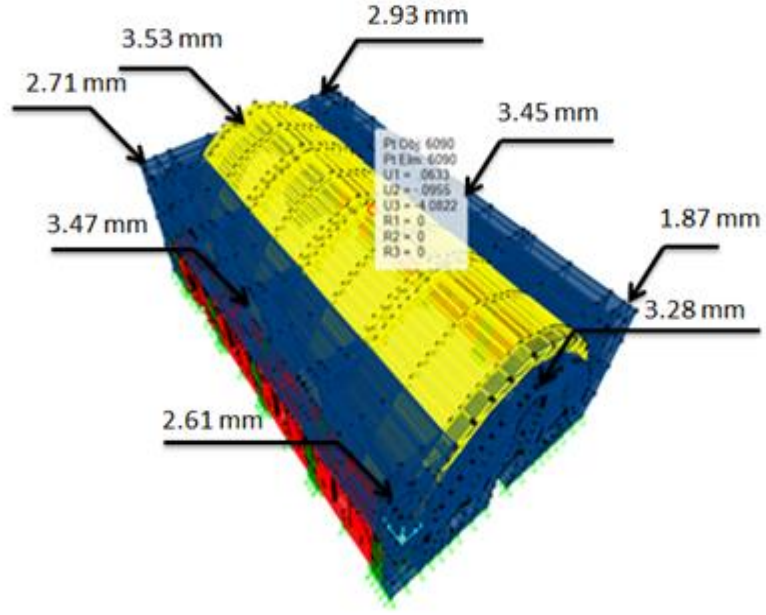
şekil 4.3 Statik Analizde Mevcut Zati Yükler Altında En büyük okme Değeri

Duvar tepe noktaları incelendiğinde en büyük dūřey okmenin tonozu destekleyen orta kemerin mesnetlendiği duvar bölgesinde 3,47 mm olduğu hesaplanmıştır (şekil 4.4). Zati yükler altında oluşan birim kısalma oranına bakıldığında $\epsilon = 3.47 / 7350 = 0.00047$ olarak elde edilmektedir. Literatürde yığma yapılar için önerilen şekil değiştirme limitleri genel olarak 0.003-0.0045 arasındadır. (Mosalam vd. 2009, BBC – 2012) Bununla birlikte, mevcut yığma yapılar için (Simoes vd., 2012) nerilen şekil değiştirme limit değeri 0.0006 mertebesindedir. Her iki limit değer de dikkate alındığında yapı duvarlarında hesaplanan en büyük birim şekil değiştirme değerinin (0.00047) hasar sınırı altında kaldığı ifade edilmektedir.



Şekil 4.4 Statik Analizde Mevcut Durum Zati Yükler Altında Duvar Tepe Noktasındaki En Büyük Çökme Değeri

Şekil 4.5'te yapıya ait dış cephede tepe noktalarından alınmış çökme değerleri ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere verilmiştir. Yapıdaki duvarlardan apsis kısmında elde edilen çökme değerlerinin 1,8 mm ve 2,6 mm aralığında olduğu tam simetrisinde ise 2,5 mm ve 3 mm aralığında olduğu görülmektedir. Apsis kısmının nispeten daha rijit davrandığını söylemek mümkün olmaktadır



Şekil 4.5 Mevcut Duruma Ait Modelin Zati Yükler Altında Duvar Tepe Noktası Düşey Çökme Değerleri

4.2. Apsisli Modelin Analiz Bulguları

Değirmenli Köy Kilisesi' nin mevcut durumundan yola çıkılarak, yapıya ait ilk model oluşturulmaya çalışılmıştır. Apsis kısmı yapıdaki yıkımdan kalan yaklaşık 1 metrelik taş izlerinden takribi olarak tasarlanmış ve eklenmiştir. Nihai model üzerinde modal analiz, öz ağırlık etkisi altında statik analiz ve dinamik analizler gerçekleştirilerek yapının davranışı incelenmiştir.

4.2.1. Apsisli Modele Ait Modal Analiz Sonuçları

Çalışmanın bu aşamasında apsisli model üzerinde teorik modal analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve modal frekans değerleri Çizelge 4.2.' de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2. Mevcut Duruma İlişkin Model ve Apsisli Yapı Modeline Ait Modal Analiz Sonuçları

Mod	Açıklama	Modal Frekans (Hz)	
		Mevcut Durum	Apsisli Model
1	Kısa doğrultuda yatay hareket	3.57	3,60
2	Çatı örtüsünün düşey hareketi	5.07	4,47
3	Burulma	5.29	5,48

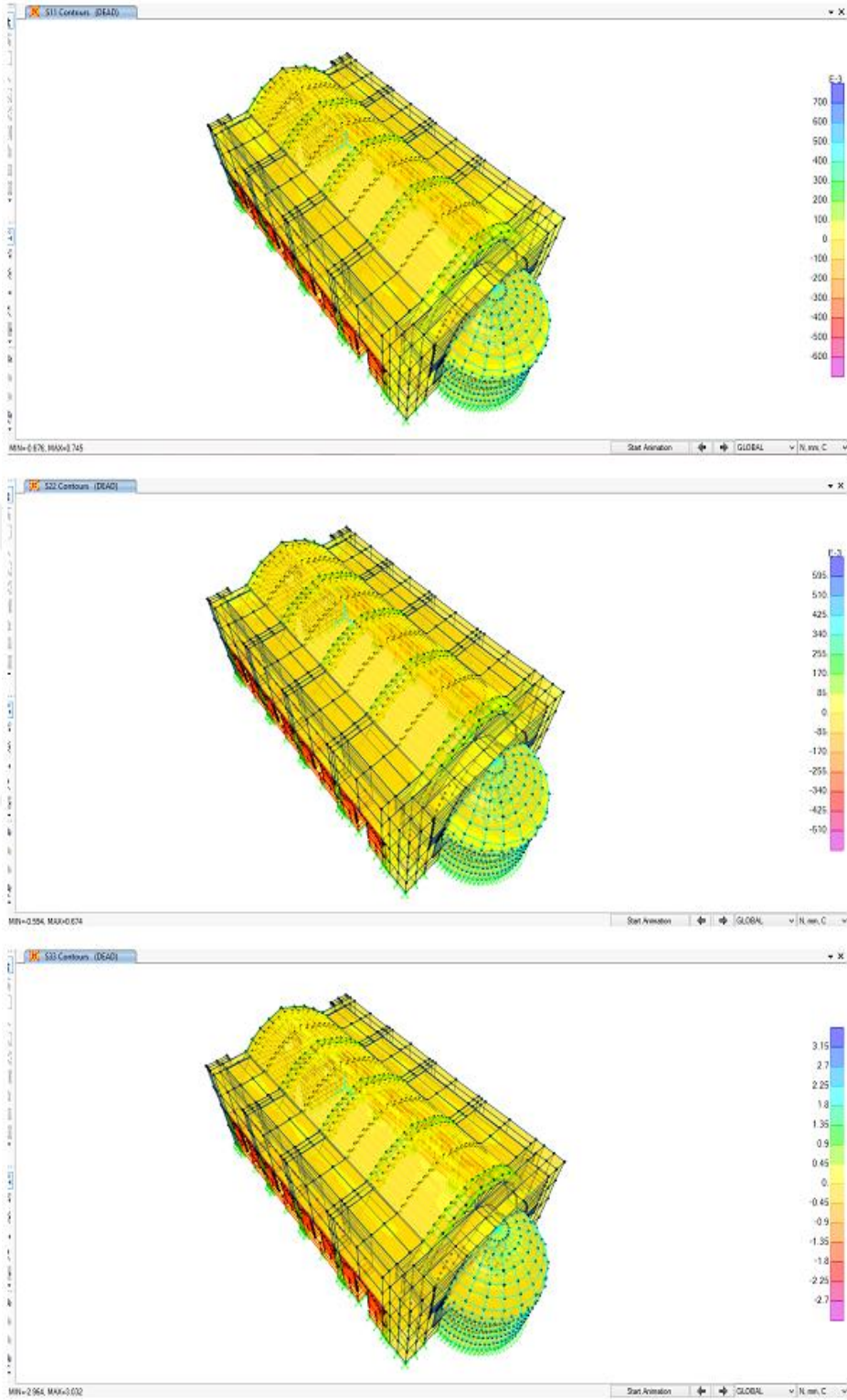
Apsis kısmının dâhil edildiği bu modelde, mevcut modele göre ağırlığı artmış ve mod şekilleri ilk 3 mod için değişmemiştir. Mevcut durumu yansıtan modele ait birinci ve üçüncü modal frekansların apsis eklentisiyle birlikte az da olsa arttığı, yani ilgili periyot değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durumun apsis eklentisi ile birlikte yapı rijitliğinin artması ile ilişkilendirilmesi mümkündür. Bununla birlikte, apsis eklentisinin ikinci mod olan çatı örtüsünün düşey hareketine ilişkin modal frekans değerini azalttığı (periyodu artırdığı) görülmektedir ki; burada kütle artışının etkin olduğunu söylemek mümkündür.

4.2.2 Apsisli Modele Ait Statik Analiz Sonuçları

Tarihi kilisenin mevcut durumu üzerinden yola çıkılarak, apsisin dışarıya yaptığı çıkıntı üzerinden yapının yaklaşık ilk modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Apsisin orta noktasından itibaren 2,45 m yarım daire oluşturacak şekilde yapı tamamlanmıştır. Bunun için mevcut modelden 341 adet daha fazla katı eleman tanımlanmıştır ve yapı ağırlığı 42 ton artmıştır.

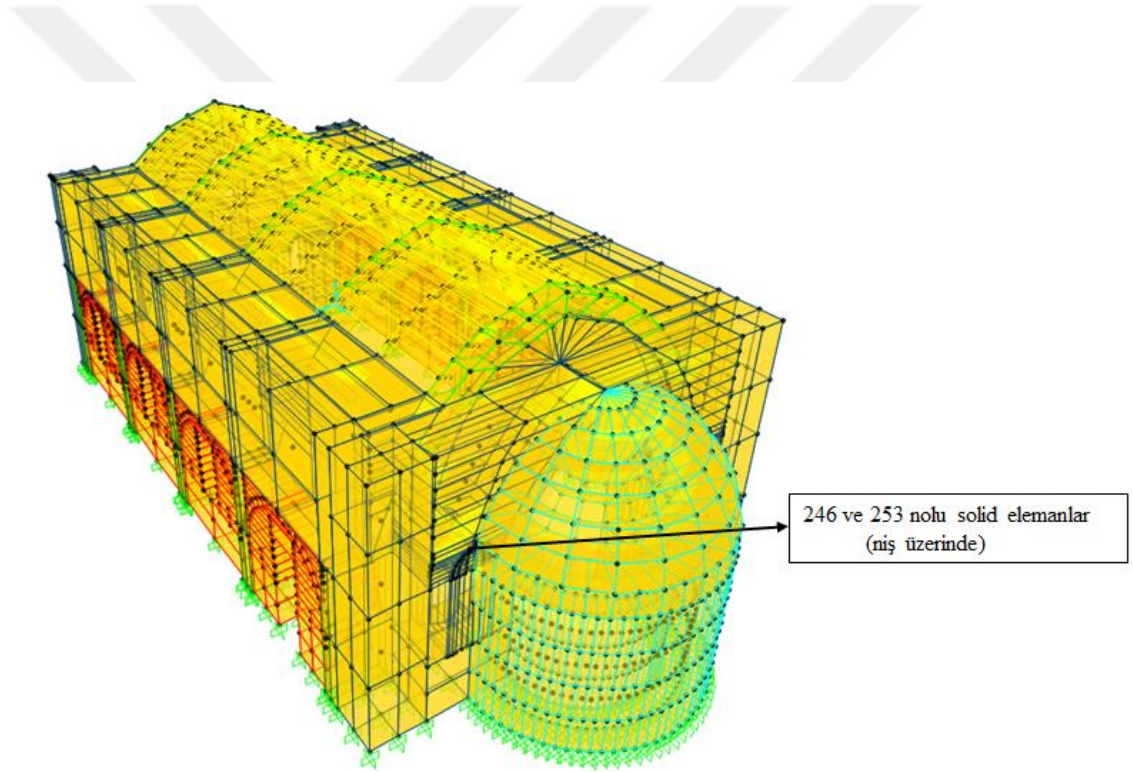
Yapının mevcut durumu için statik analizi yapılmış ve sonuçlar önceki bölümde sunulmuştur. Apsisli modelin statik analizi yapılmıştır; yapı ana gövdesindeki gerilme ve yer değiştirme sonuçlarının benzer olmakla birlikte, apsis kısmının dahil edildiği modelde statik analize ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Yapının statik analizi, kendi ağırlığı altındaki değerlendirmeden elde ettiğimiz bulgulardan oluşmaktadır. Bu aşamada yapıda hesaplanan eksenel gerilmeler ve düşey çökme değerleri irdelenmektedir. Yapı analizi sonucunda apsis dahil yapı modeli durumu için ve sadece ölü yükler altında oluşan gerilme dağılımı (düşey eksene paralel) Şekil 4.6'deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda Statik Analiz Gerilme Dağılımı (S11,S22,S33)

Yapıdaki gerilme dağılımına bakıldığında en fazla gerilmenin kuzeyde apsisin birleştiği nişlerin olduğu bölgede 246 no'lu solid elemanlarda olduğu görülmektedir. Burada 0.426 MPa çekme gerilmesi 246 ve 0.425 MPa çekme gerilmesi 253 no'lu tek bir elemanda, aynı zamanda 1,22 MPa basınç gerilmesi 253 ile 0.96 MPa basınç gerilmesi 246 no'lu tek bir elemanda gerçekleşmektedir. Söz konusu solid elemanların yapı üzerinde gösterimi şekil 4.7'de verilmiştir. Bu kısımlarda hesaplanan maksimum çekme gerilmeleri, hesaplanan çekme dayanımlarının altında kalmaktadır. Apsisli modelde zati yükler altındaki gerilmelerin yapı içerisindeki dağılımı, mevcut duruma göre oldukça homojendir.

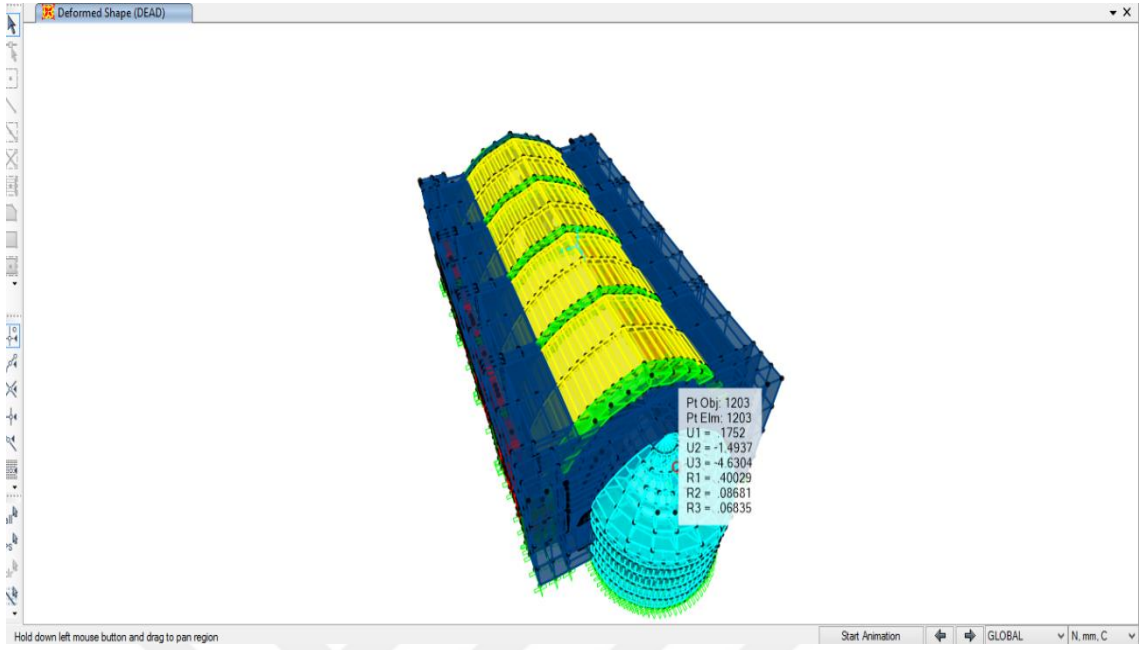


Şekil 4.7 Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda 246 ve 253 Nolu Elemanların Gösterimi

Çizelge 4.3 Apsisli Yapıya Ait Zati Yük Etkisi Altında Oluşan Maksimum Eksenel Gerilmeler (S33)

Yapı Elemanı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Tonoz	0,392	4,960	0,053	0,496
Kemer	0,242	1,390	0,018	0,139
Sütun	0,208	4,410	0,055	0,442
İç Kemer	0,452	7,330	0,318	0,733
Dış Cephe	1,22	6,120	0,426	0,610
Şapel	0,169	1,390	0,018	0,139

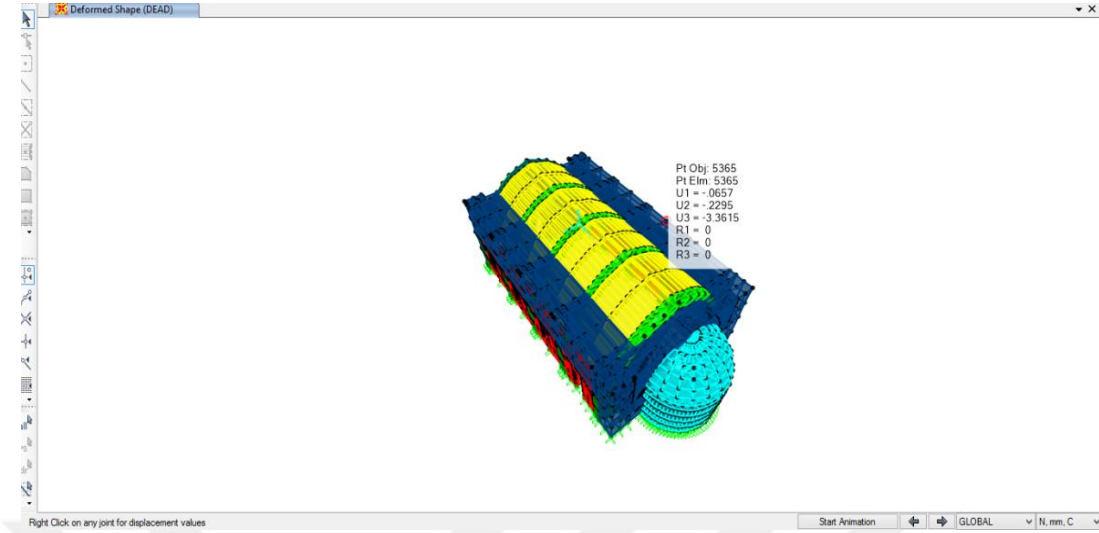
Apsisin varlığını kabul eden modelde, yapı özağırlığı etkisinde hesaplanan en büyük gerilme değerleri, eleman bazında Çizelge 4.3'deki belirtilmiştir. Yapıda oluşan iç kuvvetler neticesinde elde edilen değerlere baktığımızda oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin hiçbiri hesaplanan dayanım değerlerini aşmamaktadır. Sadece zati yükün bulunduğu bu durumda yapı için herhangi bir dayanım problemi yaşanmamaktadır.



Şekil 4.8 Apsis Kısmının Dahil Olduğu Durumda Zati Yük En büyük Çökme Değeri

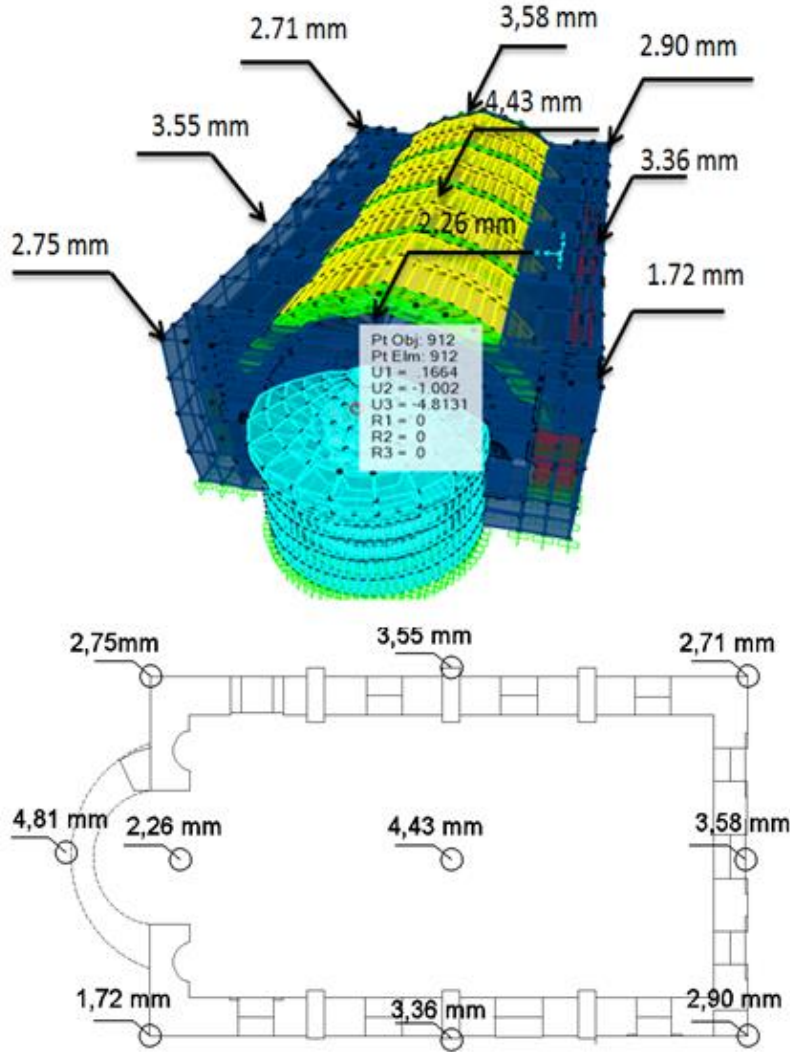
Apsisli mevcut durumda elde edilen yer değiştirme değerlerine bakıldığında apsisin en üst tepe noktasında 4.81 mm düşey çökme hesaplandığı görülmektedir (Şekil 4.8). Bu, sistemde yapının kendi ağırlığı altında hesaplanan en büyük düşey çökme değeridir.

Duvar tepe noktaları incelendiğinde en büyük düşey çökmenin tonozu destekleyen orta kemerin mesnetlendiği duvar bölgesinde 3,36 mm olduğu hesaplanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Apsis Kısımının Dahil Olduğu Durumda Duvar Bölgelerinde Zati Yük En büyük Çökme Değeri

Şekil 4.10' da yapıya ait dış cephede tepe noktalarından alınmış çökme değerleri ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere özet olarak verilmiştir. Yapıdaki duvarlardan kuzeyde apsis kısmında elde edilen çökme değerlerinin 1.72 mm, 2.26 mm ve 2.75 mm aralığında olduğu, güney kısmı olan tam simetriğinde ise 2.71 mm, 3.68 mm ve 2,90 mm aralığında olduğu görülmektedir. Tonoz üzerinde orta bölgede 4.43 mm değeri hesaplanmıştır. Bu düşey çökme sonuçları şunu ifade etmektedir; yapı içerisinde apsis kısmına yakın bölgelerdeki dış cephe elemanlar daha az şekil değiştirmektedir. Yapının simetriğine, güneye doğru gidildiğinde en son noktalarda birim şekil değiştirme artar, ancak özellikle yapının orta bölgesinde tonozda şekil değiştirme direnci daha azdır ve rijitlik nispeten daha düşüktür.



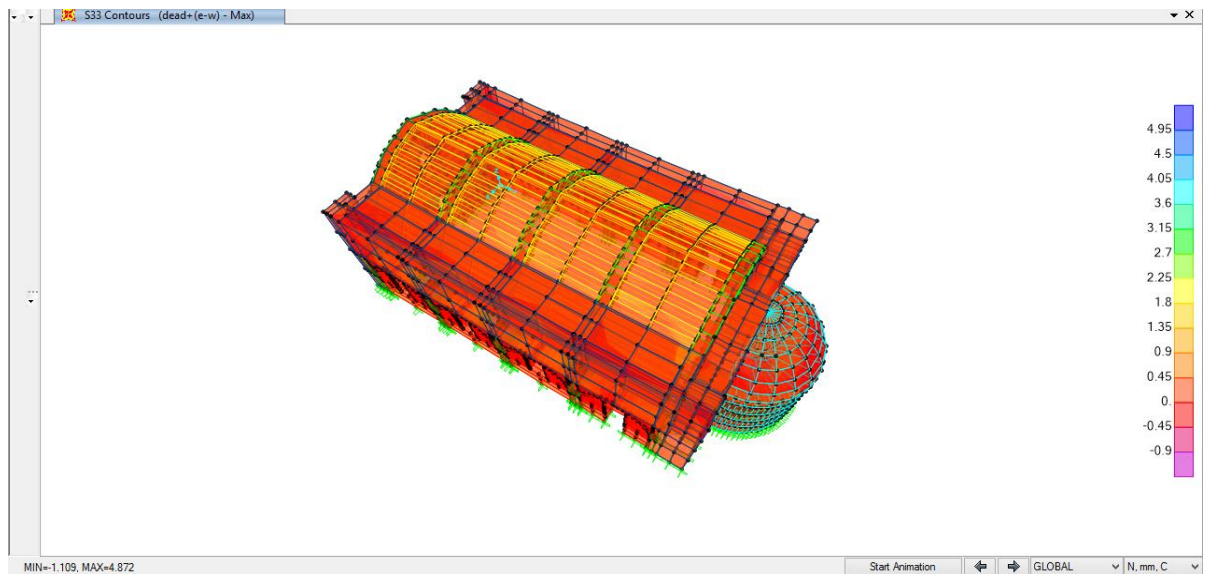
Şekil 4.10 Apsis Dâhil Modele Ait Modelin Zati Yükler Altında Duvar Tepe Noktası Düşey Çökme Değerleri

Yapının hâlihazırdaki mevcut durumu ve apsinin varlığını kabul eden model arasındaki statik analizler neticesinde apsisli modelde düşey çökme değerlerinin daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Dış duvar tepe noktasında hesaplanan en büyük düşey çökme değeri 3.55 mm, $\epsilon = 3.55 / 6850 = 0.00051$ değerinde birim şekil değiştirmeye karşılık gelmekte ve bu değer literatürde önerilen hasar limiti değerlerinin altında kalmaktadır. Buna ek olarak, mevcut durumda en büyük çökme değeri yapının ortasında tonoz üzerinde ölçülmesine karşılık, apsisli modelde tam da apsis üzerinden

ölçülmüştür. Apsisli modelde en büyük düşey çökme değeri 4,81 mm (apsis üst örtüsü/yarım kubbe tepe noktası) olarak hesaplanmıştır. Yine apsisde zati yüklere bağlı oluşan birim şekil değiştirme oranı $\varepsilon = 4,81 / 6300 = 0.00076$ olmaktadır. Bu değer benzer şekilde belirlenmiş olan sınır değerinin altında kalmaktadır ve apsisli durumda yapıda herhangi bir stabilite problemi yaşanmadığı anlaşılmaktadır,

4.2.3 Apsisli Modele Ait Dinamik Analiz Sonuçları

Bu çalışmanın temel gayesi kilisenin apsis kısmının deprem etkisinde yıkılıp yıkılmadığının teknik açıdan incelenmesidir. Bu amaçla, kurgusal olarak apsis eklenen yapısal model üzerinde 1992 Erzincan Depremi ivme kayıtları (güney-kuzey, doğu-batı ve yukarı-aşağıya) kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Dinamik analiz neticesinde hesaplanan maksimum aksenal gerilme dağılımı Şekil.4.11’de verilmiştir. Elde edilen dağılım, aksenal gerilmelerin iç kemerlerde ve dış cephede yoğunlaştığını ifade etmektedir. Söz konusu gerilmeler nispeten azalarak tonozlarda ve daha az miktarda diğer yapı elemanlarında hesaplanmaktadır.



Şekil 4.11 Apsisli Modele Ait 1992 Erzincan Depremi Davranışındaki Maksimum Gerilme Dağılımı (S33)

Yapı elemanı bazında ise en fazla aksenal gerilme iç kemerlerde ve dış cephe elemanlarında oluşmaktadır. Analizden sayısal olarak elde edilen en büyük basınç gerilmesi 6.36 MPa olarak (253 no'lu solid elemanda) dış cephede nişlerin üzerinde oluşmaktadır. Dış cephede hesaplanmış olan basınç dayanım değeri ise 6.12 MPa olmaktadır. Bunun sonucunda nişlerde ve nişlere yakın dış cephe elemanlarının hasar almış olabileceği ifade edilebilmektedir. Bundan sonra en büyük gerilmeler dış cephede nişlerin üzerinde ve iç kemerlerin en üst kısımlarında oluşmaktadır. Bu basınç gerilmesi aralığı ise 5 MPa ve altı olarak tespit edilmiştir. Hesaplamalarda iç kemer için biçilen basınç dayanım değeri ise 7.33 MPa olmakta ve oluşan gerilme değerleri de bu rakamın altında kalmaktadır. İç kemerlerde üstten dış cephe elemanı ile birleşim bölgesi nişlerden sonra en çok gerilmeyi alan kısmı oluşturmaktadır. Bu değer ise en fazla 5.12 MPa olarak elde edilmiştir. Tonozlardaki basınç gerilmesine bakıldığında orta ve üçüncü kemeri oluşturan kısımda ne büyük gerilmelerin yoğunlaştığını söylemek mümkün olmaktadır. Bu bölgeden sonra kuzey yönünde ilk kemer çevresinde gerilmelerin yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Tonozlarda oluşan en fazla basınç gerilmesi değeri ise 1.83 MPa olmaktadır ki; bu değer yine tonozlar hesaplanmış 4.96 MPa basınç dayanım değerinin altında kalmaktadır.

Sütunlarda basınç gerilmesinin maksimum 0.78 MPa değerine ulaştığı hesaplanmıştır. Sütunlarda güneyden itibaren ikinci kemerin olduğu kısımlarda bu gerilmelerin oluştuğu gözlenmiştir. Bu değer sütunların sahip olduğu basınç dayanım değeri olan 4.41 MPa 'ın yine çok altında kalmaktadır. Kemerler ve apsis için belirlenen basınç dayanım değeri 1.39 MPa olmasına karşılık bu kısımlarda oluşan basınç gerilmesi de en az değerlerde elde edilmektedir. Kemerlerde güney cepheden itibaren ikinci kemerde yoğunlaştığı, 0,17 MPa değerine ulaşmaktadır. Apsiste ise dış cepheye yakın olan bölgelerde gerilme artmakta ve maksimum 0.34 MPa değerine ulaşmaktadır. Bu değer ise hesaplanan basınç dayanımı değerinin altında kalmaktadır. Hesaplanan maksimum gerilme değerleri özet olarak Çizelge 4.4'de verilmiştir.

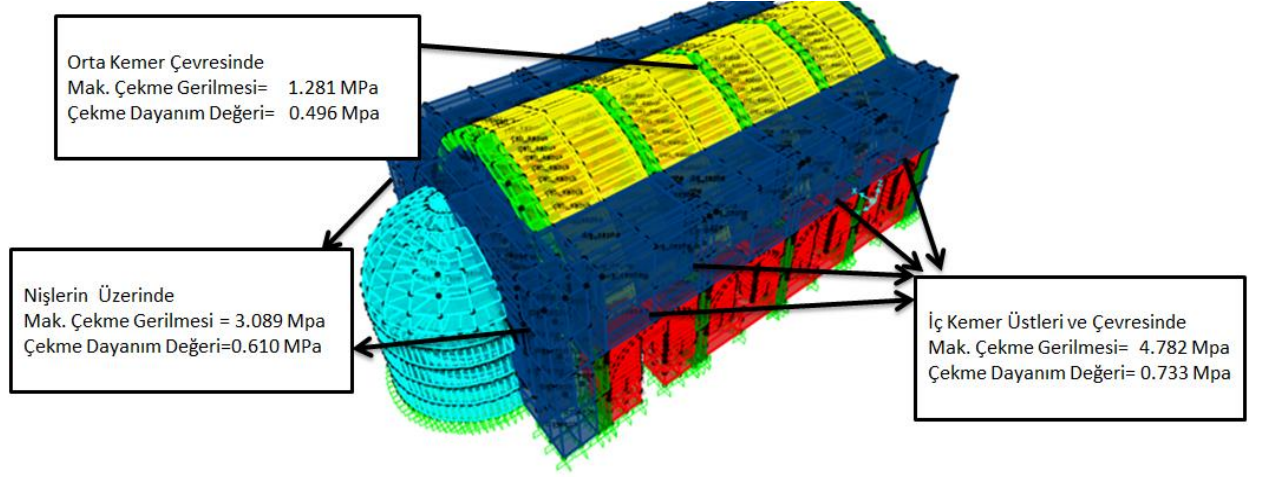
Çizelge 4.4 Uygulanan Depremde Hesaplanan Maksimum Eksenel Gerilmelerin Karşılaştırılması

Yapı Elemanı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Tonoz	1,828	4,960	1,281	0,496
Kemer	0,170	1,390	0,140	0,139
Sütun	0,777	4,410	0,088	0,442
İç Kemer	5,118	7,330	4,782	0,733
Dış Cephe	6,361	6,120	3,089	0,610
Apsis	0,337	1,390	0,0316	0,139

Çekme gerilme değerleri özellikle binanın kısa doğrultusu olan doğu-batı yönünde uygulanan deprem için yoğunlaşmaktadır. Çekme gerilmelerinin en fazla iç kemerlerde üst kısımlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu değer 4.78 MPa gibi bir değere ulaşmaktadır ve hesaplanan 0.73 MPa dayanım değerinin üstünde kalmaktadır. Dolayısıyla da çekme gerilmelerine bağlı olarak iç kemerlerin üst kısımlarında hasar oluşmuş olması beklenebilir. Bu durum tek bir iç kemerin sadece bir yerinde cereyan etmemektedir, iç kemerlerin tamamına yakınında çekme dayanımını aşan bölgeler bulunmaktadır.

Dış cephede oluşan maksimum çekme gerilmesi, yine nişlerin üzerinde 3.09 MPa 'dan başlamak üzere azalmaktadır. Bu rakam ise yine hesap sonucu elde edilmiş olan çekme dayanımı olan 0.61 MPa'nın çok üzerindedir. Yine nişlerde de iç kemerlerdekine benzer şekilde hasar aldığı ve çatlaklar oluşmuş olabileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

Şekil 4.12’de yapı üzerinde çekme gerilmelerini aşan bölgeler ve hesaplanan değerler gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Yapı Üzerinde Çekme Gerilmelerini Aşan Bölgeler Ve Hesaplanan Değerler

Çizelge 4.5 Apsisli Model Dinamik Analizi Sonucunda Elde Edilen Gerilme Dağılımlarının Karşılaştırılması

Yapı Elemanı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
	Mevcut Durum		1992 Depremi ve Apsis Birlikte			
Tonoz	1,170	0,415	1,828	1,281	4,960	0,496
Kemer	0,274	0,047	0,170	0,140	1,390	0,139
Sütun	0,209	0,048	0,777	0,088	4,410	0,442
İç Kemer	0,453	0,314	5,118	4,782	7,330	0,733
Dış Cephe	1,436	0,396	6,361	3,089	6,120	0,610
Apsis	-	-	0,337	0,0316	1,390	0,139

Tonozlarda orta kemer çevresinde yoğunlaşan çekme gerilmesi en fazla 1.28 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer tonoz için hesaplanan çekme dayanımı değeri 0.496 MPa’ nın üzerindedir. Bu değer lokal olarak alınmıştır, ancak oluşan gerilme değeri hesaplanan dayanımın üç katı kadar aşmaktadır. Bu olay ise tonozun yaşanan

depremde lokal de olsa hasar almış olabileceğini; onarılması gereken çatlaklar oluştuğu kısmi yıkılmalar gerçekleşmiş olabileceği sonuçlarını doğurmuştur.

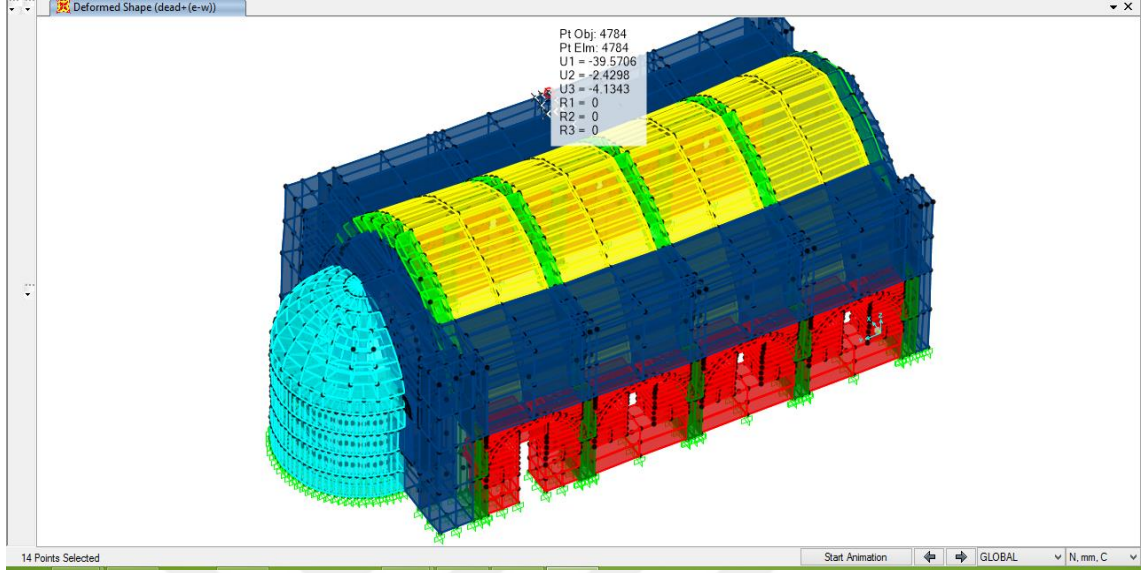
Kemer ve sütunlarda sırasıyla oluşan en büyük çekme gerilmesi 0.140 MPa ve 0.088 MPa olarak elde edilmiştir. Bu elemanların çekme dayanımı kemerde 0,139 MPa ve sütunda 0.442 MPa olarak hesaplanmış olmakla birlikte hesaplanan en büyük çekme gerilmeleri sınır değerlerin altında kalmaktadır. Yapısal analizde hesaplanan maksimum çekme gerilmelerinin en küçük değerlerine apsis kısmında hesaplandığı görülmektedir. Apsiste oluşan en büyük çekme gerilmesi 0.032 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer, teorik hesap sonucu bulunan 0.139 MPa değerindeki çekme dayanımının altında kalmaktadır.

Yukarıda detaylı bir şekilde açıklanan basınç-çekme gerilmeleri ve bunları karşılayacak olan basınç-çekme dayanımları, yapının deprem davranışı hakkında bilgi vermektedir. Karşılaştırmalı olarak gerilme dağılımları çizelge 4.5’de özetlenmiştir. 1992 Erzincan Depremi davranışında, hesaplanan basınç gerilmesi için yapıda herhangi bir yıkım olmayacağı öngörülmektedir. Ancak özellikle dış cephe elemanlarından nişlerin üzerinde ciddi zorlanmalar olması düşünülebilir. Yine aynı deprem için çekme gerilmesi davranışına bakıldığında, dış cephe, iç kemer ve tonozlarda hesaplanan çekme dayanımı değerlerinin üzerinde olan elemanların olduğu anlaşılmaktadır. Bu elemanların bina genelindeki dağılımına bakıldığında yaklaşık %15 oranında olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç ise 1992 Erzincan Depremi büyüklüğünde bir depremde yapının çekme gerilmeleri nedeniyle kısmi yıkılmalar veya ağır hasar mertebelerinde, ciddi hasar almış olabileceği anlamına gelmektedir. Burada şu da ifade edilmelidir ki, 1992 Erzincan Depremi’ni mevcut yapı yaşamıştır. Ancak bu depremde tarihi kilise dâhil Değirmenliköy’ de hiçbir yapı zarar görmemiştir. Analizde kullandığımız kayıтта ise kilisenin deprem merkezi çok yakında olduğu varsayımının yapıldığı kabulü bulunmaktadır.

Tarihi yapıya ait kuzey yönde daha önce varlığı bilinen apsis kısmı, mevcut bina üzerinde bulunmamaktadır. Ancak ilk yapımında var olduğu mevcut yapıya bakıldığında anlaşılmaktadır ve arşiv kayıtlarında da bu durum doğrulanmaktadır.

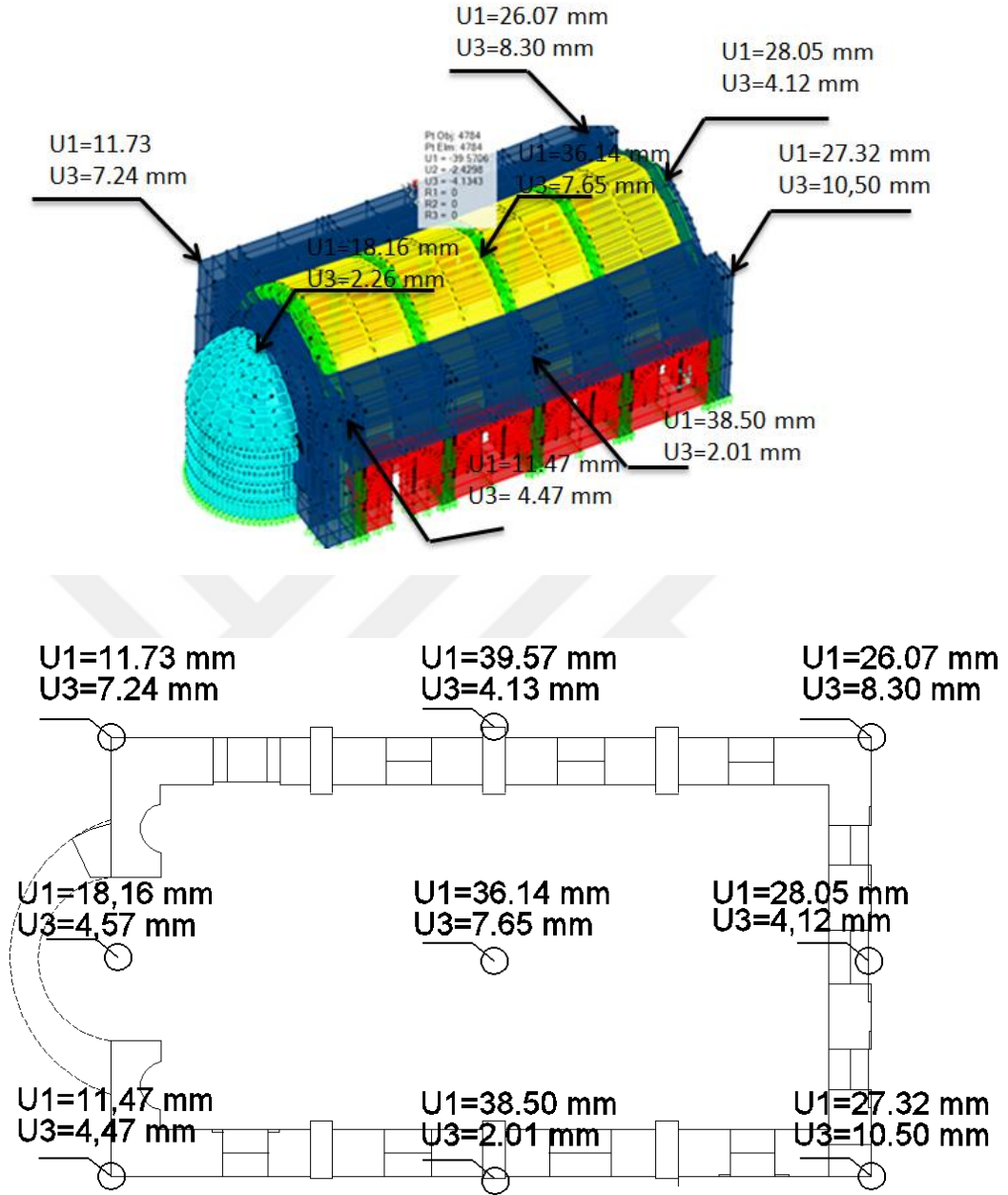
Yapıyla ilgili elde edilen verilerde bu kısmın 1939 Erzincan Depremi'nde yıkıldığı varsayılmaktadır. Apsisin yapısına baktığımızda en kuvvetli bilgi, apside ait yaklaşık 1 metrelik mesafede bulunan taşın, bu kısımda bina içerisinde en zayıf yapı birimi olan tüfleşmiş kireç taşından oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Zemin bağlantısı ile ilgili herhangi bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada zemin ile apsinin ankastre bağlantı şeklinde ele alınarak, analizde bu şekilde tanımlama yapılmıştır. Yapı analizinde apside ait en büyük gerilme dış cephede elde edilmektedir. Apsis içerisinde de en fazla gerilmeler nişlere yakın dış cephe elemanı ile apside yakın kısımlarda oluşmaktadır. Burada oluşan en fazla basınç gerilmesi 0.34 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu ise basınç dayanımı olarak hesaplanan 1.39 MPa'nın çok altında kalmaktadır. Çekme gerilmelerine bakıldığında ise en fazla çekme gerilmesinin 0.032 MPa ile teorik olarak hesaplanan 0.14 MPa çekme dayanımı değerinin altında kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla kayıtlarda geçtiği gibi tarihi yapıya ait apsinin 1939 Erzincan Depremi'nde yıkılmamış olacağı netice ve kanaatine varılmış olmasına karşılık, mevcut bina bağlantısı olan nişlerde oluşan gerilme yığılmaları, dolayısıyla oluşan hasarlar yapı-apsis bağlantı noktalarında ayrılmalara neden olmuştur. Yine apsinin bağlantısı olan nişlere ait dış cephede bina içerisindeki en büyük gerilmelerin oluştuğu anlaşılmaktadır. Buna ilave olarak da nişlerin olduğu bölümlerde gerilme yığılmaları olması ve apsis ile nişleri bağlayan taşlar arasında bağlantı hatalarının olması gibi bir durumun olabileceği düşünülmektedir. Depremde hasar görmemiş olsa bile, apsis-yapı arasındaki bağlantıda oluşmuş olan hasarın zaman içerisinde ilerlemiş olması ve apsinin yapıdan ayrılması ile sonuçlanmış olması da muhtemeldir.

Yapının dinamik analizi neticesinde hesaplanan yer değiştirme değerleri de incelenmiştir. Kilisenin orta kemerinin olduğu bölgede dış cephede duvar tepe noktasından alınana en fazla yatay deplasman değeri U1 (doğu-batı) yönünde ve 39.57 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.13). Bu sonuç ilerleyen bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.13 1992 Erzincan Depremi En Büyük Yatay Deplasman Değeri

Yapının köşe noktalarında hesaplanan tepe yer değiştirmeleri ise Şekil 4.14 'de özet olarak verilmiştir. Apsis dahil olarak oluşturulmuş olan bina modelinde deprem uygulandıktan sonra elde edilen deplasman değerleri ile mevcut yapı yükünde elde edilmiş olan deplasman değerleri karşılaştırıldığında, beklendiği üzere, yanal deplasmanlarda artış görülmüştür. Zati yük halinde yatay öteleme değerleri ihmal edilebilecek düzeyde olmasına karşılık, deprem uygulandığında bu değerlerin büyük rakamlara ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.14 Deprem Uygulanan Durumda Apsisli Model Tepe Deplasmanı Değerleri

Dinamik analiz sonucunda hesaplanan düşey çökme değerlerine bakıldığında bu değerlerin de zait yük durumuna kıyasla arttığı söylenebilmektedir. Uygulanan deprem neticesinde elde edilen maksimum çökme değeri ise 10.50 mm değerine ulaşmaktadır. Aynı bağınıttan kısalma oranı $\epsilon = 10.50 / 7350 = 0.0014$ değerine ulaşmaktadır ki; bu değer literatürde önerilen hasar sınırının (0.0006) üzerinde bir değerdir.

Dinamik analizler neticesinde en büyük yatay yer değiştirmelerin yapının kısa doğrultudaki ivme kaydı etkisindeki analizinden elde edilmiştir. Bu değerler bina üzerinde ise x yönünde - doğu-batı doğrultusunda hesaplanmaktadır. En büyük yatay yer değiştirmeler tam binanın orta noktasındaki kemere yakın bölgelerde oluşmaktadır. Bu bölgede bulunan tonoz, kemer ve dış cephede bu değerleri okumak mümkün olmaktadır.

Elemanlar açısından oluşan deplasman değerlerine bakıldığında en fazla yer değiştirme değeri gerilme dağılımının da fazla olduğu dış cephede oluşmaktadır. En büyük yatay yerdeğiştirme dış cephede 39.57 mm değerine ulaşmaktadır.

Yatay öteleme değerleri ile ilgili sınır koşullarına bakıldığında, Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de minimum hasar sınırı, güvenlik sınırı ve göçme sınırı olmak üzere üç farklı aşama için şartlar tanımlandığı görölmektedir. Yapının herhangi bir katında görel kat öteleme değerleri minimum hasar sınırı için 0.01, güvenlik sınır için 0.03 ve göçme sınırı için 0.04 olarak öngörölmüştür. Ancak bu oran Önal vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada yığma duvarda kat yüksekliğinin 1 / 250 (0.004) oranında öteleme oluşursa bunun duvarda çatlamalara neden olduğunu söylemektedir. Bu değer aşıldığında yatay yükün tesiri ile yapı elemanları birbiri üzerinde kaymaya başlar ve bundan sonra düşey yükte kırılmaya başlamaktadır, bu çatlaklar duvar düzlemine dik yönde gelişmektedir.

Bu çalışmada elde edilen en büyük yatay görel kat öteleme oranı $\delta_{ji} / h_{ji} = 39.57 / 6850 = 0.0057$ olarak dış duvarlarda elde edilmiştir (yüzde olarak $39.57 / 6850 * 100 = \%0.57$). Bu değer ise yukarıda değilinilen 0.004 sınır değerinin üzerinde oluşmaktadır. Aşılan öteleme değeri ise dış duvarlarda deprem neticesinde çatlakların oluşması ve hasar almış olabileceği anlamına gelmektedir. Bu değerden sonraki en fazla yatay yer değiştirme tonozlarda ve kemerlerde 36.00 - 38.00 mm'lere kadar ulaşmaktadır. Burada ise elde edilen görel kat öteleme değeri $\delta_{ji} / h_{ji} = 36.00 / 7350 = 0.0048$ olarak elde edilmektedir ve bu bölgede de yığma yapılar için sınır öteleme değeri olan 0.004'ü aşmaktadır. Dolayısıyla yapıda oluşan öteleme değerlerine

baktığımızda binanın orta kısmında dış cephe, tonoz ve kemerlerde ciddi çatlakların oluştuğu ve özellikle bu bölgelerde göçmelerin yaşandığı söylenebilmektedir.

İç kemerin üst kısımlarında 25.8 mm olarak ve sütunlarda yine üst kısımlarda 25.65 mm olarak yatay öteleme oluşmaktadır. Buradaki görelî öteleme değeri $\delta_{ji} / h_{ji} = 25.8 / 3450 = 0.0074$ olarak elde edilmiştir. Bu değeri yapı içerisinde en yüksek görelî kat ötelemesi olarak hesaplanmıştır. Sınır değeri olan 0.004'ün oldukça üzerindedir. Sonuçta iç kemerlerde elde edilen öteleme sonucuna göre yapıda göçmeler yaşanmıştır, ana arterlerde ciddi ayrılmalar ve yıkılmalar gerçekleşmiştir. Buna karşılık apsiste oluşan en fazla yer değıştirme ise yatay yönde 14.14 mm olarak belirlenmiştir. Bu değeri $\delta_{ji} / h_{ji} = 14.14 / 6300 = 0.0022$ olarak sınır değerinin oldukça altında olmakta ve apsistin kendi içerisinde herhangi bir çatlak oluşmadığı yorumunun yapılmasına imkan sağlamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİ

Bu tez çalışmasında tarihi bir yapının yapısal analizi yapılmış ve deprem davranışı incelenmiştir. Ele alınan yapı Erzincan İlinde, merkez köylerinden Değirmenliköy'de 18-19 yüzyılda Ermeniler tarafından ibadet amacıyla yapılan kilisedir. Arşiv kayıtlarında kilisenin 1939 Erzincan Depremi'nde apsis kısmının yıkıldığı bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgi yer yer köy halkı tarafından da ifade edilmektedir. Söz konusu yapının yapısal incelemesine ilişkin literatürde herhangi bir çalışmaya erişilememiştir. Bu tez çalışmasında Erzincan Değirmenliköy Kilisesi' nin mevcut hali ve kurgusal olarak apsisin eklendiği modelleri kullanılarak ile 1939 yılında yaşamış olduğu deprem davranışı incelenmeye çalışılmış apsis bölümünün 1939 Erzincan Depremi' nde yıkılıp yıkılmadığı konusunda kestirimler yapılmaya çalışılmıştır. Bunun sonucunda;

- Yaşanan deprem sonucunda bina çekme gerilmelerinden kaynaklı hasarlar almaktadır ve göçmeler söz konusudur. Bu hasarın, yapı elemanlarında çekme dayanımını yaklaşık %15 mertebelerinde aşmasının neden olduğu söylenebilmektedir. Sonuçta yapı ağır derecede hasarlar alabileceği ve özellikle iç kemer, tonoz ve dış cephede göçmelerin ve yıkılmaların olacağı tespiti yapılmıştır.

- Yapıda deprem sonucu elde edilen yatay öteleme değerlerine bakıldığında gerilme davranışıyla benzer sonuçlar alınmıştır. Özellikle iç kemerde, tonozda ve dış cephede orta kemere yakın bölgelerde görelî öteleme değerinin yığma yapılar için sınır şartını aşmıştır. Bu sonuç ile aynı şekilde deprem neticesinde iç kemerlerin üzerlerinde ve tonozun orta bölgelerinde göçmeler olacağı, dış cephede derinlemesine çatlakların oluşacağı, yapı genelinde yıkılmaların meydana geleceği dolayısıyla yapının ağır hasar alacağı öngörülmektedir. Her ne kadar kayıtlarda rastlanmamış olsa da; yapı duvarlarının üst bölgeleri dikkatle incelendiğinde, farklı taş kullanımından hareketle, yapının bir onarım-takviye işleminden geçirilmiş olmasının

muhtemel olduğu ifade edilebilmektedir. Bununla birlikte, apsisde hesaplanan yatay öteleme değerleri hasar oluşmamış olacağına işaret etmektedir.

- Elastisite modülleri tonozlarda $200 f_d$, kemer-sütun-dış cephede ortak olarak $41 f_d$ ve iç kemerlerde $27 f_d$ değerlerinde alındığında yapının teorik ve deneysel olarak elde edilen modal frekans ve mod şekilleri büyük oranda örtüşmektedir. Zira tonozlarda göçme olduğu ve sonrasında yeniden yapıldığı öngörülmektedir, bu nedenle de tonozlarda elastisite modülünde kayıp olmamıştır. Kemer-sütun-dış cephede bozulmalar vardır ve iç kemerlerde ise buna ilave olarak tahrip edilmiştir. Öyle ki; bazı taşların yerinden oynatıldığı anlaşılmaktadır.

- Özellikle tahrip olmuş bölümler içeren tarihi yapılarda elastite modülü belirlenmesi çalışması sadece dayanım kriterine bakılarak yapılmamalıdır. Dayanım önemli bir parametredir ancak başka bir parametrik fonksiyona ihtiyaç vardır. Çünkü bir yapıda dayanım yaklaşık olarak gücü temsil etmesine karşılık, elastisite modülü güce ilave olarak kabiliyeti de ifade etmektedir. Burada kabiliyet ifadesi; yer değiştirebilme, malzemeler arasında bağlantı durumu, işçilik kalitesi ve bozunma derecesi gibi kavramları içermektedir.

- Malzeme dayanımları belirlenirken test (Schmidth) çekici boşluklu malzemelerde ve vuruş değeri takriben 20 değerinin altında olan taş malzemelerde kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Bu çalışmada tarihi yapıdan kopmuş bir kayaç üzerinde dayanım testi yapmak mümkün olmuştur. Ancak, bu her zaman olası bir durum değildir ve tarihi yapılarda kullanılan taş malzemenin en azından basınç dayanımının tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi gereklidir. Bu durumda, Schmidt çekici yöntemi en pratik yöntem gibi duruyor olsa da Schmidth çekici okumalarının kayaç basınç dayanımına dönüşümü için kullanılacak kalibrasyon bağıntılarının literatürde yetersiz olduğu

görülmüştür. Bu alanda yapılacak çalışmalar ilgili diğer araştırmalara büyük katkı sağlayacaktır.

- Yapılan analizler neticesinde apsis gövdesinde malzeme dayanım değerlerini aşan gerilmeler hesaplanmamış; ancak apsisin yapıya bağlandığı bölgelerde, nişlerin üzerinde hesaplanan gerilmelerin belirlenen malzeme dayanımlarından fazla olduğu ve özellikle çekme gerilmelerinden kaynaklı hasarın oluşmuş olabileceği ve apsis-dış cephe bağlantılarında ayrılmaların yaşanmış olabileceği netice ve kanaatine varılmıştır. Bu durum, yapının apsis kısmının depremde yıkılmamış olsa da apsis-yapı birleşimindeki hasarın zaman içerisinde ilerleyerek apsis yapısının ana gövdeden ayrılmış ve yok olmuş olabileceği kanaatine ulaşılmıştır.

- Ermeni mimari geleneğinde kilise yapısında apsis bölümünün belirgin olarak inşa edildiği bilgisi mevcuttur. Yapıda yerinde yapılan incelemede gerek yapı gövdesinde gerekse zeminde apsise ait olan bağlantı izleri görülmüştür. Bununla birlikte, apsis gövdesine ait bir bilgi ya da görsele erişim mümkün olmadığından bu bölüm izlere ve Ermeni mimari üslubuna mümkün olduğu kadar sadık kalınarak kurgusal olarak oluşturulmuştur. Orijinal apsis yapısından farklılıkları olması kuvvetle muhtemeldir. Çalışma değerlendirilirken bu hususun dikkate alınması önemlidir.

- Çalışmanın başında 1939 Erzincan Depremi ivme kayıtları kullanılarak yapısal analizler yapılması planlanmış olsa da böyle bir kaydın olmayışı araştırmanın 1992 Erzincan Depremi kayıtları kullanılarak yapılması yoluna gidilmesi tercih edilmiştir. Çalışma değerlendirilirken bu hususun göz önünde bulundurulması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Alaboz, M., 2009. Dynamic Identification and modal updating of S.Torcato Church. Yüksek Lisans Tezi, Minho Üniversitesi, Minho, Portekiz.
- Altunışık, A.C., Adanur S., Genç A.F., Günaydın M. and Okur F.Y., 2016. Non-destructive testing of an ancient Masonry Bastion . Journal of Cultural Heritage, 6-12.
- Anadut, H.O., 2016. Tarihi yapıların dinamik davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat, Türkiye.
- Aras, F., Krstevska L., Altay G. And Tashkov L., 2011. . Experimental and numerical modal analyses of a historical masonry palace. Construction and Building Materials, 25, 81-91.
- Artemis Modal Pro V.5.0., Operasyonel Modal Analiz Programı, Erzurum Teknik Üniversitesi, 2017.
- Asteris, P.G., Chronopoulo, M.P., Chrysostomou, C., Varum, H., Plevris, V., Kyriakides, N., and Silva V., 2014. Seismic vulnerability assessment of historical masonry structural systems. Engineering Structures, 62 118-134.
- Bayraktar, A., Altunışık A.C., Türker T. and Sevim B., 2007. Tarihi köprülerin deprem davranışına sonlu eleman model iyileştirilmesinin etkisi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 29-40.
- Bayraktar, A., Altunışık A.C., Sevim B., Türker T. and Birinci F., 2010a. Tarihi yapıların deprem güvenliklerinin tahribatsız deneysel yöntemlerle belirlenmesi. İmo Teknik Dergi, 12-22.
- Bayraktar, A., Türker T., Altunışık A.C., Sevim B., Şahin A. Özcan D.M., 2010b. Binaların dinamik parametrelerin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. İmo teknik dergi, 337, 5185-5205.
- BBC, Bangladesh Building National Code, 2012, Part 6.
- Betti M., and Vignoli A., 2008. Modelling and analysis of a Romanesque church under earthquake loading: Assessment of seismic resistance. Engineering Structures, 30, 352-367.

- Brencich, A., and Sabia D., 2008. Experimental identification of a multi span masonry bridge: Tanaro Bridge. *Construction and Building Materials*, 22, 2087-2099.
- Brincker, J.S., Zang, L. Ve Andersen P., 2000. Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition. 18th International Modal Analysis Conference, San Antonio, USA, 4062, 2, 625-630.
- Celep, Z., 2014. Yapı Dinamiği. Yazarın kendi yayını, İstanbul, Türkiye.
- Casolo, S., and Sanjust, C., A., 2009. Seismic analysis and strengthening design of a masonry monument by a rigidbody spring model: The "Maniace Castle" of Syracuse. *Engineering Structures*, 31, 1447-1459.
- Chauhan, S., 2008. Parameter estimation and signal processing techniques for operation modal analysis. Doktora Tezi, Cincinnati Üniversitesi, Ohio, USA.
- Costa, C., Arede A., Costa A., Caetano E., Cunha A and Maga., 2015. Updating Numerical Models of Masonry Arch Bridges by Operational Modal Analysis. *International Journal of Architectural Heritage*, 760-774.
- Costa, C., Ribeiro D., Jorge P., Arede A. and Calçada R., 2016. Calibration of the numerical model of a stone masonry railway bridge based on experimentally identified modal parameters. *Engineering Structures*, 123, 354-371.
- Cunha, A., Caetano E., Magalhaes F and Moutinho C., 2006. From input output to output only modal identification of civil engineering structures. *SAMCO, Structural Assesment Monitoring and Control*, 1-22.
- Çalık, İ., Bayraktar A., Türker T. and Karadeniz H., 2014. Structural dynamic identification of a damaged and restored masonry vault using ambient vibrations. *Measurement*, 462-472.
- Çelebi, M., Eeri M., Sanli A., Sinclair M., Gallant S., and Radulescu D., 2004. Real-Time seismic monitoring needs of a building owner and solution: A cooperative effort. *Eartquake Spectra*, 20 (2), 333-346.
- Chopra, A.K., 2001. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Eartquake Engineering*. Prentice Hall, Nex Jersey, USA
- Dabanlı, Ö. ve Çılı F., 2015. Tarihi yığma yapılarda operasyonel modal analiz yöntemiyle dinamik parametrelerin belirlenmesi: Nur-u Osmaniye Camii Örneği.

- Beşinci Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 341-350.
- Diaferio, M., Foti D., Mongelli M., Giannoccaro and Palle Andersen., 2011. Operational modal analysis of a historic tower in Bari. Part of the series conference proceeding of the experimental mechanics series, 335-342.
- Doğan, M., 2007. Yapıların Deprem Analizi. Yazarın kendi yayını, Eskişehir, Türkiye.
- Eurocode 6 : Design of masonry structures, 1995 . Part 1.1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. European Committee for Standardization, ENV 1996-1-1:1995.
- Foti, D., Diaferio M., Gianoccaro N.I. and Mongelli M., 2012. Ambient vibration testing, dynamic identification and model updating of a historic tower. NDT&E International, 47, 88-95.
- Gentile, C and Saisi A., 2006. Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assesment. Construction and Building Materials, 21, 1311-1321.
- Gülkan, P. Yücemem, M.S., Başöz, N. Koçyiğit, A. ve Doyuran V., 1993 En son verilere göre hazırlanan Türkiye Deprem Bölgesi Haritası. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Rapor No: 93-01.
- Gürsoy, H., Akpınar Z., Tatar O., Koçbulut F., Sezen T.F., Mesci B.L., Polat A., Kavak, K.Ş., Tuncer D., ve YamanS., 2006. 1939 Erzincan Depremi yüzey kırığı haritalama çalışmaları Reşadiye Batısı Koyulhisar arası ilk gözlemlere ait bulgular. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, 37-38.
- Haçın, İ., 2014. 1939 Erzincan Büyük Depremi. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 88, 38-69.
- Kömür, M.A. ve Deneme İ.Ö., 2016. Simetrik ve simetrik olmayan üç boyutlu çelik yapıların operasyonel modal analizi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, 64-72.
- Ketin, İ., 1969. Kuzey Anadolu Fayı Hakkında M.T.A Dergisi, 72, 1-25.

- Koçak, A., 1999. Tarihi yığma yapıların statik ve dinamik yükler altında lineer ve non-linear analizi: Küçük Ayasofya Camii örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Lav, A., Erken A., İyisan R. ve Ansal A. 1994. Erzincan'da yerel zemin koşulları ve bunun yapısal hasar üzerindeki etkisi. İmo teknik dergi, 25-37.
- Lourenço, P.B., 1996. Computational Strategies for masonry structures. PhD Thesis Delft University Press, Netherlands
- Lourenço, P.B. and Ramos L.F., 2001. Analysis of Historical Constructions: From Thrust-Lines to Advanced Simulations. Proceedings of the 3rd International Seminar on Historical Constructions, Guimarães, Portugal. 91-116.
- Lourenço, P.B. and Ramos L.F., 2011. Dynamic Identification and monitoring of cultural heritage buildings. WCCE-ECCE-TCCE joint conference 2 seismic protection of cultural heritage, 55-78.
- Mendes, P., Baptista M.A. and Lagomarsino S., 2005. Structural and dynamic analysis of N. Sra. do Carmo Church, Lagos Portugal. EUROLYN, Sixth European Conference on Structural Dynamics. Paris, Fransa.
- Mosalam, K., Glascoe, L. and Bernier, J., 2009, Mechanical Properties of Unreinforced Brick Masonry, Section1, Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-TR-417646, USA.
- Oğuz, C., Türker, F. e Koçkal N. U., 2015, Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Harçlarının Özellikleri, İMO Teknik Dergi, 2015 6993-7013, Yazı 429.
- Önal, M.M. ve Koçak A., 2006. Yapı Hasarları Ve Onarım Ve Güçlendirme Yöntemlerinin Ayrıntıları. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 91-106.
- Osmancıklı, G., Uçak Ş., Turan F.N., Türker T. and Bayraktar A., 2012. Investigation of restoration effects on the dynamic characteristics of the Hagia Sophia bell-tower by ambient vibration test. Construction and Building Materials, 29, 564-572.
- Özçelik, Ö., Mısır İ.S. ve Yücel U., 2013. Model bir yapının hasar tanımlaması ve model sarsıcı etkileşiminin azaltılması için kullanılan offline iterasyon tekniği. İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1-8.

- Özkaya, G.S., Kazaz İ. ve Okuyucu D., 2015. Kemerli yığma köprünün sismik davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. Beşinci Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 43-57.
- Özkul, M., 2016. Tarihi bir yapının deneysel modal analiz ile yapısal güvenliğinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.
- Özmen, B., 2012. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51, 43-55.
- Ramos, L.F., 2007. Damage identification on masonry structures based on vibration signatures. Doktora Tezi, Minho Üniversitesi, Minho, Portekiz.
- Ramos, L.F., De Roeck G., Lourenço P.B. and Campos-Costa A., 2010a. Damage identification on arched masonry structures using ambient and random iMPact vibrations. Engineering Structures, 32, 146-162.
- Ramos, L.F., Marques L., Lourenço P.B., De Roeck G., Campos-Costa A and Roque J., 2010b. Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: Two case studies. Mechanical Systems and Signal Processing, 24, 1291-1305.
- Ramos, L.F., Alaboz M., Aguilar R., and Lourenço P.B., 2010c. Dynamic Identification and FE updating Updating of S. Torcato Church, Portugal. IMAC-XXVIII a conference and exposition on structural Dynamics, Sao Paulo, Brezilya.
- SAP2000, V16, Yapısal Analiz Programı, Erzurum Teknik Üniversitesi, 2017
- Saisi, A., Gentile C. and Guidobaldi M., 2015. Post-earthquake continuous dynamic monitoring of the Gabbia Tower in Mantua, Italy. Construction and Building Materials, 101-112.
- Sevim, B., 2010. Kemer barajların dinamik davranışlarının sonlu eleman ve deneysel modal analiz yöntemleriyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye.
- Simões, A., Gago, A., Lopes, M., and Bento, R., 2012., Characterization of Old Masonry Walls: Flat-Jack Method, 15 WCCE, Lisboa, Portugal.

- Soyöz, S., Taciroğlu E., Orakçal K. and Luş H., 2011. Depreme karşı güçlendirme öncesi ve sonrasında bir binanın dinamik özelliklerinin deneysel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. Birinci Türkiye Deprem ve Sismoloji Konferansı, 1-8.
- Su, Bahadır., 2017. Çağlayan Mevkiinde Yapılan Jeolojik etüt raporu.
- Şafak, E., 2007. Yapı titreşimlerinin izlenmesi: Nedir, Neden yapılır, Nasıl yapılır ve ne elde edilir. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 285-293.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2007.
- URL 1: Agos Gazetesi, [<https://news.am/eng/news/307293.html>], Erişim Tarihi: 23.02.2017
- URL 2: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), [<http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/genAcc.php?dst=TU9EVUxFX05BTUU9ZXZO RmlsZSZNT0RVTEVfVEFTSzlzaG93Jk1PRFVMRV9TVUJUQVNLPUFMTC ZNT0RVTEVfVEFSR0VUPW9sZCZUQVJHRVQ9MTk5MjAzMTMxNzE4MzlfMjQwMiZUQVJHRVRfU0VSSUFMPTI5>], Erişim tarihi: 30.10.2017
- Uçak, Ş., 2012. Tarihi yığma kubbelerin dinamik davranışlarının operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye.
- Yu, D.J., ve Ren W.X., 2005. Based Stochastic Subspace Identification of Structures From Operational Vibration Measurements. Engineering Structures, 27, 1741-1751

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Erzincan'da doğdu. 1991-1996 yılları arasında Erzincan Ziya Gökalp İlkokulunda okudu. Ortaokul ve liseyi 1996-2003 Yılları arasında Erzincan Anadolu Lisesinde okudu. 2004-2008 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Yüksek Lisans Eğitimini 2016-2017 yılları arasında Erzurum Teknik Üniversitesini tamamladı. İş hayatında ise, 2008-2010 yılları arasında özel sektörde, 2011-2015 yılları arasında Erzincan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde çalıştı. 2015 yılında başlayıp, halen Erzincan Üniversitesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.