

**BALIKESİR ERDEK BALLIPINAR KİLİSESİNİN STRÜKTÜREL
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

Doğuhan DAĞLI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BALIKESİR ERDEK BALLIPINAR KİLİSESİNİN STRÜKTÜREL
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

Doğuhan DAĞLI
0000-0002-5569-6717

Doç. Dr. M. Bilal BAĞBANCI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Doğuhan DAĞLI tarafından hazırlanan “Balıkesir Erdek Ballıpmar Kilisesinin Strüktürel Davranışının Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ
0000-0001-9050-4488

Başkan : Doç. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ
0000-0001-9050-4488
Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi,
Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Özlem KÖPRÜLÜ BAĞBANCİ
0000-0003-2335-7371
Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi,
Restorasyon Anabilim Dalı

Üye : Prof.Dr.Nurhayat DEĞİRMENCİ
0000-0001-7996-6139
Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi,
Yapı bilgisi Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21/02/2020

Doğuhan DAĞLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BALIKESİR ERDEK BALLIPINAR KİLİSESİNİN STRÜKTÜREL DAVRANIŞININ
BELİRLENMESİ

Doğuhan DAĞLI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Danışman:Doç. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ

Bu çalışmada; Balıkesir İli, Bandırma İlçesi, Erdek Mahallesi, Ballıpınar Köyü'nde bulunan Ballıpınar Kilisesi'nin duvar dayanımlarının tespiti, operasyonel modal analiz yöntemi ile titreşim testlerinin yapılması, SAP2000 sonlu elemanlar programı yardımı ile modal analizleri ve zaman tanım alanında hesap yöntemi ile deprem analizleri yapılarak yapının gelecek kuşaklara güvenle aktarılabilmesi için öneriler sunulmuştur.

Birinci bölümde kültürel miras, mimari miras kavramları, tarihi yığma yapıların strüktürel davranışları belirleyebilmek için yapılan testler ile konunun amaç, kapsam ve yöntemi belirlenmiştir.

İkinci bölümde, kaynak araştırması yapılarak geçmişte tarihi yığma yapılarla ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde yığma yapıların yapım sistemleri ve yapımında kullanılan malzemeler ele alınmıştır. Tez konusu olan Ballıpınar Kilisesi ile ilgili genel bilgiler verilerek yapıda gerçekleştirilen deneyler ele alınmıştır. Yapının sonlu eleman modeli hazırlanarak modal analizler sonucunda elde edilen frekans değerleri ile test sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonlu eleman modeli ile zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak yapının deprem davranışları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, yapılan yapısal analizlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Beşinci bölümde, yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler neticesinde sorunların tespiti ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yığma Yapılar, Operasyonel Modal Analiz, Deprem Analizleri

2020, viii + 80 sayfa.

ABSTRACT

MScThesis

DETERMINATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF BALIKESIR ERDEK BALLIPINAR CHURCH

Doğuhan DAĞLI

Bursa Uludağ University
Sciences Institute
Department of Architecture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANI

In this study, Balıkesir province, Bandırma district, Edremit District located in the village of Ballipınar Ballipınar the determination of the strength of the wall of the church, the operational modal analysis method for vibration tests, modal analysis and time history analysis with the help of finite element program SAP2000 earthquake analysis of the structure to be safely transferred to future generations recommendations for are presented.

In the first part, the aim and method of the subject were determined by tests to determine cultural heritage, architectural heritage concepts, structural behavior of historical masonry structures.

In the second section, the research of resources is carried out and studies about historical masonry structures are given in the past.

In the third section, the construction systems of masonry structures and the materials used in their construction are discussed. The experiments carried out in the structure were discussed by giving general information about the ballıpınar Church which is the subject of the thesis. A finite element model of the structure was prepared and the frequency values obtained as a result of modal analysis and the values obtained as a result of the test were compared and the model was calibrated. The earthquake behavior of the structure was studied using the calculation method in the area of time definition with the obtained finite element model.

In the fourth section, the evaluation of the structural analyses was made.

In the fifth section, as a result of the data obtained from the studies, the determination of the problems and suggestions for solutions are presented.

Keywords: Masonry Structures, Operational Modal Analysis, Earthquake analysis
2020, viii + 80 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında ve yüksek lisans eğitimim süresince bana destek olan ve yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. M. Bilal BAĞBANCI' ya ve sevgili eşi Doç. Dr. Özlem KÖPRÜLÜ BAĞBANCI' ya, değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. F. Nurhayat DEĞİRMENCI'ye ve bu çalışmayı destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında beni destekleyen değerli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sevgileriyle ve inançla beni koşulsuz desteklemiş olan anneme, kardeşime ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Doğuhan DAĞLI
21/02/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	2
1.2. Kapsam.....	3
1.3. Yöntem.....	3
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1. Kiliselerin Yapım Sistemleri ve Kullanılan Malzemeler	14
3.2. Yapım Sistemleri.....	15
3.2.1. Temel.....	15
3.2.2. Taşıyıcı Duvar	16
3.2.3. Kemerler.....	16
3.2.4. Tonoz	17
3.2.5. Kubbeler.....	17
3.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Yapı Malzemeleri	18
3.3.1. Doğal Taş Malzeme	18
3.3.2 Tuğla	20
3.3.3. Ahşap Malzeme.....	21
3.3.4. Harç	21
3.4. Yığma Yapıların Fiziksel, Mekanik ve Dinamik Özelliklerini Belirlemek için Yapılan Testler.....	22
3.5.Yapının Mülkiyet Durumu, Konumu ve Mimari Özellikleri	24
3.5.1.Yapının Tarihçesi	29
3.5.2.Plan Özellikleri.....	30
3.5.3. Erdek Ballıpınar Kilisesinde Kullanılan Malzemeler	31
3.6. Yapıların Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	34
3.7. Ballıpınar Kilisesinin Mekanik ve Titreşim Deneyleri ile Yapısal Analizleri.....	37
3.7.1. Flatjack testi	37
3.7.2. Shearjack testi	40
3.7.3. Kilisede Yapılan Titreşim Testleri (Operasyonel Modal Analiz Yöntemi)	42
3.7.4. Yapının sonlu eleman modeli.....	46
3.7.5. Kiliselerin Kendi Ağırlığı Altındaki Analizleri	49
3.7.6. Kiliselerin Modal Analizi.....	52
3.7.7 Ballıpınar Kilisesinin Deprem Yükleri Altındaki Analizi	55
4. DEĞERLENDİRME.....	70
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ.....	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
cm	Santimetre
f	Frekans
Hz	Hertz
Kg	Kilogram
km	Kilometre
KN	Kilonewton
m	Metre
mm	Milimetre
N	Newton
MPa	Megapascal
sn	Saniye

Kısaltmalar Açıklama

BKVKBK	Bursa Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu
--------	---

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Basamaklı Taş Temel.....	15
Şekil 3.2. Erdek Ballıpınar Kilisesi Taşıyıcı duvarlar.....	16
Şekil 3.3. Yeryüzündeki Kayaç Döngüsü	19
Şekil 3.4. Oluşumlarına göre doğal taş sınıflaması (TS 699, 1987 den uyarlanmıştır) ..	20
Şekil 3.5. Büyük Gülbahar Camisi ivmeölçer yerleşimleri ve veri toplama sistemi	23
Şekil 3.6. Ön cephe dış kısım genel görünümü.....	24
Şekil 3.7.Yapıya ait tescil kararı	25
Şekil 3.8. Yapıya ait tescil fişi	26
Şekil 3.9. Yapıya ait eski fotoğraflar	27
Şekil 3.10. Yapının köy içindeki konumu.....	28
Şekil 3.11. Yapının Planı	30
Şekil 3.12. Kilisenin Giriş Kapısı	31
Şekil 3.13. Kilisenin Üstündeki Yazıt.....	32
Şekil 3.14. Kilisenin Ön Sağ Cephe Görünümü	33
Şekil 3.15. Kilise Apsisi.....	34
Şekil 3.16. Flatjack test ekipmanı	38
Şekil 3.17. Flatjack test uygulamasına ait fotoğraflar.....	38
Şekil 3.18. Shearjack testi öncesi ve sonrasında harçtan sıyrıldığı an.....	41
Şekil 3.19. Kilise duvarlarında sensör yerleşim planı.....	43
Şekil 3.20. Ballıpınar Kilisesi 1-4 nolu sensörlerin yerleşimi.....	44
Şekil 3.21. Test ekipmanlarının hazırlanması	44
Şekil 3.22. Ballıpınar Kilisesi spektral yoğunluk tekil değerleri	45
Şekil 3.23. Asal gerilmeler	47
Şekil 3.24. Kilisenin kabuk model görüntüsü	48
Şekil 3.25. Kilisenin modellme görüntüsü	48
Şekil 3.26. Kilisenin kendi yükü altında yer değişmesi	49
Şekil 3.27. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S11 gerilmeleri.....	50
Şekil 3.28. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S22 gerilmeleri.....	50
Şekil 3.29. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S12 gerilmeleri.....	51
Şekil 3.30. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu Smax gerilmeleri.....	51
Şekil 3.31. Yapının X yönündeki eğilme modları.....	53
Şekil 3.32. Yapının Y yönündeki eğilme modları.....	53
Şekil 3.33. Kaydedilmiş yer hareketleri Kocaeli ve Düzce	56
Şekil 3.34. Düzce depremi X yönündeki duvar orta bölgesindeki yerdeğişimi.....	56
Şekil 3.35. Düzce depremi X yönündeki duvar orta bölgesindeki yerdeğişimi.....	57
Şekil 3.36. X yönü Düzce depremi maximum asal gerilmeler	57
Şekil 3.37. X yönü Düzce depremi minimum asal gerilmeler	58
Şekil 3.38. X yönü düzce depremi kayma gerilmeleri	59
Şekil 3.39. Düzce depremi Y yönündeki duvar orta bölgesindeki yerdeğişimi.....	60
Şekil 3.40. Y yönü Düzce depremi maksimum asal gerilmeler	60
Şekil 3.41. Y yönü Düzce depremi minimum asal gerilmeler	61
Şekil 3.42. Y yönü Düzce depremi kayma gerilmeleri	62
Şekil 3.43. Kocaeli depremi X yönündeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme	63
Şekil 3.44. X yönü Kocaeli depremi maximum asal gerilmeler	63
Şekil 3.45. X yönü Kocaeli depremi minimum asal gerilmeler.....	64

Şekil 3.46. X yönü Kocaeli depremi kayma gerilmeleri	65
Şekil 3.47. Kocaeli depremi Y yönündeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme	66
Şekil 3.48. Y yönü Kocaeli depremi maximum asal gerilmeler	66
Şekil 3.49. Y yönü Kocaeli depremi minimum asal gerilmeler	67
Şekil 3.50. Y yönü Kocaeli depremi maximum asal gerilmeler	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kilise duvarlarında oluşan gerilme uzalma grafiği	40
Çizelge 3.2. Ballıpınar Kilisesi MAC değerleri ve 3d grafiksel gösterim	45
Çizelge 3.3. Yapıda kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik değerleri.....	46
Çizelge 3.4. Yapının ilk 50 moduna ait frekans değerleri, Kütle katılım oranları	53
Çizelge 3.5. Kiliseye ait ilk 3 frekans değerleri	55
Çizelge 3.6. Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmeleri ile x yönündeki deprem sonucu oluşan kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Çizelge 3.7. Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmeleri ile y yönündeki deprem sonucu oluşan kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması.....	69

1.GİRİŞ

Geçmişten günümüze kültür mirası olan tüm tarihi yapılar, buldukları bölgenin tarihini ve kültürel karakterlerini yansıttıkları için tarihimizde önemli yere sahiptir. Bu yapılar kültür mirası olarak da bilindikleri için kültür turizmi açısından ekonomik olarak ülkelere katkı sağlamaktadır. Tarihi yapılar zamanla deprem, rüzgâr gibi çevresel etmenlere maruz kaldıkları için zaman içerisinde zarar görmekte ve kısmen ya da tamamen yıkılmaktadır. Çevresel etmenler haricinde yapı malzemeleri de zamana bağlı olarak veya yanlış yüklemelerin yapılması ile deformasyona uğramaktadır (Alpaslan ve ark. 2017). Mimari kültür mirası olan tarihi yapıların, deformasyondan korunabilmesi ve gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi için dinamik davranışlarının sayısal yöntemlerle ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Kocaman ve ark. 2019, Hökelekli ve ark. 2017).

Yığma yapılarda doğal malzemelerin kullanılması, yapım sisteminin karmaşık olması, mesnet şartlarında oluşan değişiklikler v.b sebeplerden ötürü tarihi yapıların yapım sistemlerinin, malzeme özelliklerinin, mekanik ve dinamik özelliklerinin tespit edilebilmesi önem kazanmaktadır. Tarihi yapılarda malzeme ve yapı davranışının belirsizlikler içermesi, yapısal tanımlamaların yapıların dinamik davranışını tespit etme olasılığını tam olarak tanımlayamaması gibi nedenlerle yapının özelliklerinin tespit edilebilmesinde deneysel çalışmalar önemli hale gelmektedir (Diaferio ve ark. 2011). Tarihi yapılarda özellikle çevresel etmenler sonucu oluşan dinamik etkilerin meydana getirdiği davranışlar; doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı gibi dinamik karakteristiklere bağlı olarak değişmektedir (Bayraktar ve ark. 2010: 12). Dinamik karakteristiklerdeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışı etkileyen parametrelerdeki belirsizlikler de tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarının gerçeğe uygun bir şekilde belirlenmesini zorlaştırmaktadır (Kömür ve ark. 2015). Tarihi yığma yapılar konusunda yapılan deney sonuçlarının gerçek yapı malzemesi ve yapı davranışının belirlenmesinde yeterli güvenilirliği sağlayamaması, yapı malzemesinin zaman içerisinde dayanıklılığını yitirmesi ve çeşitli nedenlerle çökmeye uğraması, tarihi yapılardan deney numunesi almakta kısıtlamalar yaşanması gibi nedenlerle analitik ölçüm yöntemleri yapının dinamik davranışlarının belirlenmesinde yetersiz kalmakta ve

deneysel yöntemler ile birlikte hasarsız test teknikleri ile yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesi önemli hale gelmektedir.

Bu çalışmada; Balıkesir İli, Bandırma İlçesi, Erdek Mahallesi, Ballıpınar Köyü'nde bulunan Ballıpınar Kilisesi'nin ortalama duvar dayanımları tespit edilmiştir. Bu testler ile duvarların basınç gerilmeleri, kayma gerilmeleri ve elastisite modülleri Uluslararası Standartlar yardımıyla hesaplanmıştır. Kilise duvarlarına hassas ivme ölçerler yerleştirilerek operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları tespit edilmiştir. SAP 2000 programı kullanılarak yapının sonlu eleman modeli hazırlanmış ve deneysel olarak elde edilen veriler kullanılarak modal analizleri yapılmıştır. Modal analiz sonucu elde edilen frekans değerleri ile deneysel yolla tespit edilen frekans değerleri karşılaştırılmış ve gerekli kalibrasyonlar SAP 2000 modelinde yapılmıştır. Son olarak SAP 2000 programı ile zaman tanım alanında hesap yöntemi ile Kocaeli ve Düzce deprem kayıtları kullanılarak yapının deprem dayanımları tespit edilmiş ve yapının korunmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

1.1.Amaç

Bu çalışmada, yapıların statik ve dinamik hesaplarının daha gerçekçi ve daha pratik olarak yapılabilmesine imkan sağlayan operasyonel modal analiz yöntemiyle tarihi yığma bir yapı incelenmiştir. Her yapının kendine özgü malzeme ve geometri özelliklerine sahip olması nedeniyle yapı üzerinde çeşitli mekanik deneyler (flatjack, shear testleri), laboratuvar ortamında ise malzeme deneyleri ve titreşim testleri yapılarak yapının fiziksel, mekanik ve dinamik özellikleri belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarla elde edilen veriler, bilgisayar modeli ile elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve değerlerin yakınlaştırılması için model üzerinde gerekli kalibrasyonlar yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı yapının gerçek davranışını bilgisayar modeli oluşturarak tespit edebilmektir. Yapıyı temsil edecek bilgisayar modeli oluşturulduktan sonra yapının depremler sırasındaki gerçek davranışları tespit edilebilecektir. Ayrıca bu çalışmanın benzer tipteki diğer yapılar için de örnek oluşturması amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Çalışma kapsamında tez konusu olan Ballıpınar Kilisesi'ne ait yapım teknikleri ve mimari özellikleri incelenmiştir. Yapının malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapının titreşim testleri hasarsız test yöntemleri ile yapılmıştır. Son olarak SAP 2000 bilgisayar programı ile zaman tanım alanında hesap yöntemi kullanılarak yapının deprem davranışları incelenmiştir.

1.3. Yöntem

Bu çalışmada tez konusuyla ilgili ulusal ve uluslararası birçok kitap ve makale incelenmiştir. Benzer dönem kiliseleri için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Tez konusu olarak seçilen Ballıpınar Kilisesi'nde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapı yerinde mekanik deneyler ve titreşim testleri yapılmıştır. Mekanik deneylerle duvarların basınç dayanımları, kayma dayanımları ve elastisite modülleri belirlenmiştir. Titreşim testleri ile yapının dinamik özellikleri tespit edilmiştir. Bu analiz yönteminde kilisenin duvarlarına birbirine dik yönlerde yerleştirilen hassas sismik ivme ölçerler ile yapının rüzgar ve araç titreşimleri gibi sürekli maruz kaldığı dinamik yükler altındaki küçük titreşim hareketleri ölçülerek daha sonra hazırlanan ve yapıyı temsil eden bilgisayar modeli üzerinde deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gentile ve Saisi (2007) çalışmalarında Milan İtalya'da Monza Katedrali'ne bitişik tarihi çan kulesinin yapısal durumu ve hasar senaryosu değerlendirilmiştir. Çalışmada tarihi yığma çan kulesi teorik ve deneysel modal analiz yöntemleri ile incelenmiştir. 0–10 Hz frekans aralığında, beş titreşim modu hesaplanmıştır. Çalışmada bazı ölçüm noktalarında sinyal-gürültü oranının oldukça düşük olmasına rağmen, ortam titreşim seviyelerinde yapısal tepkinin ölçülmesinde bu yöntemin kullanılmasının yığma kulelerinin dinamik özelliklerinin tanımlanmasında etkili bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

Lourenço ve ark. (2007) çalışmalarında Lizbon (Portekiz)'daki Jerónimos Manastırı'nın yapısal davranışını ve hasarını tespit edebilmek için sonlu eleman yöntemini kullanmışlardır. Basitleştirilmiş modeli kullanarak yapılan doğrusal olmayan analizlerin, Jerónimos Manastırı gibi tarihi yığma yapıların sismik yükleme altındaki duvar davranışlarının belirlenmesinde güvenli bir yöntem olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Casarin ve Modena (2008) tarihi yığma bir yapı olan Reggio Emilia (İtalya) 'daki Santa Maria Assunta Katedrali'nin operasyonel modal analiz metodolojilerini kullanarak sismik hassasiyetini belirlemişlerdir. Çalışmada, limit analizi ve sonlu eleman yönteminden elde edilen sonuçların benzer tipolojiye sahip yapı sınıflarında uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Lubowieckave ark. (2009) Kuzeybatı İspanya'da Mondariz kentinde yer alan Cernadela Köprüsü'nün geometrisinin karmaşık olduğu ve malzeme özelliklerinin bilinmediği ve doğrudan değerlendirilemeyeceği göz önünde bulundurularak, yeraltı radarı (GPR) ve sonlu elemanlar analizi (FEM) ile bu yapının dinamik davranışları incelenmiştir. Ayrıca çalışmada elastisite modülü (Young Modülü) varyasyonunun köprünün dinamik cevabı üzerinde önemli bir malzeme parametresi olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda özellikle lazer tarama ve GPR gibi yöntemlerin tarihi yapıların durumunun değerlendirilmesinde kullanılmasının daha uygun bir yöntem olduğu ileri sürülmüştür.

Ivorra ve ark. (2009) Valencia'daki (İspanya) San Nicolas çan kulesinin sismik davranışını karakterize etmeye çalışmışlardır. Deneysel olarak meydana getirilen titreşimler, çan kulesinin sismik davranışını tahmin etmek ve oluşturulan sonlu eleman modelini doğrulamak için doğrudanyığma çan kulesi üzerinde ölçülmüştür. Çalışmada modelin performansı, duvar gerilme mukavemetinden fazlasıyla etkilenmiş olup, sayısal simülasyonlarda hiçbir çatlak görülmediği için çan kulesinin zayıflığının kabul edilebilir bir yapısal tepkime olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada incelenen kulenin doğu batı yönünün muhtemel bir depremde dayanma kabiliyetindeki en zayıf yön olduğu tespit edilmiştir.

Whelan ve ark. (2009) çalışmalarında gerçek zamanlı kablosuz titreşim izleme yöntemi ile otoyol köprüsünün dinamik davranışlarını operasyonel modal analizi yöntemi ile incelemiştirlerdir. Çalışmada incelenen köprü'nün çevre ve trafik yüklerinden dinamik davranışı, doğal frekansların, sönüm oranlarının ve köprü'nün mod şekillerinin deneysel olarak belirlenmesi için ivmeölçerler kullanılmıştır. Operasyonel modal analizinden elde edilen mod şekillerinin uygunluğunu kontrol etmek için, sonlu elemanlar analizine ek olarak yerleşik çizimler kullanılarak model geliştirilmiştir. Çalışmada köprü'nün dinamik davranışlarının belirlenmesinde kullanılan kablosuz sensör ağları aracılığıyla geliştirilen kablosuz algılama platformunun, hem sensör sayısı ve test süreleri açısından, hem de çıkarılan modsal parametrelerin kalitesi ve genişliği bakımından uygun ve güvenilir bir yöntem olduğu ileri sürülmüştür.

Ceroni ve ark. (2009) tarihi yığma bir yapı olan, İtalya'nın Napoli kentinde bulunan Santa Maria del Carmine Kilisesi'nin çan kulesinin mimari ve yapısal özelliklerini, kullanılan yapı malzemelerini ve çeşitli dönemlerde meydana gelen hasar ve müdahalelerin durumunu tanımlamak, yer çekimi yükleri altında duvardaki gerilme durumunu değerlendirmek ve dinamik davranışını tanımlamak için çok disiplinli bir yaklaşım izlemiştirlerdir. Çalışmada çan kulesinin dinamik davranışlarını incelemek için sonlu eleman yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda, çan kulesinin plan geometrisi, duvar kalınlığı ve yüksekliği boyunca kullanılan malzemenin çeşitliliğinden dolayı karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve deneysel olarak değerlendirilen malzemelerin mukavemeti bakımından normal gerilmelerin düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bayraktar ve ark. (2009) Trabzon'daki Ayasofya Kilisesi'nin tarihi yığma çan kulesini ortam titreşim testi ve operasyonel modal analizi ile incelemiştir. Çalışma kapsamında hem teorik, hem de deneysel modal analizler karşılaştırılmış ve çalışmada mod şekilleri arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenirken doğal frekanslar arasında bazı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Doğal frekanslar arasındaki farklılıkların kaynakları, duvarların elastisite modülündeki değişimler, üst duvarlardaki çatlaklar ve temel seviyedeki sınır koşulları olarak belirlemiştir.

Casciati ve Al-Saleh (2010) İtalya'nın kuzeyinde Soncino'da yığma bir yapı olan çan kulesinde dinamik tanımlama prosedürü uygulanmıştır. Çan kulesindeki zilin salınma hareketi sonucunda üretilen dinamik kuvvetler, çan geometrisine ve sallanma sistemine göre sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmada yüksek yoğunluktaki dinamik yükler dikkate alınarak ,kulenin dinamik davranışının bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Ramos ve ark. (2010) Lizbon'daki Mogadouro Saat Kulesi ve Jerónimos Manastır Kilisesi'nin dinamik özelliklerini operasyonel modal analizi yöntemini kullanarak incelemiştir. Bu çalışmada tarihi yığma yapı olan bu iki yapının dinamik davranışları üzerinde çevresel etkiler ilk kez incelenmiştir. Çalışma sonucunda incelenen bu iki yapıda nemin yığma benzeri yapıların dinamik davranışları üzerindeki ihmal edilemez etkisi olduğu belirlenmiştir.

Atamturktur ve ark. (2010) Gotik tarzı yığma yapılarda deneysel modal analiz ve operasyonel modal analiz arasındaki pratik ve teknik farklılıkları incelemiştir. Çalışmada Washington, DC, ABD'deki Ulusal Katedral'in deneysel modal analiz ve operasyonel modal analize yönelik ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada incelenen tarihi binada olduğu gibi deneysel modal analizde kullanılan ekipmanların (çekici gibi) kullanımıyla ilgili kaygılar olduğunda operasyonel modal analizin tarihi yığma yapıların özelliklerinin incelenebilmesi için uygun bir alternatif olduğu tespit edilmiştir.

Sevim ve ark. (2011) Rize’de yer alan tarihi yığma yapı olan Osmanlı ve Şenyuva Köprüleri'nin dinamik karakterleri ve 1992 Erzurum depremi sonrası sismik davranışları sonlu eleman metodu ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda kemerlerdeki maksimum ve minimum gerilme değerlerinin taş dayanımından daha düşük olduğu ve ilk modellerden elde edilen maksimum ve minimum sonuçların, her iki köprü için de kalibre edilmiş modellerden daha büyük olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada bu tarz tarihi yığma köprü kemerlerinin dinamik davranışlarının incelenmesinde sonlu eleman yönteminin uygun bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir.

Bayraktar ve ark. (2011) çalışmalarında Trabzon’da bulunan 16. yüzyıldan kalma İskenderpaşa tarihi minaresi üzerinde 3D sonlu eleman modeli kullanılarak analitik modal analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada tarihi minarenin sonlu eleman modeli ile malzeme özellikleri ve sınır koşulları gibi bazı belirsiz modelleme parametreleri değiştirilerek, analitik ve deneysel modal özellikler arasındaki farklılıklar en aza indirecek şekilde güncellenmiştir. Minarenin deprem davranışını belirlemek amacıyla, sonlu eleman modeli güncellemesinden sonra minarenin analitik modeli, alanın yakınında meydana gelen 1992 Erzincan deprem kaydı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda doğal frekanslardaki maksimum farklılıklar ortalama % 27'den % 5'e düşürülmüş ve model güncellemesi ile analitik ve deneysel doğal frekanslar ve mod şekilleri arasında uyum olduğu belirlenmiştir.

Altunışık ve ark. (2011) Rize'deki Fırtına Nehri üzerinde inşa edilen tarihi Mikron Köprüsü'nü titreşim temelli operasyonel model analiz ve sonlu eleman modelle ile incelemişlerdir. Çalışmada tarihi köprünün analitik ve deneysel modal parametreleri karşılaştırılmış ve mod şekilleri arasında önemli bir uyum olduğunu tespit edilirken doğal frekanslarda bazı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Sınır koşullarını değiştirerek köprünün sonlu eleman modelinin güncellenmesi ile doğal frekanslar arasındaki analitik ve deneysel farklılıklar en aza indirmiştir. Ayrıca çalışmada operasyonel model analizin geometrik özelliklere ve değişen malzeme tiplerine sahip olan tarihi köprülerin karmaşık dinamik davranışlarını anlamak için uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Osmancıklı ve ark. (2012) çalışmalarında Trabzon'daki Ayasofya Kilisesi'nin çan kulesini dinamik karakteristiklerini ortam titreşim testi ile incelemişlerdir. İncelenen yapının restorasyon öncesi ve sonrasının dinamik karakterleri karşılaştırılmış, restorasyon sonrası yapının doğal frekansların azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yapının mod şekilleri restorasyon öncesi ve sonrası yaklaşık olarak aynı iken, ortalama modal sönüm oranlarının azaldığı gözlenmiştir.

Ceroni ve ark. (2012) tarihi yığma bir saray olan Benevento'da (İtalya) bulunan Palazzo Bosco Lucarelli sonlu eleman modeli ile dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada lineer olmayan statik analiz ile duvarın özellikleri incelenmiş ve binanın sünekliğinin duvarda oluşan çekme gerilmeleriyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Duvarlarda oluşan çekme gerilmesi değerleri Avrupa ve İtalya'daki kabul edilen değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Cimellaro ve ark. (2012) çalışmalarında Nisan 2009'da L'Aquila depreminde ağır hasar gören İtalya'daki eski taş bina olan belediye binasını (Margherita Sarayı), ortam titreşim testleri ile doğal frekanslar, mod şekilleri gibi dinamik özelliklerini incelemişlerdir. İncelenen sarayda 0 ila 7 Hz frekans aralığında toplam beş modal şekil ve frekans belirlenmiştir. Ayrıca düşey yönde iki burulma modu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen modal parametreler ile Margherita Sarayı'nın dinamik davranışını tahmin etmek için kullanılan sonlu eleman modeli güncellenmiş ve farklı güçlendirme ve restorasyon stratejileri geliştirilmiştir.

Foti ve ark. (2012a) İtalya Bari'de yer alan tarihi yığma yapı olan İl İdare Binası'nın kulesi 3 boyutlu sonlu eleman modeli ve operasyonel modal analiz yöntemi ile yapının dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada ölçülen ve tahmin edilen modal parametreler arasındaki iyi uyum, daha önce olduğu gibi ölçülendirilmiş veya tahmin edilen parametrelerin başlangıç değerlerine (Young modülü, yoğunluk, kütleler ve yaylar) maksimum $\pm\%50$ 'si ile ayarlanmış bir güncelleme prosedürü ile ulaşılmıştır.

Foti ve ark. (2012b) ince duvar yapılarının yapısal davranışını anlamak için "Chiesa della Maddalena" (Mola di Bari, İtalya) çan kulesi üzerinde deneysel analizin

sonuçlarını incelemişlerdir. Araştırmada, operasyonel modal analiz yöntemiyle sayısal bir modeli kalibre etmek amaçlanmıştır. “Chiesa della Maddalena”nın çan kulesi, özellikle batı ve kuzey tarafındaki bitişik yapılardan dolayı sınır koşullarının izlenmesi zor olan bir yapı olarak tanımlanmıştır. Çalışmada bu tür tarihi yığma yapılarda 3 boyutlu sonlu eleman modelinin kullanılmasının uygun bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Bartoli ve ark. (2013) İtalya'nın en yüksek yığma kuleden biri olan ve Toskana'da San Gimignano'nun Ortaçağ'da “Torre Grossa” (Büyük Kule) olarak adlandırılan tarihi kulenin statik ve dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan statik testler sonucunda kulenin 3 katmanlı olarak inşa edilen duvarlarında yüksek basınç gerilmesi durumu olduğu tespit edilmiştir. Kulenin dinamik davranışlarını incelemek amacıyla sonlu elemanlar modeli kullanılmış ve kulenin yanında bulunan alçak binaların oluşturduğu kısıtlamaların derecesini belirlenmiştir. Ayrıca araştırmada kulenin yapısal davranışını araştırmak için malzeme ve yapısal analizler üzerinde tahribatsız muayeneleri de içerebilecek yöntemlerin kullanılması gerektiği önerilmiştir.

Russo (2013) çalışmasında 2009 yılında L'Aquila'da (İtalya) depreminden etkilenen tarihi Anime Sante Kilise'sinin yapısal tepkisini ve gerçek hasar seviyesini kontrol etmek için statik ve dinamik izleme faaliyetinin aktivitesini incelemiştir. Çalışmada mod şekil korelasyonuna dayanan dinamik görüntülemenin, güvenlik önlemlerinin uzun süreli kontrolü ve yapı elemanlarının sertlik ve dayanıklılığındaki değişikliklerin tespit edilmesi için gerekli olan ihtiyacı karşıladığı belirtilmiştir.

Gönen ve ark. (2013) çalışmalarında Elazığ ili yakınlarındaki eski adıyla Palu Köprüsü yeni adıyla Murat Köprüsü olarak bilinen ve zaman içinde çeşitli hasarlardan dolayı kereste, beton ve çelik yapı olarak üç kez yeniden inşa edilen tarihi yığma köprü kemerinin zaman içerisinde yaşadığı bozulmayı incelemişlerdir. Çalışma sonucunda trafik etkileri, deprem ve toprak kayması gibi çevresel koşulların, dinamik etkilerinden dolayı diğer yapılara göre tarihi yığma yapılar da daha hızlı bir şekilde bozulma eğilimi gösterdiğini ileri sürmüşlerdir.

Ercan ve Nuhoğlu (2014) Türkiye'de Vezirağası adı verilen tarihi bir su kemeri üzerinde yapılan model g¼ncelleme çalışmalarını ele almışlardır. Çalışmada teorik ve deneysel modal analizlerden, zaman - frekansları ve ilgili modal şekilleri belirlenerek modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Mod şekilleri arasında iyi bir uyum olduğu g¼zlenmiř ancak doğal frekanslar arasında bazı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Operasyonel modal analiz sonuçlarını kullanarak, sonlu eleman modelinde tayin edilen malzeme özellikleri ve sınır koşulları, gerçek yapısal davranışa sahip olacak şekilde modifiye edilerek belirtilen farklılığın azaltılması sağlanmıştır.

Costa ve ark. (2014) Portekiz'de tarihi yığma taş kemerleri k¼pr¼ler olan St. Lázaro ve Lagoncinha K¼pr¼leri ve yakın zamanda inşa edilmiş Vila Fria K¼pr¼s¼'n¼n sonlu eleman sayısal modellemesini operasyonel modal analiz kullanılarak g¼ncellenmesine y¼nelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan operasyonel modal analiz sayesinde bu t¼r yapıların mekanik ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle yapının dayanımının belirlenmesinde uygun bir y¼ntem olduğu belirtilmiştir.

alık ve ark. (2014) Trabzon'un Bahçecik Mahallesi'nde yer alan taşınmaz k¼lt¼r varlığı olarak tescillenK¼¼k Fatih Camisi'nin tonoz ¼st ¼rt¼s¼n¼n r¼zg¼r ve trafik gibi çevresel etkiler altında titreşim tepkileri ¼l¼lerek dinamik davranış, doğal frekanslar, mod şekilleri ve modal s¼n¼m oranları belirlenmiştir. Dinamik zellikler operasyonel modal analiz y¼ntemiyle ortam titreşim testi ile belirlenmiştir. Çalışmada ilk beş doğal frekans 8.482–26.590 Hz frekans aralığında tespit edilmiştir. Onarım yapıldıktan sonra ise ilk beş doğal frekans, 9.371–27.850 Hz frekans aralığında tanımlanmıştır. Elde edilen bu artışın yapının onarımı sonrasında dayanımının artmasına neden olduğu g¼zlenmiřtir. Çalışmada tarihi yığma yapılar için dinamik tanımlamanın, hasar tespitinde ve tarihsel yapıların sonlu eleman modellerinin geliştirilmesinde ve g¼ncellenmesinde kullanılabılır olduğu ileri s¼r¼lm¼řt¼r.

Saisi ve ark. (2015) İtalya'daki en y¼ksek kule olan tarihi Gabbia Kulesi'nin Mayıs 2012' de meydana gelen sismik faaliyetlerden sonra yapısal durumunu değerlendirmek için kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Ortam titreşim testi ve evre uyarımı altında operasyonel modal analizi teknikleri kullanılarak incelenen yapının dinamik

karakteristikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ön dinamik testlerden elde edilen bilgilerin kulenin nümerik (Sonlu Elemanlar) modellerinde kabul edilen varsayımları doğrulamak için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Gentile ve ark. (2015) çalışmalarında Arcisate'deki (Varese, Kuzey İtalya) Chiesa Collegiata Kilisesi'nin tarihi çan kulesinde operasyonel modal analiz yöntemi ile yapısal bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışmada deneysel ve teorik model arasında tahmin edilen ve ölçülen doğal frekanslar arasındaki maksimum farkın % 1.20'yi aşmadığı ve mod şekilleri açısından oldukça iyi korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

Bayraktar ve ark. (2015) çalışmalarında Türkiye'deki tarihi yığma taş kemerli köprüler olan Aspendos, Pehlivanlı, Mikron, Osmanlı, Şenyuva, Şahrüh, Osmanbaba ve Torul Köprüleri'nin deneysel olarak frekans ve sönüm oranlarını belirlemek amacıyla operasyonel modal analiz yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada köprülerin deneysel frekansları, sönümlenme oranları ve mod şekilleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, tarihi yığma taş köprülerde frekans, sönümlenme oranı ve mod şekilleri için bir formül önerisinde bulunulmuştur.

Nohutçu ve ark. (2015) Manisa'da Hafsa Sultan adlı tarihi yığma bir yapı olan bu cami üzerinde yapılan model kalibrasyon sonuçlarını incelemişlerdir. Yapının sayısal ve deneysel modal parametreleri sonlu elemanlar yöntemi ve operasyonel modal analizi elde edilmiştir. Çalışmada yapının dinamik davranışlarına ilişkin doğal frekanslar ve mod şekilleri sonlu elemanlar yöntemi ve operasyonel modal analizi elde edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda mod şekilleri arasında iyi bir uyum sağlanırken, doğal frekanslar arasında bazı farklılıklar ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu doğal frekanslar arasındaki farklılıklar elastisite modülündeki değişikliklerden, yapıdaki çatlaklardan veya sınır koşullarından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Pierdicca ve ark. (2016) İtalya'da tarihi yığma bir yapı olan Palazzo Comunale di Castelfidardo Sarayı üzerinde kablosuz sensör ağları ile yapısal izleme sistemleri yardımıyla bu yapının dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Castelfidardo'daki tarihi sarayın modal frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleri operasyonel modal analizi

yöntemi aracılığıyla belirlenmiştir. Çalışmada deneysel çalışmanın sonuçlarını kullanarak sınır koşulları, elastisitemodülü ve ikincil elemanların kütleleri adım adım değiştirilmiştir. Ayrıca çalışmada duvarlarda elastik-geometrik parametreler açısından küçük farklılıklar rapor edilmiş vemevcut hasarlar tespit edilmiştir.

Ubertini ve ark. (2016)Perugia (İtalya)'dakiSan Pietro Bazilikası'nın çan kulesinin yapısal dinamiklerini incelemek için kulenin tepesine kalıcı olarak monte edilmiş üç yüksek duyarlılık ivmeölçer, iki sıcaklık sensörü ve kulenin içinde bulunan ve internet üzerinden özel uzak bir sunucuya bağlanan veri toplama sistemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada günlük ortamdaki dalgalanmaların yanı sıra çevre koşullarındaki değişiklikler, özellikle ortam sıcaklığından kaynaklanan değişiklikler ile ilişkili mevsimsel değişikliklere ilişkin belirlenen frekanslar ve sönüm oranları, doğal frekanslardanormal olmayan istatistiksel dağılımlar olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen doğal frekanslar üzerinde önemli çevresel etkilerin varlığına rağmen önerilen tekniklerin, özdeğerlerdeki çok küçük durağan varyasyonları tespit etmede etkili olduğu rapor edilmiştir.

Kocaman ve ark. (2017) Erzurum il merkezinde yer alan Lala Mustafa Paşa Camii'nin yapı malzemelerinin mekanik özellikleri teorik ve deneysel modal analiz aracılığıyla incelenmiştir. Çalışmada deneysel ve teorik modal analiz sonucunda belirlenen ilk altı modda farkın en az %0.6, en çok %10.4 olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucundatarihi yığma yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemin incelenen yapı için başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Döven ve ark. (2017) çalışmalarında Kütahya ilinde yer alan Yeşil Cami minaresinin dinamik davranışını değerlendirmek için sonlu elemanlar modeli oluşturarak, çevresel titreşim deneyi sonuçlarıyla mevcut minarenin malzeme özellikleri ve mesnet koşullarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda şerefe-petek bölümündeki rijitliği artırarak hasarların azaltılabileceği ve minarenin dinamik davranışında etkin olan bir bölgedeki kütlenin artmasından dolayı oluşacak yatay yük artışının bağlama-gövde birleşiminde yıkıcı ve önemli hasarların oluşmasını tetikleyebileceği belirtilmiştir.

Torres ve ark. (2017) alışmalarında deneysel olarak belirlenen modal ve mekanik malzeme özelliklerine dayanarak Santiago şili Metropolitan Katedrali'nin sonlu eleman modeli için kalibrasyon ve ayarlama sürecini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada yerinde dinamik testlerle gerçekleştirilen, yapıyı etkilemeden ve hizmet vermesine engel olmadan inceleme imkanı sunan operasyonel modal analizi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda deneysel ve analitik modeller arasındaki benzerlik olduğu ve ikinci aşamada kullanılan operasyonel modal analizi ile elde edilen verilerin yapının değerlendirilmesinde daha kesin sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan çalışmada Balıkesir İli, Bandırma İlçesi, Erdek Mahallesi, Ballıpınar Köyü'nde bulunan 19. yüzyılda inşa edilmiş Ballıpınar Kilisesi'nin yapısal davranışı incelenmiştir. Yapıların mevcut haldeki yapısal durumlarını belirlemek amacıyla öncelikle duvarların mekanik kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için iki yöntem mevcuttur. Birincisi yapıda kullanılan malzemelerden örnekler alınarak mekanik testler yapıldıktan sonra amprik formüllerle duvar dayanımının belirlenmesi, diğeri ise flatjack ve shear testleri ile duvar dayanımlarının belirlenmesidir. Birinci yöntem uygulandığında gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek mümkün olamamaktadır. Bunun nedeni ise duvarlarda kullanılan taşların oldukça yüksek basınç ve elastisite modülüne sahip olması ve ayrıca harç numunelerinden basınç testi ve elastisite modülü tayini için örnek alınmasının zorluğudur. Bu örnekler alınsa bile amprik formüllerle bulunan değerler gerçek değerlerden uzaktır. Flatjack ve shear testleri ise daha doğru sonuçlar vermektedir. Çalışma yapılan Kilisede flatjack ve shear test sonuçları yapının mekanik kalitesini belirlemede son derece yararlı olmuştur. Yapısal analizlerin güvenilirliğinin sağlanabilmesi için de mutlaka yapı yerinde titreşim testleri yapılmalıdır. Titreşim testleri ile frekans değerleri saptanmalıdır. Yapının bilgisayar programları yardımıyla sonlu elemanlar modeli hazırlanmalı ve test sonuçlarına göre malzeme parametreleri girilmelidir. Yapının modal analizleri ile titreşim testlerinden elde edilen frekans değerleri karşılaştırılarak yapısal analiz öncesinde sonlu eleman modellerinde malzeme veya sınır şartlarında kalibrasyon yapılmalıdır. Böylece sonlu eleman modeli hazır olan yapının deprem, itme, non-linear, v.b. analizleri doğru olarak yapılabilecektir.

3.1. Yığma Yapım Sistemleri ve Kullanılan Malzemeler

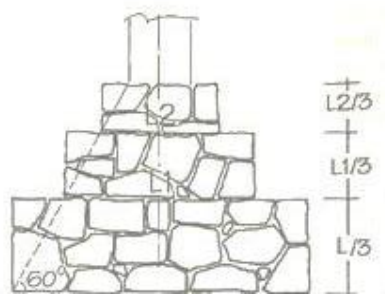
M.Ö. 1000 yıllarını kapsayan Eski Taş çağında yaşam alanı olarak mağaralar tercih edilmiştir. Daha sonra insanların temel ihtiyacı olan suya gereksinimlerinden dolayı mağaralardan inip nehir kenarlarına yerleşmeye ve en az mağaralar kadar güvenli bir korunak yapmaya başlamışlardır. Doğada bulunan saz, kamış, taş, ahşap gibi malzemelerle ilk yapılarını oluşturmuşlardır. İlkel insan sadece taş ile mimari yapı yapamadığından topraktan ve ahşaptan destek alarak yapı oluşturmuştur. Bunun

sonucunda çevresinde bolca bulunan toprağı yapıda kullanabilmek için onu işleyip dayanıklı hale getirerek, kerpici bulmuşlardır. Kerpicin dış etkenlerden etkilendiğı ve uzun ömürlü olmadığına keşfedilmesine çözüm aramışlar ve killi toprağın pişirilmesi ile bu sorunu gidermişlerdir. Eski taş çağında toprağın pişirilmesiyle tuğlanın oluşumu sağlanmıştır.Yapıtekniki olarak ise Bronz Çağ'da taş, tuğla ve ahşap birlikte kullanılmıştır. M.Ö. 3000 yıllarında ise yapıda temelin önemini fark edip taş ile sağlamlaştırılmış, duvarları kerpiçten ve üst örtüsünde ahşap hatıllarla güçlendirilerek yapıların daha uzun süreli kullanımı sağlanmıştır. Bu yapım teknikleri kullanılarak günümüze kadar ayakta durabilen sağlam kilise, hamam, cami gibi yığma yapılar inşa edilmiştir (Kuban 2017, Kurugöl ve Tekin 2010, Akurgal 2003).

3.2. Yapım Sistemleri

3.2.1.Temel

Tarihi yapılarda temeller yapının en önemli kısmıdır. Temellerin yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde zemine aktarıp, yeterli taşıma kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Tarihi yapılarda temel gerekli derinliğe kadar kazılıp, zemine yük aktarımı sağlıklı bir şekilde olacak kadar taşlarla yapı temelleri inşa edilmiştir. Temelin yeterli genişlikte olması, emniyet gerilmesinin aşılması için çok önemlidir. Yığma yapı temelleri genellikle basamaklı şekilde oluşturulmuştur. Şekil 3.1.'de basamaklı taş temel uygulama örneği görülmektedir. Temel ne kadar geniş bir alana yayılırsa, gerilmelerin zeminden derinlere daha geniş alanlara yayılması sağlanmış olur.Temeller çevre sularına karşı korunaklı şekilde yapılmalıdır (Bayraktar 2005).



Şekil 3.1.Basamaklı taş temel (Türkçü, 2000)

3.2.2. Taşıyıcı Duvar

Taşıyıcı duvarlar, yatay ve düşey yüklerin temele aktarılmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Basınç ve kayma gerilmelerine sürekli maruz kalan yapı elemanıdır. Duvarlar çekme gerilmesi taşımamaktadırlar. Tarihi yapıda çekme gerilmesine karşı, demir kenet veya ahşap hatıl kullanılmıştır.

Temel seviyesinden itibaren yapılar genellikle taş duvarla devam eder. Doğal taşların yontulması ile oluşturulan bloklar yatayda düzgün sıralar halinde dizilmektedir. Taşların arasında kot farkı olmamasına dikkat edilir. Düşeyde derzler şaşırtılarak düzenlenmektedir. Duvar yüzeyine dik doğrultuda bağlantı blokları veya derzler şaşırtılarak duvar örülmektedir. Duvar taşları arasında bağlayıcı olarak kireç harcı veya horasan harcı gibi bağlayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Duvarların iç ve dış çeperleri boyunca taşla örülüp iç kısma dolgu duvar yapılmış, yer yer taştan veya bağlantı teşkil edecek başka elemanlarla duvarın her iki yüzlerinin birleştirilerek taşıyıcı duvarlar oluşturulmuştur (Bayraktar 2005). Şekil 3.2’de çalışma konusu olan Ballıpınar Kilisesi’nin taşıyıcı duvarları görülmektedir.



Şekil 3.2. Erdek Ballıpınar Kilisesi Taşıyıcı duvarlar

3.2.3. Kemerler

Kemerler düşey bir simetri eksenini etrafında döndürülmesiyle oluşturulan, yarım küre şeklindeki büyük mekânları örten yapı elemanlarıdır. Düşey ve yatay yükleri belli noktalara taşıyan elemanlarıdır. Gergi çubuksuz yapılan kemerlerin güçlü duvarlara oturtulması şarttır (Sesigür ve ark. 2007). Kemerler dairesel kemer, basık kemer, basık sivri kemer ve sivri kemer şeklinde oluşturulabilmektedir.

3.2.4. Tonoz

Bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesi sonucu oluşturulan yapı elemanlarıdır. Diğer bir ifadeyle kemerlerin üçüncü boyutta uzatılmasıyla oluşturulan yapı elemanlarıdır. Tonozlar, sütun ve ayaklar tarafından taşınmakta ve çok üniteli bir mekânın örtülmesinde kullanılmaktadır. Tonozlar ağırlığı ile birlikte diğer yükleri uçlara kesme kuvvetleri şeklinde aktaracağından bu kısımlarda söz konusu kesme kuvvetlerini karşılayabilecek duvar, kemer ya da kubbe bulunmalıdır. Tonozları; ilkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dört gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ilkel ve beşik tonozun mesnetlerinin sürekli bir taşıyıcı eleman olma zorunluluğu bulunmaktadır (Sesigür ve ark. 2007).

3.2.5. Kubbeler

Kubbe, bir kemerin ekseni çevresinde dönmesi ile elde edilen küre parçası şeklinde yapı elemanıdır. Kubbeler tarihte büyük mekanları örten yapılar olarak inşa edilmiştir. Kubbeler yapının en büyük kütleyle sahip elemanlardır. Kubbeler mesnetlerinde , sürekli taşıyıcı elemana ihtiyaç duyar. Tüm yapı taşıyıcı sistem kubbenin mesnetlenmesi ve desteklenmesi doğrultusunda biçimlenir. Yapım tekniği kubbe duvarının devamlı basınç altında kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Kubbenin oturduğu duvar kısmına kasnak denir. Kasnak duvarın basıncını devamlı kılan önemli bir topuk elemanıdır. Kubbe duvarında devamlı basınç varken, kasnak yatay ekseninde dışa doğru kayma, boyuna doğrultuda çekme kuvveti oluşturmaktadır (Bayraktar 2005). Kubbeler oturdukları yapı sisteminin her iki yönünde simetrik olarak oturmalıdırlar aksi takdirde büyük burulmalar oluşur. Yığma yapılar burulma momentine karşı zayıftırlar. Bu yüzden simetrik olmak zorundadırlar. Kubbelerin yatay yük taşıma kapasitesini arttırmak için payandalar yapılmıştır. Tarihi yapıların kubbe inşasında genellikle tuğla kullanılmış olsa da nadiren taş ve ahşap malzeme ile yapılmış kubbe örnekleri bulunmaktadır. Kubbeler yüklerini mesnetlerinden diğer taşıyıcı elemanlara aktarmaktadırlar. Dairesel planlı yapıların yükü, dairesele mesnetlere oturan kubbeler vasıtasıyla doğrudan diğer taşıyıcı elemanlara aktarılmaktadır. Kare planlı yapılarda ise

yükü aktarmak için tromp, Türk üçgeni ve pandantif gibi yapısal elemanlar kullanılmaktadır. Ayrıca yapı planına bağlı olarak gerekli durumlarda ana kubbeyi desteklemek amacıyla yarım kubbelerde kullanılmaktadır (Sesigür ve ark. 2007).

3.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Yapı Malzemeleri

Kâgir yığma malzemeleri inşaat ve mimarlık tarihinde önemli yer tutan en eski yapı malzemelerinden biridir. Binlerce yıllık yapı kültürünün sonucunda ortaya çıkmış olan ve kâgir yığma duvarlarla düzenlenen geleneksel yapılar dış etkilere dayanıklı malzemelerle üretildiği için, günümüze kadar ayakta kalmış yapılar hakkında bilgi edinmemizi sağlamıştır. Yapımlarında ve dayanımlarında bileşenlerin yanı sıra işçiliğin önemli rol oynadığı kâgir yığma duvarlar, taşıyıcı olarak geçmişten günümüze kadar yaygın biçimde uygulanmıştır. Yine de günümüzde “dolgu duvarı” olarak geliştirilmiş biçimlerde dünyada ve Türkiye’de halen kullanılmaktadır (Ekinci ve ark. 2012).

Taş veya tuğla malzemenin bağlayıcı harç ile (kireç veya horasan harcı) kullanılması ile oluşturulan yapıım şekli kagir olarak adlandırılmaktadır. Kagir inşaatlarda kullanılan malzemelerin basınca dayanıklı olması nedeniyle genellikle açıklıklarının geçilmesinde tonoz, kubbe veya kemer gibi eğrisel taşıyıcılardan yararlanılmıştır. Kullanılan malmelerin dayanımları farklılık gösterdiği için bağlayıcı olarak kullanılan harcın özellikleri kagir dayanımında büyük önem kazanmaktadır. Uzun yıllar sonucunda, meteorolojik etkiler, deprem, zemin hareketleri, nem, sünme ve büzülme v.b. etkiler sonucunda malzemedede oluşan değişimler nedeniyle mekanik özelliklerinin tespitinde mutlaka yapı yerinde deneysel yöntemlere başvurulmalıdır.

3.3.1. Doğal Taş Malzeme

Doğal taş, basınç gerilmesine çok iyi çalıştığı halde, çekme gerilmelerine karşı zayıf kalmaktadır. Bu sebeble tarihi yığma yapılarının tasarımı yapılırken kemerler, kubbeler çekme gerilmesi almayacak şekilde tasarlanmıştır. Buna rağmen çevre şartları sebebiyle taştan yapılmış yığma yapılarda çatlaklar oluşmuş olabilir. Örneğin; kum taşının mekanik özelliklerinden bahsedecek olursak

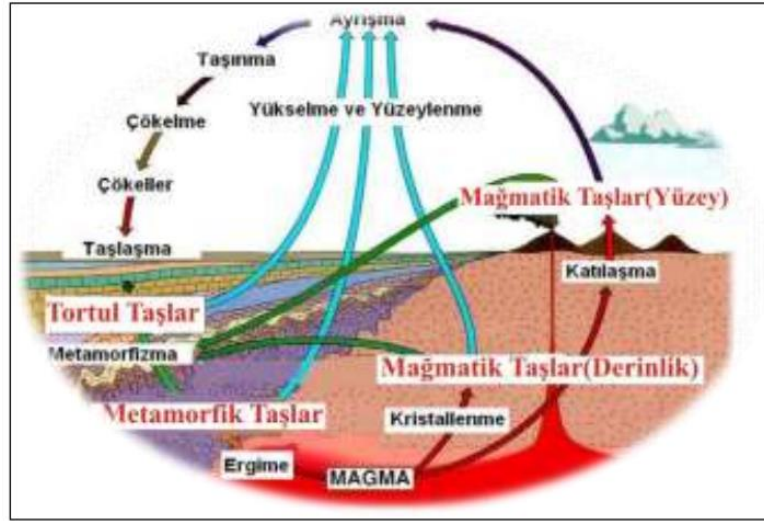
Basınç Mukavemeti = 5-30 MPa

Kayma Mukavemeti = 2-10 MPa

Çekme Mukavemeti = 2-4 MPa

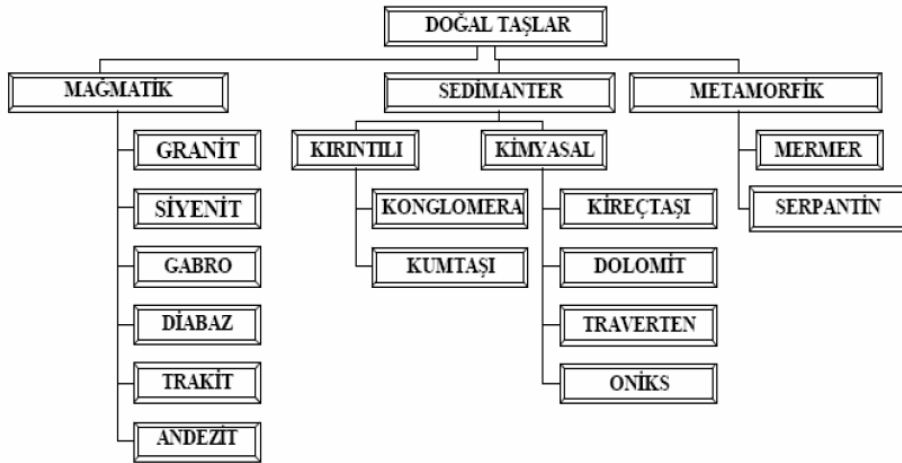
Elastisite Modülü= 13-50 GPa bakıldığı zaman basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür.

Mineraller inorganik kimyasal elementler veya kompleks bileşiklerdir, mineraller zaman içerisinde kaya kitlelerine dönüşmektedir. Yerkabuğunda 2000'den fazla mineral bulunmakta olup bunlardan sadece 30 tanesi taş yapıcı özelliktedir. Taşlar (kayaçlar) bir veya birkaç mineralin bir araya gelmesiyle oluşan mineral topluluklarıdır. Bir taş (kayaç) tek bir mineralden oluşacağı gibi (Ör: kireçtaşı bir kayaçtır ve sadece kalsit mineralinden oluşmuştur), bir kaç mineralin bir araya gelmesiyle de oluşabilir (MEB 2013). Şekil 3.3'te yeryüzündeki kayaç döngüsü görülmektedir.



Şekil 3.3. Yeryüzündeki kayaç döngüsü (MEB 2013)

Oluşumlarına (kökenlerine) göre doğal taşlar sınıflandırılmaktadır. Magmatik kökenliler, metamorfik kökenliler ve sedimanter kökenliler olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır. Aşağıda Şekil 3.4'te oluşum kökenlerine göre doğal taşların Türk Standartlarında yapılan sınıflaması verilmektedir (Güneri 2009).



Şekil 3.4. Oluşumlarına göre doğal taş sınıflaması (TS 699, 1987 den uyarlanmıştır) (Güneri 2009)

Geçmişten bu yana yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taş ülkemizde zengin potansiyele sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verileri incelendiğinde ülkemizde yaklaşık olarak 4 milyar m^3 işletilebilir mermer, 2,8 milyar m^3 işletilebilir traverten, 1 milyar m^3 granit rezervi bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar incelendiğinde ülkemizde farklı renk ve dokuda mermer çeşitleri olduğu belirlenmiştir. Başlıca doğal taş türleri, çeşitli renk ve desenlerde mermer, traverten, granit, bazalt, gabro, diyabaz, diyorit, serpantin, vb. şeklindedir (Korkmaz 2016).

3.3.2. Tuğla

Tuğla günümüze gelene kadar üç aşamadan geçmiştir. İlk aşama, kilin yoğrulup elde hazırlanması, ikinci aşama ise kalıplarda biçimlendirildiği ve güneşte kurutulmasıdır. Bu iki aşamada üretilen kerpiçler güneş altında kurutulduğu için sert iklim koşullarında daha kolay bozulmaktadır. Üçüncü aşama ise pişirmedir bu da tuğla üretimini temsil etmektedir. Yapı ve süsleme malzemesi olarak tuğla, üretiminin kolaylığı ve düşük maliyeti ile yüzyıllardan beri kullanılmaktadır (Eroğlu 2017).

Tuğla gevrek bir malzeme olup, yapıda basınç alabilecek şekilde kullanılmaktadır, çekme mukavemeti ise düşüktür.

3.3.3. Ahşap Malzeme

Ahşap malzemenin kullanımı insanlık tarihi ile aynı zamana eşdeğer olup, insanlık tarihinde barınma ve savunma aracı olarak kullanılmıştır. İşlenmesi, şekillendirilmesi kolay olması nedeniyle tarihte her zaman kullanılan bir malzeme olmuştur. Günümüz teknolojisinin sunduğu imkânlar ile kullanım alanı zaman içerisinde çeşitlenmiştir. Ahşap malzemenin kolay işlenmesi, yoğunluğuna oranla yüksek direnç özelliklerine sahip olması, kendine has sayısız renk ve desen görselliği gibi eşi bulunmaz özellikleri yapı malzemesi olarak kullanımını arttıran bir etmen olmuştur (Akkılıç ve ark. 2014). Ahşap hafif bir malzeme olmasına rağmen gösterdiği yüksek direnç (yoğunluk direnç oranının yüksek olması), doğallığı ve sağlıklı oluşu, diğer yapı malzemelerine kıyasla ucuz bir malzeme olması ve yenilenebilir bir kaynaktan temin edilebilmesi gibi birçok özelliklerinden dolayı yapı malzemesi olarak kullanımında ön plana çıkmaktadır. Özellikle zayıf zeminlerde ve geniş açıklıkların geçildiği yerlerde hafifliği ve yüksek direnci nedeniyle alternatifsiz bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. İşlenmesinin ve montajının kolaylığı, sıcak ve soğuktan fazla etkilenmemesi, basit birleştirme elemanları ile kolaylıkla birleştirilebilmesi, kimyasal etkilere karşı dayanımı özellikle yapı malzemesi olarak kullanılmasında öne çıkmasını sağlayan özellikleri kullanım avantajlarının arasındadır (İçel ve Beram 2016).

3.3.4. Harç

Su ve bağlayıcı malzemenin belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen ve katılaşma özelliğine sahip hamurlara "harç" denir. Harç yapı elemanları arasındaki bağı sağlayarak yapıya gelen yüklerin eşit şekilde dağıtır ve yapıya esneklik kazandırır. Ayrıca yapıya etki eden dış etkenlerden yapıyı korumaya yardımcı olma özellikleri vardır. Tarihte ilk harç malzemesi araştırıldığında topraktan elde edilen tuğlanın ve kerpicingin, yapı malzemesi olarak kullanılması harç ihtiyacını doğurmasıyla çamur harç olarak kullanılmaya başlamış ve kullanımı artmıştır. Çamurun ardından, kireç harcı, kum kireç karışımı kullanılmaya başlanmıştır. Kum kireç harç karışımının içine pişmiş kil veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilmesi sağlanmıştır.

Kirecin hammaddesi, CaCO_3 minerallerinden oluşan kireç taşıdır. Kalker taşının içerisindeki karbondioksitin yok edilmesi işlemi ile elde edilen, kolay ufalanabilir parçalara kireç denilmektedir (Şimşek, 2007). Bu taşlar ısı ile kalsine olup kalsiyum oksite (CaO) dönüşürler. Elde edilen bu ürün sönmemiş kireç olarak adlandırılır. Kireç kullanılarak elde edilen harç ve sıvalar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerde kullanılmıştır. Kireç harcı ve sıvaları, bağlayıcı olarak kireç ve agregaların karıştırılması ile elde edilir (Böke ve ark. 2004).

Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı mimarisindeki kagir yapılarda genellikle horasan harcı adı verilen bağlayıcı kullanılmıştır. Horasan Harcı denilen harcın içerisinde kil, kireç, taş tozu, taş kırıntıları, mermer tozu, su bulunmaktadır. Horasan geç prizini alan bir malzemedir.

Harç yapılarda kullanım miktarı olarak çok fazla görünmesede bağlayıcı özelliğinden dolayı yapının performansında çok büyük etkiye sahiptir. Harcın bağlayıcılık özelliği; basınç, çekme ve kayma mukavemetini doğrudan etkilemektedir.

3.4.Yığma Yapıların Fiziksel, Mekanik ve Dinamik Özelliklerini Belirlemek İçin Yapılan Testler

Yığma yapılarda, yapı yerinde veya kullanılan malzemeler üzerinde çeşitli testler yapılabilmektedir. Yapı yerinde genellikle yarı hasarlı test yöntemleri olan flatjack ve shear (kayma) testleri ile yığma duvarların basınç mukavemeti, kayma mukavemeti ve elastisite modülü değerleri hesaplanabilmektedir. Bu deneylerin yapıları ASTM Standartları ile belirlenmiştir. Deneylerde yığma duvarlarda kullanılan malzemelere göre seçilen metal plakalar harçta oluşturulan oyuk içine yerleştirilmektedir. Hidrolik bir pompa ile harç içine yerleştirilmiş metal plakalar şişirilerek pompada oluşan basınç ve duvarlardaki deplasmanlar ölçülerek mekanik değerler saptanabilmektedir. Bu deneylerin yapılışı ve kullanılan formüllerle ilgili bilgiler ileriki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemek, nem durumunu belirlemek için termal kameralar kullanılabilir. Yapının içinde varsa metal malzemelerin yerleri manyetometre aletleri yardımıyla tespit edilebilmektedir. Yapıdaki boşluk kısımlar, döşeme kalınlıkları, çatlak derinlikleri ultrases dalgası veya radar dalgaları kullanılarak tespit edilebilmektedir.

Tahribatsız yöntemlerden biri olan titreşim testi yöntemi, mevcut yapıların dinamik davranışlarını yansıtan, doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak adlandırılan dinamik karakteristiklerinin deneysel ölçümler kullanılarak belirlenmesinde etkili bir yöntemidir. Bu yöntemle yapılan ölçümlerde yapıda herhangi bir hasar oluşturulmadığından, özellikle de tarihi yapılar için oldukça kullanışlı ve tercih edilen bir yöntemdir. Hassas ivme ölçerler yardımıyla yapıya etki eden taşıt yükü, rüzgâr veya yaya hareketi gibi bilinmeyen çevresel etkilerle uyarılmakta ve yapının bu etkilere verdiği tepkiler ölçülmektedir (Şekil 3.5). Bu yöntem ile yapının titreşim frekansı, mod şekilleri ve modal sönüm oranları elde edilebilmektedir.



Şekil 3.5. Büyük Gülbahar Camisi ivmeölçer yerleşimleri ve veri toplama sistemi (Çalık ve ark. 2013).

Laboratuarda yapılan deneyler ise malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için yapılmaktadır. Hazırlanan numular üzerinde kılcal su emme, ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılır. Deney sonuçlarından boşluklu birim hacim ağırlık (gr/cm^3), yoğunluk (gr/cm^3) ağırlıkça ve hacimce su emme (%) ve kılcal su emme katsayıları (cm^2/s) belirlenir. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen malzemelerin, onarımda kullanılacak malzeme ile uyumunun araştırılması amacı ile taş, tuğla ve özellikle harç numunelerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesine de ihtiyaç duyulmaktadır.

3.5.Ballıpınar Kilisesinin Mülkiyet Durumu, Konumu ve Mimari Özellikleri

Balıkesir ili, Erdek ilçesi, Ballıpınar Mahallesi, 147 ada, 5 parselde yer alan Kilise Maliye hazinesi mülkiyetinde olup Kültür ve Turizm Bakanlığı'na tahsislidir (Şekil 3.6). Ballıpınar Kilisesi BKTVKK tarafından 11.08.1989 tarih ve 663 sayılı karar ile tescil edilmiştir.



Şekil 3.6. Yapının ön cephe görünüşü

Yapıya ait tescil kararı, yapıya ait tescil fişi ve yapıya ait eski fotoğraflar Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görülmektedir.

T. C.
KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
BURSA KÜLTÜR ve TABİAT VARLIKLARINI KORUMA KURULU

K A R A R

Toplantı Tarihi ve No. : 11.8.1989/ 32

Karar Tarihi ve No. : 11.8.1989/ 663

Toplantı Yeri

BALIKESİR

Balıkesir ili, Erdek ilçesi, Ballıpınar köyündeki eski kilise binasına ilişkin Ballıpınar köyü Muhtarlığının 19.10.1988 tarihli "Kaymakamlık Makamına-Erdek"değişli yazısı ve Balıkesir Valiliği Kültür ve Turizm Müdürlüğünün 16.12.1988 gün ve 68.684/3326 Sayılı yazısı okundu. Yazı ekleri ve ilgili dosyası incelendi. Yapılan görüşme sonunda;

Balıkesir ili, Erdek ilçesi, Ballıpınar köyündeki eski kilisenin korunması gerekli Kültür Varlığı özelliği göstermesi nedeniyle binanın 2863 ve 3386 sayılı Yasaların ilgili hükümleri gereğince tescil edilmesine, kapı ve pencerelerin binaya zarar vermeyecek şekilde kapatılarak içine insan ve hayvan girilmesinin önlenmesine,

Olanaklar dikkate alınarak restorasyonu için imkan aranmasına ve yapıya köyün ortak kullanımına imkan veren yeni bir fonksiyon verilerek hayata döndürülmesine karar verildi.

BAŞKAN
Prof. Dr. Metin SÖZEN

BAŞKAN YARDIMCISI
Yard.Doç.Dr. İlgi Aşkun YÜCE

ÜYE
Prof. Dr. Ataman DEMİR

ÜYE
Prof. Dr. Mustafa CEZAR

ÜYE
Bedri YALMAN

ÜYE
Balıkesir.. Belediye Temsilcisi

Güler ERCAN

Şekil 3.7. Yapıya ait tescil kararı (BKVKBK arşivi)

AVRUPA KONSEYİ		DOĞAL VE KÜLTÜREL VARLIKLARI KORUMA ENVANTERİ		DR.VKE		ENVANTER NO	
TÜRKİYE		ESKİ ESERLER VE MÜZELER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ		A 1 1 1 1		HARİTA NO.	
İLİ : BALIKESİR	İLÇESİ : Erdek	MAHALLE KÖY VEYA MEYDAN : Ballıpınar Köyü	KORUMA DERECESELİ :	ANITSAL	1	2	3
SOKAK VE EAPİ NO :	EADASINNO :	PAFTA : ADA : PARSEL :	ÇEVRESEL	1	2	3	
ADI :	YAPTIRAN :	YAPAN :	MİMARİ ÇAĞI (USLUP) :	19.Y.Y			
	YAPIM TARİHİ :	KITABE VAR :	VAKFIYE :				
GENEL TANIM : Kilise,Köy içinde merkezdedir.Etrafında, girişin sol yanında bitişik ev ve müstemilata bulunmaktadır. Sağ yanda dar bir sokak ve yakın mesafede ev sırası vardır. Girişin önünde küçük bir meydan bulunmaktadır. Arkası bahçe gibi bir yerdir.							
KORUMA DURUMU	A İYİ B ORTA C PENA	TAŞIYICI YAPı	A B C	DİŞ YAPı	A B C	İST YAPı	A B C
						İÇ YAPı	A B C
						SÜSLEM ELEMENLARI	A B C
						RUTURBT	A B C
						YOK	A B C
						İZİ VAR	A B C
						ÖNEMLİ	A B C
VAZİYET PLANI							
GÖZLEMLER :							
BUGÜNKÜ SAHİBİ :				SAKIMINDAN SORUMLU OLMASI GEREKEN KURULUŞ :			
YAPILAN ONARIMLAR :							
AYRINTILI TANIM : Kilise,ön cepheden, mermer merdiven girişli, sağ yandan çeşme bulunmaktadır.Doğu , batı cepheidir. Bazilika tipindedir.Önde moloz taş örgü üzerine kaplama taş,kapı mermerden sütun ve sütun başlığı şeklinde soveli,üsttebasık kemer üzerinde ortadaortada kilit motifi vardır.Silme üzerinde kitabe vardır.Üzerine beton harç sürülmüştür.Kitabenin bazı okunan harfleri "IANFON...../ANAPON...../IİPO ANKAIA...."Pencereler mermer kirêç taşından pervazlandırılmıştır.İkinci kat ile çatı altı silmeleri dış motiflidir.Yan duvarlar ve doğu duvarı moloz taş ve tuğla üzeri sıvadır. Sıva üzeri taş şekli verilmiş derzlidir.İçte sütunlarla üç nefe ayrılmıştır.5'er sütunludur.Sütunlar geniş ceviz ağacından olup,üzeri sıvalıdır. Çatı ahşap olup ,tonoz örtü sistemi badadidir.Sıva üzerinde kemerler arasında, panolar halinde stilize edilmiş bitki motifleri görülmektedir.Çatı tamamen çökmüş, örtü sistemi yok olmuştur. Çatının mevcut olan kısmında her an tehlike arz etmektedir. kilsenin içi samanlık ve hayvan barınağı olarak kullanılmaktadır.							
YATIN DİZİNİ :		EKLER :		TENDİC BİLGİLER		Kazılıncaya	
		RAPOR		BU		ELEKTRİK İSİTMA	
		FOTOĞRAF		ORJİNAL KULLANIMI :		KILISE	
		RÖLÜVE PROJESİ		BUGÜNKÜ KULLANIMI :		Kullanılmıyor	
		RESTORASYON PROJESİ		ÖNERİLEN KULLANIMI :		Kutuphane Düğün Salonu	
		HARİTA		HAZIRLAYANLAR :		Imran Erkökalken Turhan Kayabey Hale Zehra Sekmen	
		KROKİ		KONTROL EDENLERİ :		22.9/1989	
		KİTABE		G.E.E.A.Y.E. ONAYI		NO. :	
		VAKFIYE		REVİZYON		G.E.E.A. Y.E. KARARLARI	

Şekil 3.8. Yapıya ait tescil fişi (BKVKBK arşivi)



Şekil 3.9. Yapıya ait eski fotoğraflar (BKVKBK arşivi)

Balıkesir ili, Erdek ilçesi, Ballıpınar Köyü'nün merkezinde yer alan kilise kendi parselinin tamamına oturmakta olup 2 katlı yapıların arasına sıkışmış konumdadır. Yapının kuzeyinde yapıya bitişik ev ve müştemilatı, güneyinde dar bir sokak ve yakın mesafede ev sırası, girişin önünde ise küçük bir meydan bulunmaktadır. Arka cephesinde de yakın mesafede evler bulunmaktadır (Şekil 3.10).



Kilisenin köy içindeki konumu



Şekil 3.10.Yapının köy içindeki konumu

3.5.1. Yapının Tarihçesi:

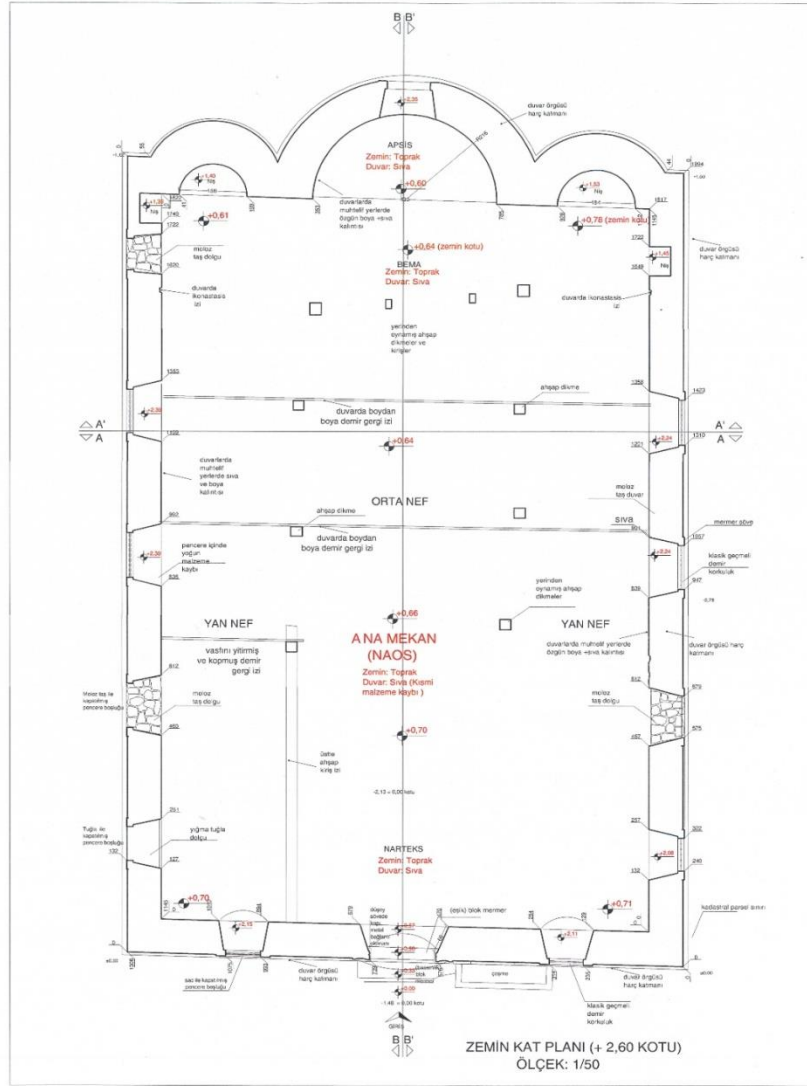
Kilisenin bulunduğu ve ilk ismi Langada olan daha sonra Kocaburgaz ve Ballıpınar adlarını alan bu köyde 1924 Mübadelesi öncesi Rumlar yaşamıştır. Cumhuriyet kurulduktan sonra; 30 Ocak 1923 tarihinde, Türkiye Büyük Millet Meclisi Hükümeti ile Yunan Hükümeti arasında, Türkiye’de yerleşik Rum-Ortodokslar ile Yunanistan’da yerleşik Türk-Müslümanların zorunlu göçünü öngören Mübadele Sözleşmesi imzalanmıştır.

Yunanistan'ın Balkan Savaşı'na katıldığı tarih olan; 18 Ekim 1912 tarihinden itibaren yurtlarını terk etmiş olanları da kapsamına alan bu sözleşme ile yaklaşık 2.000.000 kişi doğdukları toprakları terk etmek zorunda kalarak bölgedeki Rum-Hristiyan nüfus Yunanistan'a gönderilmiş, Yunanistan'ın Rumeli Selanik Sancağı, Drama Livası, Kavala Kazası, Kokala Köyünden getirilen Türk-Müslüman nüfus da Erdek ve çevresindeki köylere yerleştirilmişlerdir. Mübadeleye tabi tutulanlar; günümüzde Ballıpınar köyü ile birlikte, Yukarıyapıcı köyü ve Düzler'de yaşamaktadırlar. Eski adı olan Kocaburgaz adını köyü eskiden çevreleyen kalelerden aldığı ve 'burgaz'ın kale demek olduğu kaynaklarda yer almaktadır. Daha sonra Ballıpınar olarak değiştirilmesinin nedeni bal yetiştiriciliğine elverişli oluşu ve pınarın köyün içinden geçmesindedir. Tamamı Pomaklardan oluşan halkın Müslüman olması nedeniyle kiliseler işlevlerini yitirmiş ve kullanılmamıştır. Ballıpınar Kilisesi de zamana ve şartlara yenik düşmüş, köy halkı tarafından bir dönem cami olarak kullanılmış, yeni caminin yapılmasıyla bakımsız kalmış, zamanla çatısının çökmesiyle günümüzde oldukça harap bir yapıdır. Yer aldığı Ballıpınar Köyü nedeniyle Ballıpınar Kilisesi olarak bilinmektedir.

Yapı üzerinde yer alan kitabede 1895 tarihi görülmektedir. Buradan, Erdek İlçesi, Narlı Mahallesi,11 pafta,1089 parselde yer alan Aziz Dimitrios Kilisesi ile yakın dönemde yapıldığı anlaşılmaktadır. Adının Meryem Ana Kilisesi olduğu, 1895 yılında yapıldığı ve sahildeki Yeni Cami inşa edilene kadar cami olarak kullanıldığı kaynaklarda yer almaktadır (Aksoy Mimarlık, 2015).

3.5.2. Plan Özellikleri:

Dikdörtgen planlı (yaklaşık 13,06 m x 19,88 m) olan Ballıpınar Kilisesi, doğu-batı yönleri doğrultusunda uzanmaktadır. Kilisenin dış duvar uzunlukları; batı kenarı 13,06 m, kuzey kenarı 19,88 m, doğu kenarı 13,06 m ve güney kenarı 19,82 m'dir (Şekil 3.11). Yapıya bitişik olan konut kütleleri dolayısıyla kilisenin varlığı bulunduğu sokağa girmeden anlaşılarmamaktadır. Batı-doğu yönünde uzanan kilisenin batı cephesi küçük bir meydana bakmaktadır. Kiliseye ana giriş bu meydana, yapının batı cephesinden sağlanmaktadır (Aksoy Mimarlık, 2015).



Şekil 3.11. Yapının Planı

3.5.3. Erdek Ballıpınar Kilisesinde Kullanılan Malzemeler

Yapılan yerinde incelemeler sonucunda Erdek Ballıpınar Kilisesi'nin mevcut durumu ve malzeme özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Yapı giriş kapısının üzerinde bulunan tarihe göre 1895 yılında inşa edildiği anlaşılmaktadır. İlk zamanlarında Rumlar tarafından kilise ve Türkler tarafından cami olarak kullanılan yapı, bazı dönemlerde samanlık ve barınak olarak kullanılsa da günümüzde herhangi bir amaçla kullanılmamaktadır. Ballıpınar Kilisesi plan tipi ve mimarı özellikleri incelendiğinde kilisenin dikdörtgen planlı yapısının ölçüleri yaklaşık olarak 13x20 m. boyutlarındadır. Kilise, 3 nefli, bazilikal plana sahiptir. Apsis yapı içinde ve dışında dairesel planlıdır. Apsisin her iki yanında dairesel kemerli bir niş mevcuttur. Girişin solunda bulunan merdivenlerle ulaşılan galeri katı günümüzde tamamen yok olmuştur. Yapının batı cephesinde bulunan yuvarlak kemerli giriş kapısı dışında kuzey cephesinde iki adet, güney cephesinde ise bir adet olmak üzere toplam üç adet giriş kapısı bulunmaktadır. Üç ayrı kademede yer alan pencereler iç kısımları sıvalı olup dışta mermer söve ile çevrilidir. Tüm pencere boşlukları dışarıya doğru daralmaktadır. Kilisenin ana girişi batı cephesindedir. Yapı dışarıdan incelendiğinde 3 kata ayrılmış şekilde görülmektedir. Kiliseye sokak zemininden iki basamakla ulaşılmaktadır. Kilise giriş kapısının her iki tarafında dikdörtgen biçiminde mermer söveli pencereler, bir adet kapı ve kilisenin üst katında ise yuvarlak kemerli pencereler ile her iki tarafı dikdörtgen biçiminde mermer söveli iki adet pencere bulunmaktadır. Kilisenin giriş kapısının üst bölümünde mermer söveli bir adet haç bulunmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Kilisenin giriş kapısı

Kapının üzerinde mermer levha üzerine yazılmış olan bir Kitabe'den yapının 1895 yılında inşa edildiği anlaşılmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kilisenin üstündeki yazıt

Cephede büyük boyutlu kesme taş görünümü veren kalın bir sıva tabakası bulunmaktadır. Sıvanın yer yer dökülmesi ile duvarı oluşturan taş, tuğla ve mermer elemanlarının varlığı görünür hale gelmiştir (Şekil 3.14). Yapının güney cephesinde örülerek kapatılmış bir kapı ile biri küçük ikisi büyük 3 dikdörtgen biçiminde dairesel kemerli pencere bulunmaktadır. Kilisenin kuzey cephesinde 2 adet kapı ve 3 adet pencere bulunmaktadır. Pencerelerden ikisinde metal parmaklıklar mevcuttur. Doğu cephesinin alt kesiminin apsisinde yan nişlerin yaptığı çıkıntı oluşturmaktadır. Alt kademedeki dikdörtgen biçiminde mermer söveli olmak üzere 4 adet pencere mevcuttur. Apsisin ve yan nişlerin dış cephedeki dairesel çıkıntıların üstünde kiremit çatı örtüsü bulunmakta ve galeri katına kadar yükselmektedir. Doğu cephesinin alt kesiminde tuğla olduğu sanılan saçaklar mevcuttur. Saçaklar incelendiğinde saçaklara ilişkin malzeme kayıpları olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.14. Kilisenin ön sağ cephe görünümü

Yapının içi incelendiğinde herhangi bir bölücü duvar olmadığı görülmektedir. Yapı içerisinde geçmişten günümüze taşınan yapıyı neflere ayıran kare kesiti olan ahşap sütunların olduğu, bunların ise birbirlerine yuvarlak ahşap kemerlerle bağlandığı saptanmıştır. Bu sütunlar günümüz tarihine gelene kadar çoğu devrilmiş ve taşıma özelliğini yitirmiştir. Yapının zemin bölümü incelendiğinde herhangi bir kaplama malzemesine ait bir bulguya rastlanmamıştır. Kilisenin beden bölümü ise kagir yapıdan oluşmaktadır. Sıvaların zarar gördüğü bölümlere bakıldığında sıva altında kalan kısımlarda irili ufaklı kaba taş ve tuğla malzemedan inşa edildiği ve yer yer devşirme mermer parçalarında kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu malzemelere ek cephelerde metal kılıç elemanlarının da olduğu incelenmiştir. Aşağıya ekteki Şekil 3.15'de kilise yapısı görülmektedir (Ayengin 2018)



Şekil 3.15. Kilise apsisi

3.6. Yapıların Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Yapıya ait dinamik parametrelerin belirlenmesi için kullanılan modal analiz yöntemi genel olarak teorik ve deneysel yöntemler olarak iki başlık altında incelenebilmektedir. Teorik modal analizde, yapının kütle, sönüm ve rijitlik özellikleri kullanılarak fiziksel bir tanımlama yapılarak yapının analitik modeli elde edilir. Analitik model üzerinden sönümsüz dinamik hareket denklemi aracılığıyla yapının doğal frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları elde edilerek, yapının modal modeli oluşturulur. Bu analizde yapıya dış yük uygulanmadığı varsayıldığı için elde edilen değerler doğal değerler olarak adlandırılmaktadır. Oluşturulan modal analiz modeli üzerinden, yapının verilen sınır şartları ve yüklemeler altında vereceği tepkiler hesaplanır. Frekans ve itme davranışı olarak adlandırılan bu tepkiler kullanılarak yapının davranış modeli oluşturulur (Ercan 2010).Yapı analitik modellerinin oluşturulması veya yaklaşık yöntemleri temel alan teorik modal analiz yöntemi; yapının malzeme özelliklerindeki belirsizlikler, deprem ve patlama gibi ani dinamik etkilerle yapıda oluşabilecek hasarların tam olarak bilinmemesi, analiz içindeki belirsizlikler nedeniyle yapıların

gerçek dinamik parametrelerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır (Boru ve Kutanis 2015). Yapıların gerçek dinamik parametrelerinin belirlenmesi isedeneyysel yöntemler ile mümkün olabilmektedir.

Mekanik bir yapının modal parametrelerinin belirlenmesi için güvenilir sistem tanımlama algoritmalarının geliştirilmesine dayalı bu deneysel yöntemler, zamanla deneysel modal analiz yöntemleri olarak tanımlanmıştır (Reynders ve De Roeck 2008). Deneysel modal analizi, teorik modal analizde varsayılan kabullerin gerçekte sağlanıp sağlanmadığının tespit edilmesi, teorik modal analizinin yapılması mümkün olmayan sistemlerin dinamik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi ve kullanılmış veya hasar görmüş yapıların durumlarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır (Bayraktar ve Türker 2005). Bu yöntem, yapılardaki titreşimleri dikkate alarak yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesini temel alır (Ercan 2010). Bu titreşimler yapının malzeme özellikleri (kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri) ve sınır koşulları ile belirlenir (Schwarz ve Richardson 1999). Deneysel modal analiz, yapıya bilinen (ölçülen) bir kuvvet verilerek yapının bu kuvvete tepkisini ölçmeyi temel almaktadır. Bu yöntemde yapıya kuvvet uygulamak için çekiç, yapının tepkisini ölçmek için ivmeölçer ve verileri değerlendirmek için bir sinyal analizör kullanılmaktadır (Bayraktar ve Türker 2005). Deneysel modal analiz yöntemleri test yapısına uygulanan kuvvetlerden ve titreşim tepkilerinden modal bir model tanımlayan analiz tekniğidir. Bu teknikte, yapının dinamik davranışı farklı rezonans modlarının doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade edilir. Her rezonans modu bir rezonans frekansı, sönüm oranı, mod şekli ve katılım vektörü ile tanımlanır. Bu modal parametreler, yapının geometrisine, malzeme özelliklerine ve sınır koşullarına bağlıdır. Yapının titreşimleri, yapının doğal özellikleri olan rezonans modlarından kaynaklanır. Deneysel modal analiz teknikleri ile sistemin dinamik değişkenleri olan doğal frekanslar ve bu frekanslara karşılık gelen modal şekiller ve sönüm oranları hesaplanabilmektedir. Sistemin dinamik değişkenleri, sistemdeki kütle miktar ve dağılımıyla sistemi oluşturan elemanların sıklığı ve dağılımı arasındaki ilişki ortaya koymaktadır. Sönüm oranları ise harekete maruz kalan sistemin malzemesi dahilinde ve elemanları arasında oluşan iç sürtünmelerin veya tüketilen enerjinin bir ölçüsü olarak belirlenir. Modal analizin temel ve zemin etkileşimlerini ele almasından dolayı diğer tekniklerden farklılaşmaktadır (Dönmez ve ark. 2009).

Bir yapının parametrelerinin belirlenmesine kullanılan bu deneysel modal analiz yöntemleri, oluşturulan yapay uyarım kuvvetlerinin yapının toplam tepkisine katkısının oldukça düşük olması ve daha büyük yapıların parametrelerinin belirlenmesinde yetersiz kalması nedeniyle eleştirilmiştir (Reynders ve DeRoeck 2008). Bu nedenle yapıların deney ortamı dışında gerçek çevresel koşullarda (taşıt trafiği, deprem, rüzgar, deprem, dalga hareketleri, türbülans gibi) yapıların dinamik karakteristiklerinin ölçülmesini sağlamak amacıyla Operasyonel Modal Analiz Yöntemi geliştirilmiştir (Cauberghe 2004). Operasyonel modal analizi hizmet durumundaki bir yapıdan gerçek zamanlı veri toplanarak yapılan özel bir modal analiz yöntemidir (Ercan 2010). Deneysel modal analiz yönteminde yapı dıştan belli bir etkiyle titreşime maruz bırakılmakta (sarsma tablası, darbe çekici ve shaker) ve yapının bu etkiye verdiği tepki olarak ölçülmektedir. Operasyonel modal analiz yönteminde ise yapı bilinmeyen çevresel etkiler (rüzgar, insan hareketi, taşıt yükü gibi) ile titreşime maruz kalması sonucu yapının bu etkilere verdiği tepki ölçülmektedir (Dahil ve Karabulut 2011). Operasyonel modal analizi, yapıların dinamik karakteristikleri olarak adlandırılan doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranlarının deneysel olarak sonuçlanması sağlanmaktadır (Bayraktar ve Türker 2005).

Operasyonel modal analizi yöntemi girdi olarak trafik, dalga, rüzgar ve sismik etki gibi çevresel etkileri kullanmaktadır. Gerçek şartlar altında yapıların dinamik karakteristiklerin belirlenmesine imkan vermesi, ölçüm esnasında yapının kullanımını kesintiye uğratmaması, hızlı ve ucuz olması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Bu teknik kullanılmadan önce yapılar sadece dikey yüklerin eylemine odaklanılarak incelenirken, bu yöntemin kullanımıyla yapılardaki dikey ve yatay yüklerin eylemlerini incelenmek mümkün hale gelmiştir (Foti ve ark. 2012, Kömür ve ark. 2015).

Yapıya özgü belirli problemlerin çözülmesi için kullanılan operasyonel modal analizi yöntemi son yıllarda binalar, kuleler, köprüler ve deniz aşırı platformlar gibi çeşitli mühendislik alanlarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Kömür ve ark. 2015).

3.7. Ballıpınar Kilisesinin Mekanik ve Titreşim Deneyleri ile Yapısal Analizleri

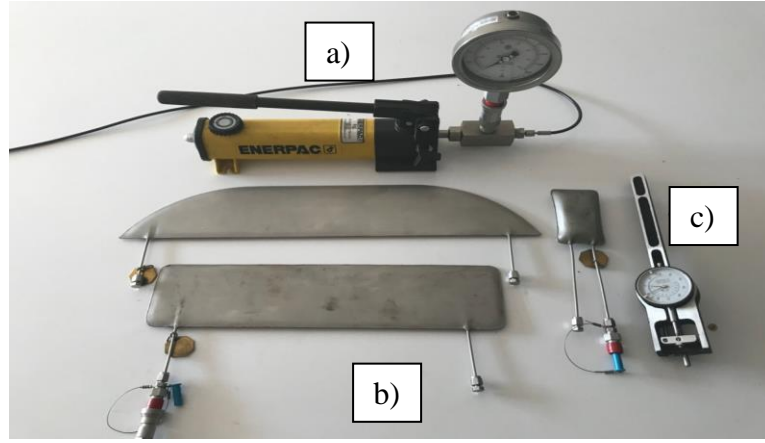
Kilisenin yapısal analizleri öncesinde duvarların mekanik kalite durumu ve doğal titreşim frekanslarının tespit edilmesi gerekmektedir. En doğru sonuçları elde etmek için bu testlerin yapı üzerinde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle Kilisede flatjack, shear (kayma) testleri ve titreşim testleri yapılmıştır. Ayrıca kiliseden alınan malzemeler ile laboratuvar ortamında birim hacim ağırlık testi yapılarak, sonlu eleman yönteminde kullanılmak üzere malzeme parametreleri elde edilmiştir.

Bu testler sonucunda da flatjack testi ile duvarların basınç mukavemeti, shear testi ile kayma dayanımı bulunmuştur. Sismik ivme ölçerler yardımıyla yapılan operasyonel modal analizi ile yapıya anlık etkiyen doğal yükler ile titreşim frekansları bulunarak yapının daha büyük dinamik yükler altındaki davranışı incelenecektir.

Aşağıda Bölüm 3.7.1 Flatjack testi, 3.7.2 Shear (kayma) testi ve 3.7.3 Kilisede Yapılan Titreşim Testleri (Operasyonel Modal Analiz Yöntemi) kısımlarının oluşturulmasında proje sonuç raporu kabul edilerek sonlandırılan 117M871 no'lu "Bursa Dereköy ve Aydınpınar Kiliseleri İle Erdek Ballıpınar Kilisesi'nde Kullanılan Malzemelerin Karakterizasyonu ve Strüktürel Davranışlarının Belirlenmesi" isimli TÜBİTAK projesinden yararlanılmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).

3.7.1. Flatjack testi

Flatjack testi, yapıların strüktürel analizleri için kompozit duvarların mekanik kalitesini belirlemek için yapılan testtir. Flatjack testi ince metalden üretilen kapalı bir hücrenin duvarda harç tabakasında açılan bir deliğe yerleştirilmesi ve hidrolik yağ basıncıyla şişirilmesiyle duvarlarda oluşan gerilme ve deplasmanların ölçülmesidir. Aşağıdaki resimde kilisede flatjack testi için kullanılan aletler görülmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Flatjack test ekipmanları a) Hidrolik pompa b) Plakalar c) Deplasman ölçer

Flatjack testi için harç numunesinde açılan yuvaya flatjack plakaları yerleştirilerek hidrolik pompayla yağ basıncı uygulanır (Şekil 3.17). Deplasman ölçerlerin duvarda sabitlenebilmesi için flatjack plakalarının alt ve üstüne pimler yerleştirilir. Hidrolik pompayla uygulanan basınç (bar ve psi) ve deplasmanlar sürekli okunurarak test gerçekleştirilir. Kilisede tek plaka kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Deneyler zeminden yaklaşık 1,5 metre yüksekliğinde uygulanmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).



Şekil 3.17. Flatjack test uygulamasına ait fotoğraflar

Basınç gerilmesi ve elastisite modüllerinin hesaplanması:

Flatjack testi ile ilgili olarak ASTM C1196-09 ve C1197-14 basınç gerilmesi ve elastisite modülünün elde edilmesi ile ilgili olarak aşağıdaki formülleri belirlemiştir.

Basınç gerilmesi hesabı:

$$f_m = K_m \cdot K_a \cdot p \quad (3.1)$$

K_m = Birimsiz bir değişken olup flatjack plakalarının geometrik ve rijitlik özelliklerini ifade eden kalibrasyon katsayısıdır.

K_a =Flatjack plakalarının yerleşimi için açılan yuvanın ortalama alanı ile plaka alanının oranını ifade eden katsayıdır.

p = Flatjack basınç değeri, psi veya MPa

f_m = Basınç gerilmesi değeri

Gerilme düzeyleri arasındaki elastisite modülünün hesaplanması:

$$E_t = \frac{\delta f_m}{\delta \epsilon_m} \quad (3.2)$$

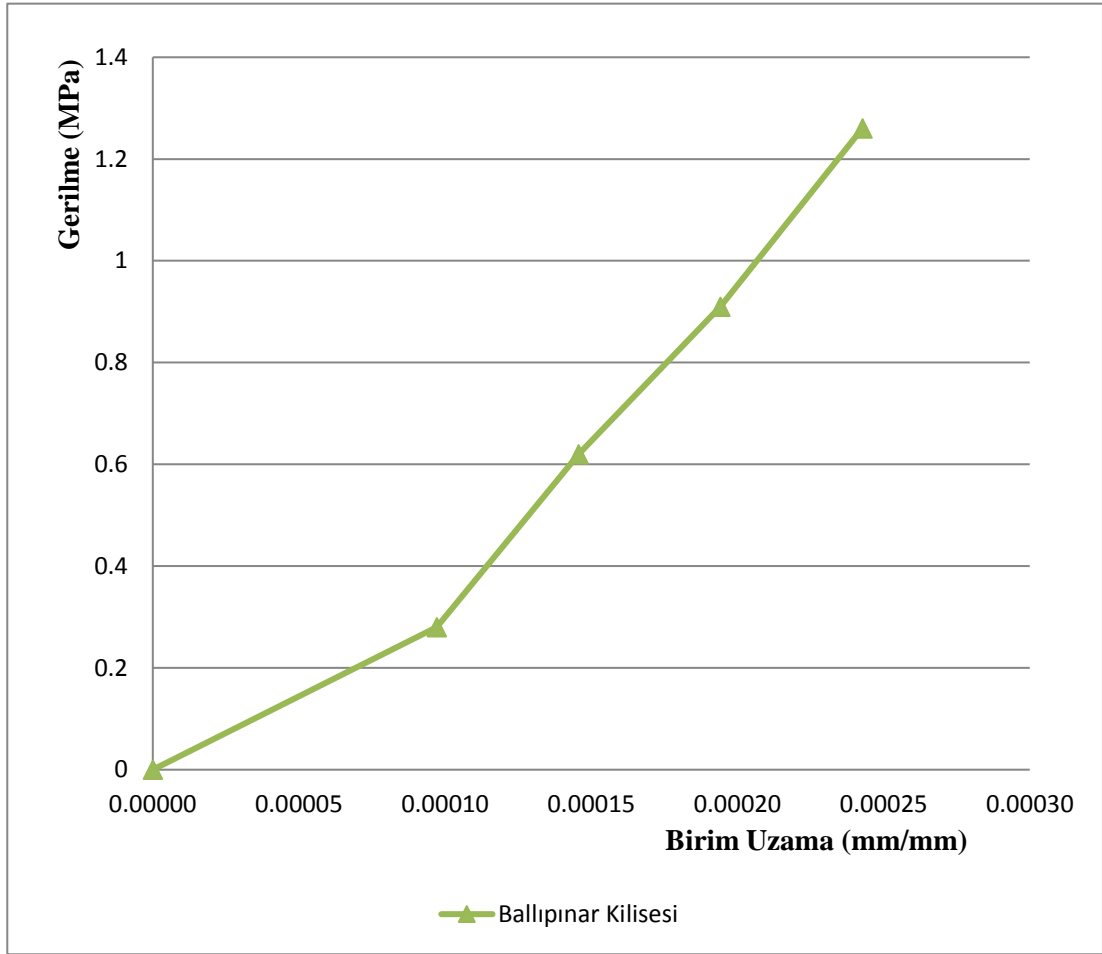
δf_m =Gerilme düzeyleri arasındaki artış, psi veya MPa ve

$\delta \epsilon_m$ =İlgili birim uzamadaki artış şeklindedir.

Ayrıca duvar elastisite modülü ASTM C1314-3'de maksimum duvar basınç dayanımının %5'i ile %33'ü arasındaki eğim olarak da tariflenmektedir (Çizelge 3.1).

Basınç gerilmesi hesaplarında K_m kalibrasyon katsayısı üretici firma değerlerine göre 0,7 olarak alınmıştır. Ballıpınar Kilisesinde ölçülen en büyük basınç gerilmesi $f_m=1,26$ MPa olarak hesaplanmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).

Çizelge 3.1. Kilise duvarlarında oluşan gerilme-uzama grafiği



ASTM C1197-14 ve C1314-3'teki hesaplamalara göre Kilise duvarlarında Elastisite Modülü değerleri ortalama olarak Ballıpınar Kilisesinde $E=6$ GPa olarak tespit edilmiştir (K. Bağbancı ve ark. 2019).

3.7.2. Shear (kayma) testi

Shear testi kompozit duvarların kayma dayanımını belirlemek için yapılan testtir. ASTM C1531-16'da shear testinin uygulama biçimleri ve kullanılacak teorik formüller yer almaktadır. Deneylede yığıma biriminin her iki yanındaki düşey düzlemdeki harç tabakaları boşaltılır ve metal plaka, harcı boşaltılmış iki bölgeden biri tercih edilerek yerleştirilir. Hidrolik yağ basıncıyla plaka şişirilir ve yığıma birimi alt ve üst harç tabakalarından sıyrılıncaya kadar bu işlem devam ettirilir. Yığıma biriminin harç tabakasından sıyrıldığı andaki hidrolik pompayla uygulanan basınç (bar ve psi) değeri okunur ve kayma dayanımı değeri teorik formüllerle bulunur (Şekil 3.18). Bu deney

yönteminde deplasmanların tespit edilmesi gerekmemektedir. Kilisede uygulanan deney zeminden yaklaşık 1,5-2 metre yüksekliğinde uygulanmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).



Şekil 3.18. Shear testi öncesi ve sonrasında harçtan sıyrıldığı ana ait fotoğraflar

Kayma dayanımının Hesaplanması:

Shear testi ile ilgili olarak ASTM C1531-16 kayma gerilmesinin elde edilmesi ile ilgili olarak aşağıdaki formülleri belirlemiştir.

Uygulanan yatay kuvvetin hesaplanması:

$$P_h = K_m \cdot A_f \cdot p \quad (3.3)$$

K_m = Birimsiz bir değişken olup plakaların geometrik ve rijitlik özelliklerini ifade eden kalibrasyon katsayısı,

A_f = Plakanın alanı,

p = Yığma biriminin kaymaya uğradığı basınç değeri, psi veya MPa,

Kayma dayanımının hesaplanması:

$$\tau = \frac{P_h}{A_j} \quad (3.4)$$

P_h = Uygulanan maksimum yatay kuvvet, psi veya MPa ve

A_j = Yığıma ünitesi alt ve üstündeki harç alanları

şeklindedir.

Kayma dayanımı hesaplarında K_m kalibrasyon katsayısı üretici firma değerlerine göre 0,7 olarak alınmıştır. Ballıpınar Kilisesi'nde ölçülen ortalama kayma dayanımları $\tau_s=0,45$ MPa olarak hesaplanmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).

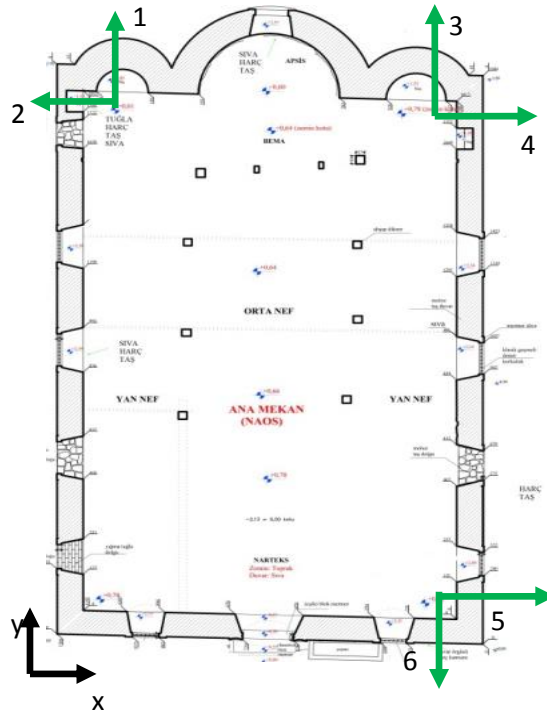
3.7.3. Kilisede Yapılan Titreşim Testleri (Operasyonel Modal Analiz Yöntemi)

Kilisenin doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik parametreleri tahribatsız test yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Birçok mühendislik probleminin çözümünde, yapının sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra statik ve dinamik hesapların güvenilirliği açısından mutlaka yapılması gereken bir testtir. Titreşim testi yapılmadan sadece yapıda kullanılan malzemelerin basınç ve elastisite modülü değerleri dikkate alınarak yapılan çözümler gerçekçi olamamaktadır. Yapı malzemesinin zamanla dayanımını yitirmesi, yapının yapımı sırasındaki işçilik kalitesi, çatlama, yorulmalar, mesnet çökmeleri gibi nedenlerden dolayı parametrelerde değişiklikler olabilmektedir. Bu nedenle de dikkate alınan parametreler hatalı sonuçlar doğurmaktadır.

Kilisenin doğal titreşim frekansları Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Bu teknikte yapının çevresel etki ile titreştiği kabul edilmekte ve yapının bu titreşime gösterdiği tepkiler ölçülmektedir. Bu teknikler Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayırıştırma (GFOA) ve Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yöntemleridir (Bayraktar ve ark. 2010). Bu çalışmada GFOA yöntemi olan frekans ortamına dayalı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem bilinmeyen etki ve ölçülen tepki arasındaki bağıntılar literatürde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır (Bendat ve Piersol 1986, Raineri ve ark. 2007). Yöntemde analog ortamdan dijital ortama dönüştürülen her bir kayıttta pencereleme uygulandıktan sonra ayrıştırılmış fourier dönüşümü gerçekleştirilir. Daha sonra her blok için elde edilen değerlerin ortalamasına dayalı güç

spektral yoğunluk matrisi elde edilir. Çalışmada veri toplama ünitesinden aktarılan sinyaller Structural Vibration Solutions A/S tarafından hazırlanan Artemis Modal Standard 4.5 yazılımı ile kullanılabilir hale getirilmiştir (Structural Vibration Solutions, 2016).

Titreşim testleri Sensebox2010 dinamik veri toplama cihazı ve Sensebox7021 tek eksenli hassas ivme ölçerler kullanılarak yapılmıştır. İvme ölçerler $\pm 0,8g$ ölçüm kapasitesine sahip ultra düşük gürültülü sensörlerdir. Test süreleri yeterli verilerin toplanabilmesi için 30 dakika olarak belirlenmiştir. Frekans aralığı ise 100Hz. olarak alınmıştır. Testler birçok defa tekrarlanmıştır. Yapıların doğal titreşim frekanslarının tespit edilebilmesi için sensörler yapı duvarlarına birbirine dik yönlerde tespit edilmiştir. Gerek titreşim testleri gerekse de sonlu eleman modellerinin hazırlanmasında plan düzleminde uzun yöndeki duvarlara paralel olan yön y eksenini, duvarlara dik yön olan yön ise x eksenini olarak tanımlanmıştır. Sensörler kilise duvarlarına plan düzleminde göre aynı bölgelere ve birbirine dik olarak yerleştirilmiştir. Aşağıdaki resimde Ballıpınar Kilisesi duvarlarına yerleştirilen sensörlerin konumları gösterilmiştir (Şekil 3.19). Sensörler duvara sıcak silikon ile sabitlenmiştir (K. Bağbancı ve ark. 2019).



Şekil 3.19. Kilise duvarlarında sensör yerleşim planı Ballıpınar Kilisesi

Aşağıdaki resimlerde (Şekil 3.20, 3.21) ise Ballıpınar Kilisesinde yerleştirilen sensörler ve test ekipmanları gösterilmiştir (K. Bağbancı ve ark. 2019).



Şekil 3.20.BallıpınarKilisesi 1-4 no'lu sensörlerin yerleşimi



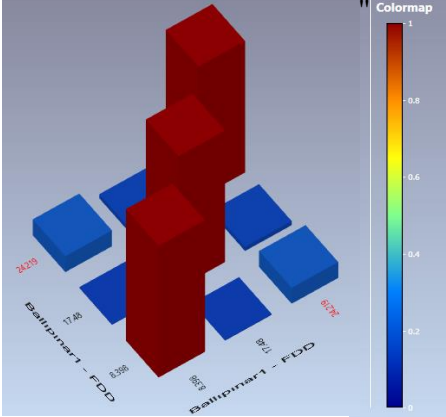
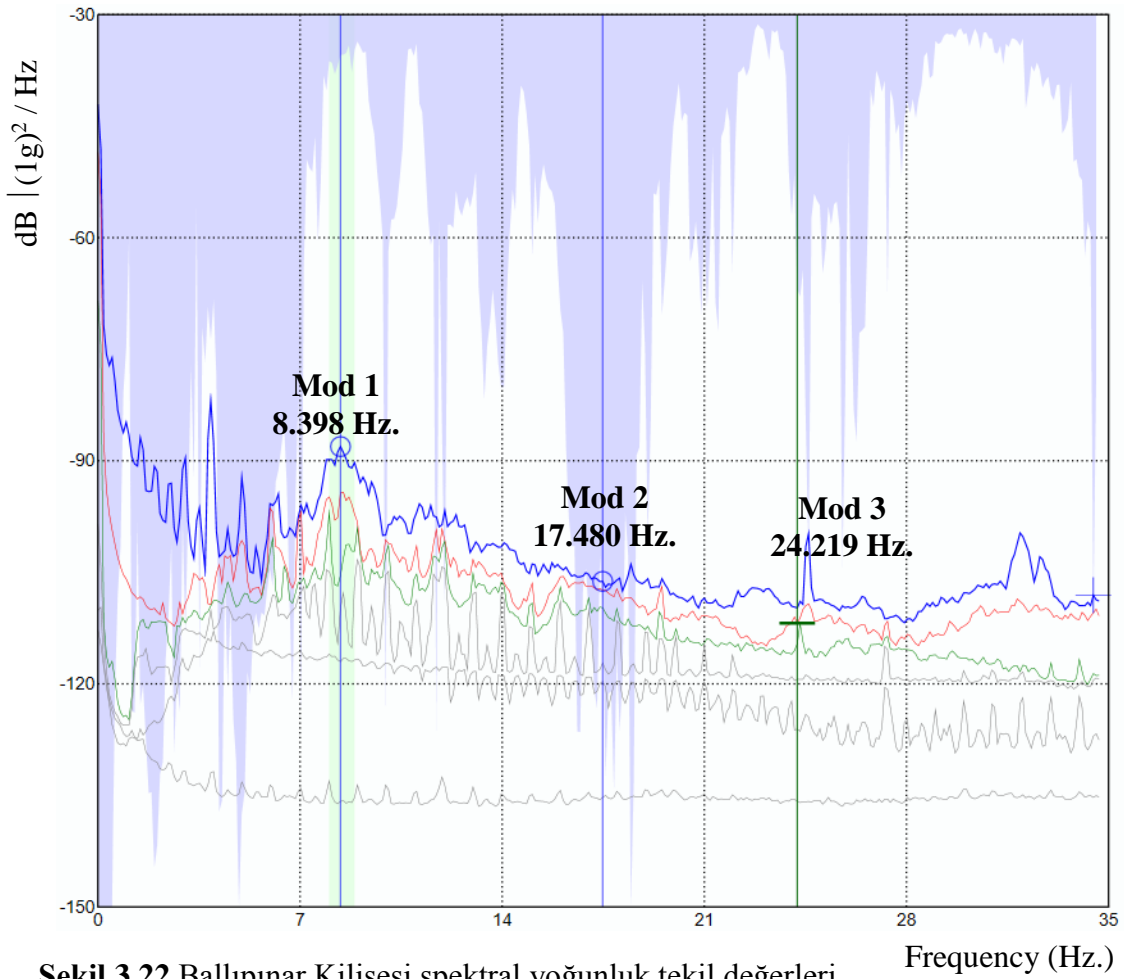
Şekil 3.21.Test ekipmanlarının hazırlanması

Test sonuçlarına göre Kilisede X yönündeki ilk 3 eğilme modu değeri tespit edilmiştir. Aşağıda Çizelge 3.2 ve Şekil 3.22'de sırasıyla test verilerinin modal güvenirliliği

(Modal Assurance Criteria-MAC) verileri ile tekil spektral yoğunluk grafikleri sunulmuştur (K. Bağbancı ve ark. 2019).

Çizelge 3.2. Ballıpnar Kilisesi MAC değerleri ve 3d grafiksel gösterimi

Mod	Mod 1 8.398Hz.	Mod 2 17.480Hz.	Mod 3 24.219Hz.
Mode 1 8.398Hz.	1	0.007	0.121
Mode 2 17.480Hz.	0.007	1	0.032
Mode 3 24.219Hz.	0.121	0.032	1

Şekil 3.22. Ballıpnar Kilisesi spektral yoğunluk tekil değerleri

Yapılan testlerle elde edilen doğal titreşim frekansları, kilisenin sonlu elemanlar modeli ile tespit edilen doğal titreşim frekanslarıyla karşılaştırılarak malzeme parametrelerinin elde edilmesinde kullanılmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).

3.7.4. Yapının Sonlu Eleman Modeli

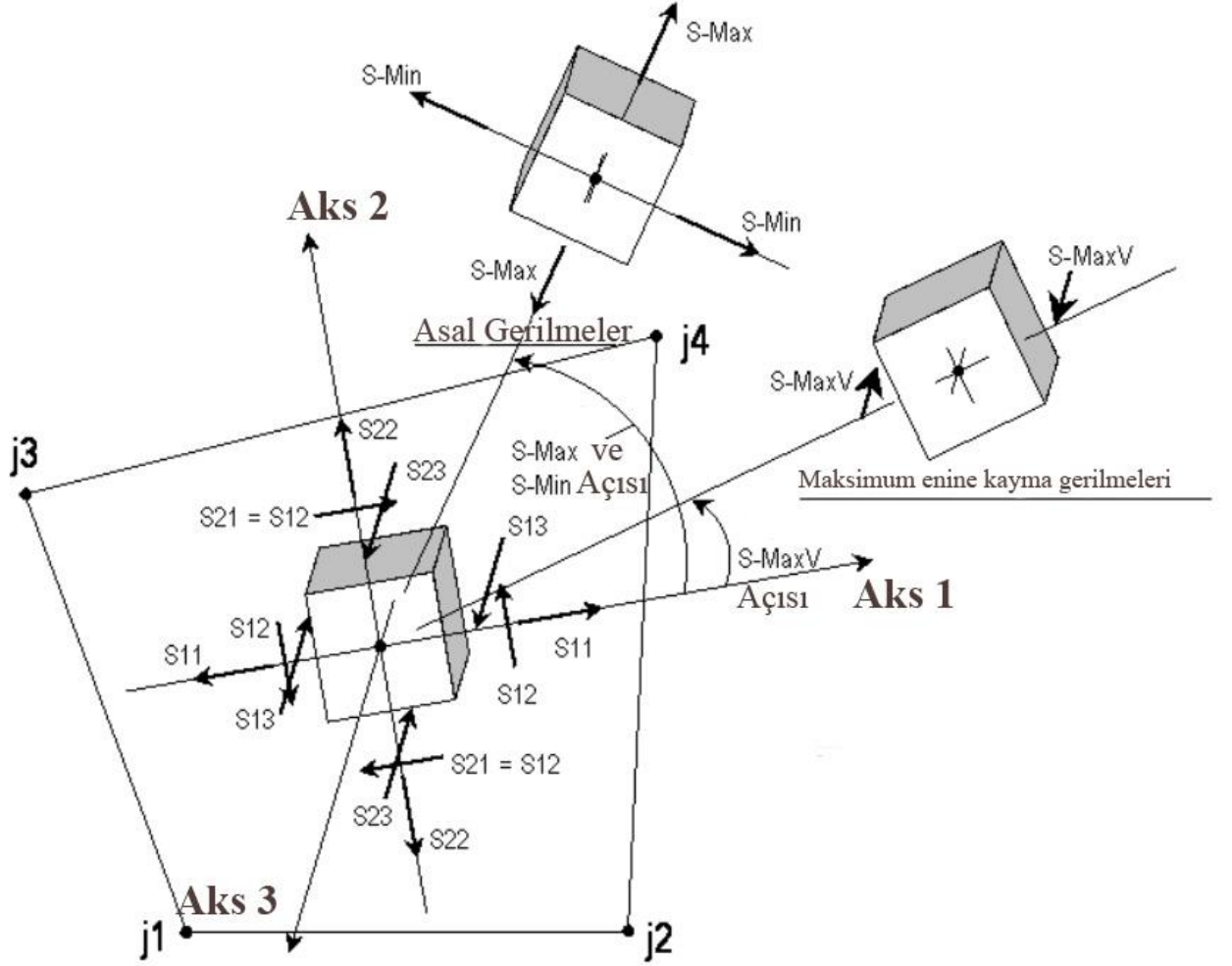
Ballıpınar Kilisesi'nin sonlu eleman modeli kabuk elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Sonlu eleman modeli SAP 2000 V20.2 programı yardımıyla yapılmıştır. Modelde 12699 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Kilisenin taban alanı 286m²'dir. Kilise duvarları yaklaşık 80~85 cm kalınlığındadır. Uzun yöndeki duvarlar 7 m. yüksekliğindedir. Kısa yöndeki duvarlar 9.30 m. yüksekliğinde olup kalkan duvar tepe yüksekliği 9.30 m.'dir. Yapının duvarları iç taban kotundan 1 metre aşağıda olmak üzere mesnetlenmiştir. Modelde kullanılan malzeme parametreleri yapı yerinde uygulanan flatjack, shearjack testleri ile laboratuvarda yapılan birim hacim ağırlık test sonuçlarına bağlı olarak tespit edilmiştir.

Aşağıdaki çizelgede yapının duvarlarının basınç ve çekme mukavemet değerleri, elastisite ve kayma modülü değerleri ile birim hacim ağırlık deneyinden elde edilen ağırlık değerleri gösterilmiştir (Çizelge 3.3). Poisson oranı ise yığma duvarlar için 0.1667 olarak alınmıştır (K. Bağbancı ve ark. 2019).

Çizelge 3.3.Yapıda Kullanılan Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Değerleri

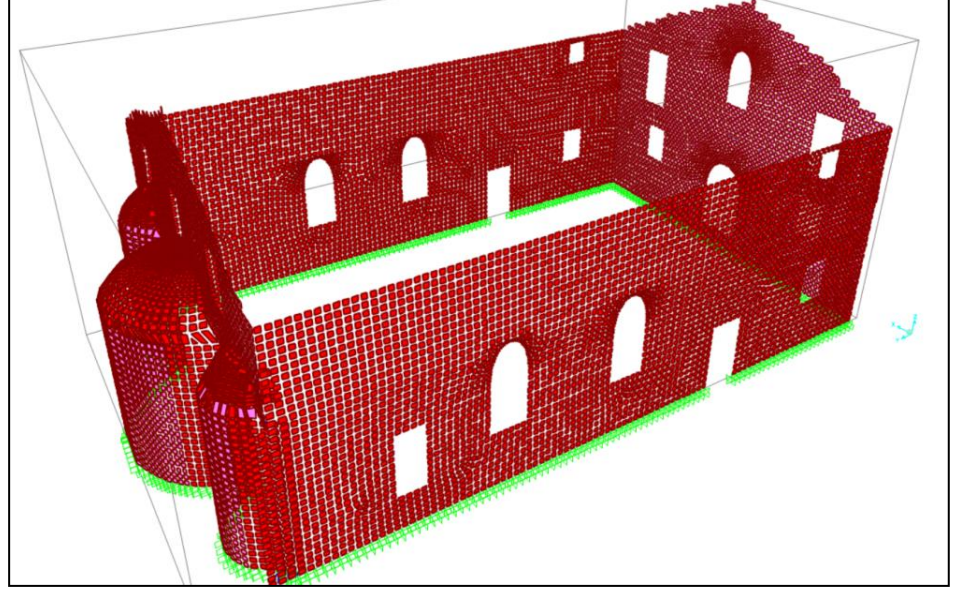
	Ballıpınar Kilisesi
Basınç mukavemeti (MPa)	1.26
Çekme mukavemeti (MPa)	0.13
Kayma mukavemeti (MPa)	0.45
Elastisite modülü (GPa)	6.00
Kayma modülü (GPa)	2.57
Poisson oranı	0.1667
Birim hacim ağırlığı (kg/m³)	2400

Kabuk elemanlarda oluşan S11, S22, S12, S13 ve S23 gerilmelerinin karşı geldiği yüzeyler Şekil 3.23'te gösterilmiştir. S-Max ve S-Min oluşabilecek en büyük basınç ve çekme değerlerini vermektedir. Çekme dayanımları yığma yapılarda daha önemli olacağı için bazı gerilme değerlerinde sadece SMax değerleri verilmiştir.

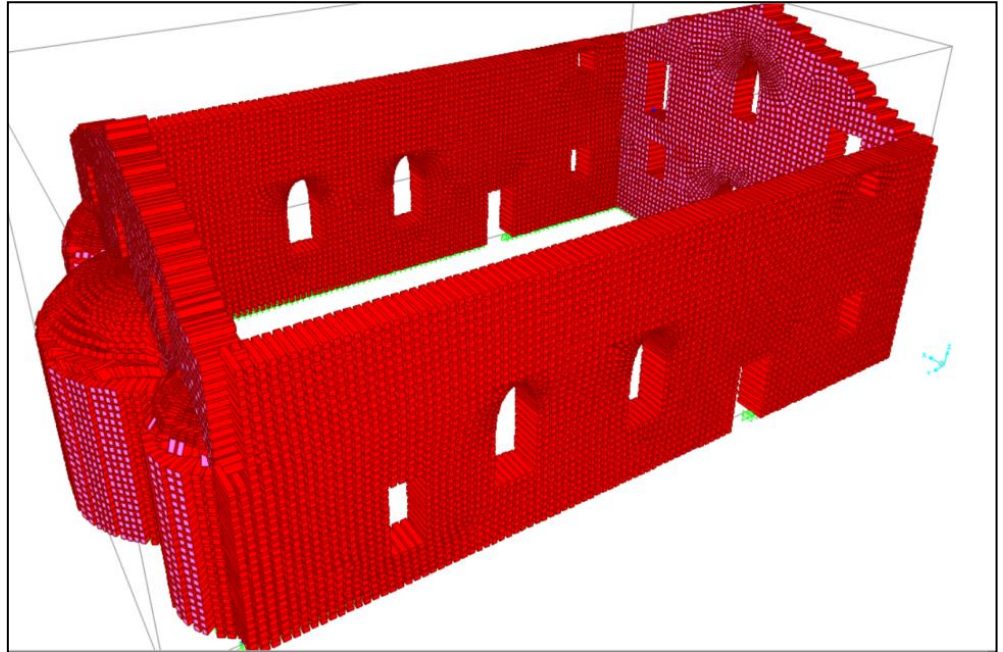


Şekil 3.23. Asal gerilmeler

Şekil 3.24 ve 3.25'te Ballıpınar Kilisesi'ne ait sonlu eleman modeli gösterilmiştir. Model shell (kabuk) elemanlardan oluşturulmuştur.



Şekil 3.24. Kilisenin kabuk modelleme görüntüsü

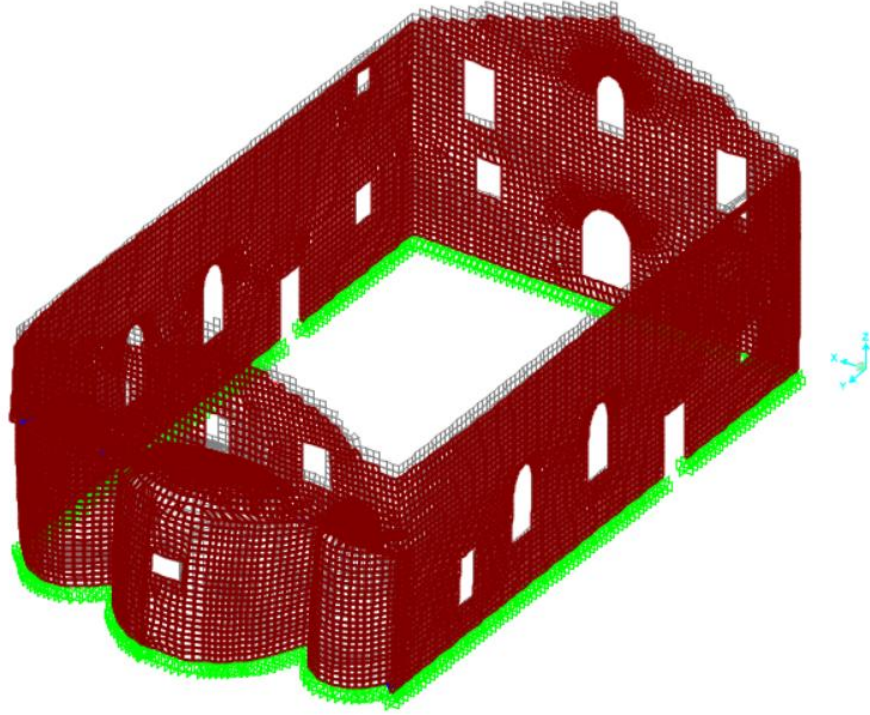


Şekil 3.25. Kilisenin modelleme görüntüsü

3.7.5. Kilisenin Kendi Ağırlığı Altındaki Analizleri:

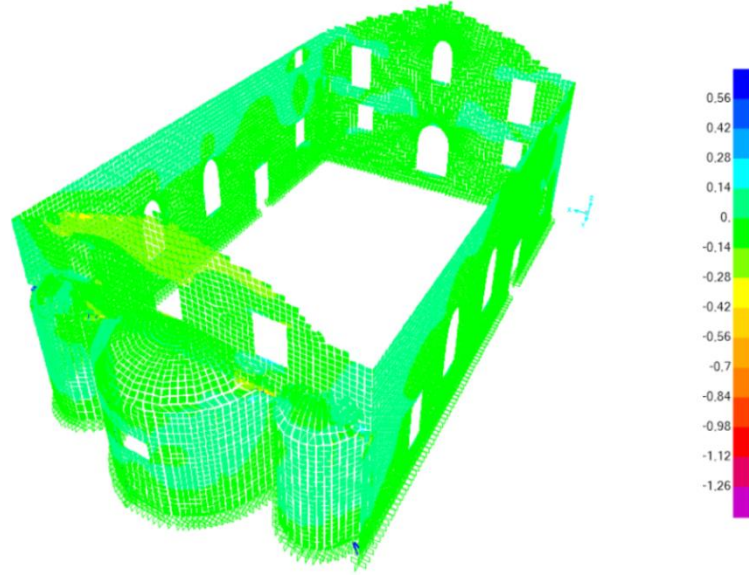
Yapının kendi ağırlığı altındaki (öz yükleri) analizi yerçekimi ivmesinin $-Z$ doğrultusunda yapıya etkilmesiyle oluşturulmuştur. Bu sayede kütle yükü dönüştürülmektedir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre yerdeğiştirme miktarının oldukça düşük düzeylerde kaldığı görülmektedir. Yapının döşeme yüklerinin olmaması nedeniyle beklenen bir durumdur. Yapının absis bölgesinde yarım kubbe üzerindeki kalkan duvarlarda en büyük yerdeğiştirmeler tespit edilmiştir. Buna rağmen yerdeğiştirme 0,2mm düzeyinde kalmıştır (Şekil 3.26).



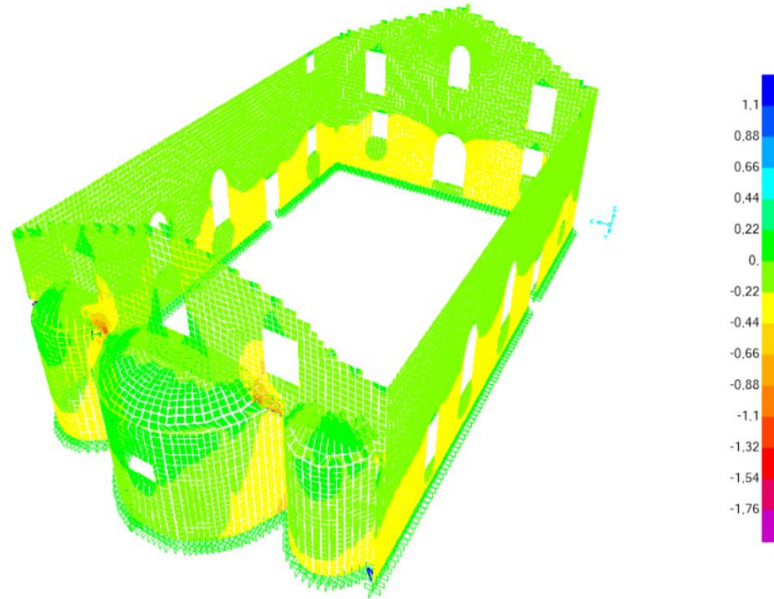
Şekil 3.26. Kilisenin kendi yükü altında yer değiştirmesi

Yapının kendi ağırlığı altındaki analizlerde sırası ile S11, S22, S12 ve S-Max gerilme düzeyleri incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda duvarlarda S11 gerilme değerleri maksimum 0.3MPa değerlerinde olup kubbe etekleri, pencere kenarları ve duvar birleşim bölgelerinde maksimum gerilme değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.27).



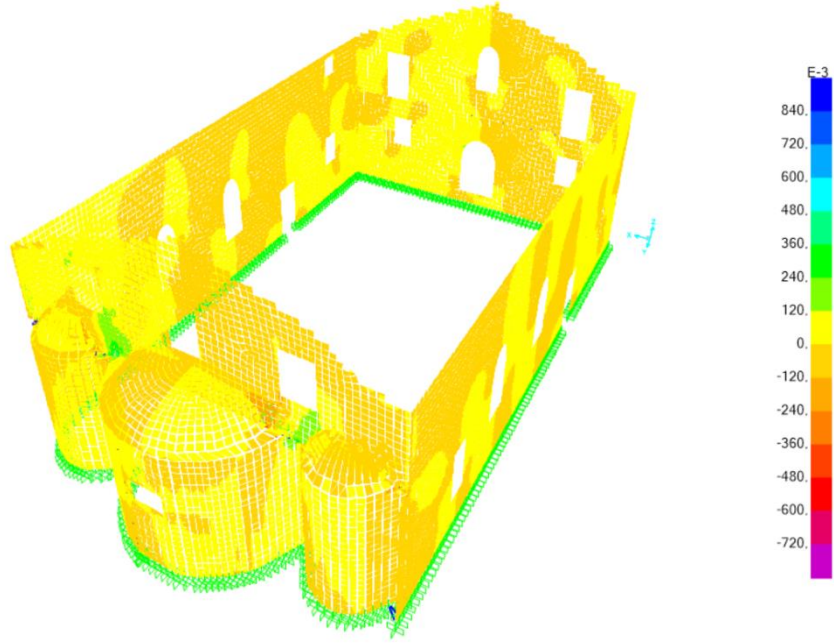
Şekil 3.27. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S11 gerilmeleri

S22 gerilmeleri ortalama maksimum absis bölgesinde yarım kubbe etekleri ile duvar birleşimlerinde 1 MPa değerlerinde olduğu duvar alt bölgelerinde ise 0.4MPa düzeylerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.28).



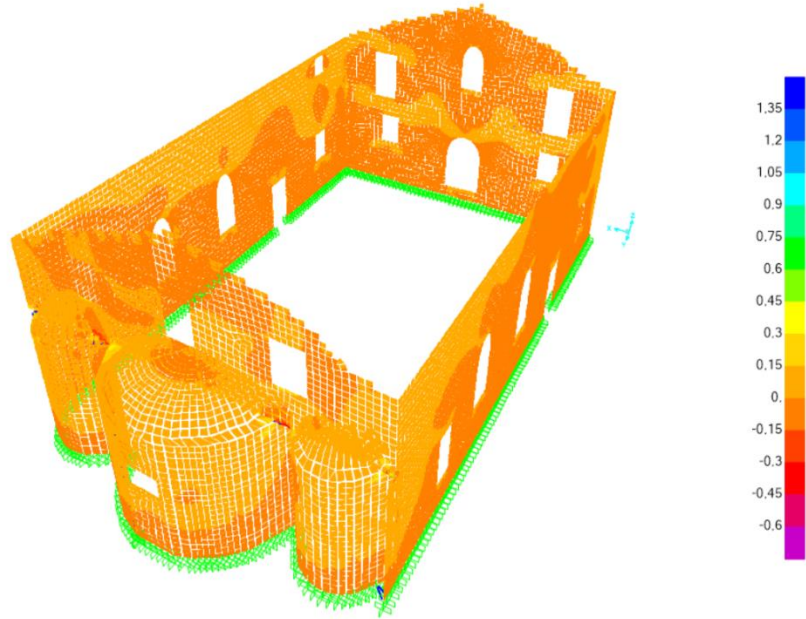
Şekil 3.28. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S22 gerilmeleri

S12 gerilmeleri ortalama maksimum absis bölgesinde yarım kubbe etekleri ile duvar birleşimlerinde 0.1MPa değerlerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S12 gerilmeleri

S-Max. gerilmeleri ortalama maksimum absis bölgesinde yarım kubbe etekleri ile duvar birleşimlerinde 0.1~0.2 MPa değerlerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Yapının kendi ağırlığı altındaki yükler sonucu S-Max. gerilmeleri

3.7.6. Kilisenin Modal Analizi

Yapının doğal titreşim periyodlarının hesabı deprem hesaplarının yapılabilmesi için önemlidir. Gerçekleştirilen özdeğer analizinde doğal (serbest) titreşim hareket denklemi:

$$[m]\{\ddot{y}\} + [c]\{\dot{y}\} + [k]\{y\} = \{0\} \quad (3.5)$$

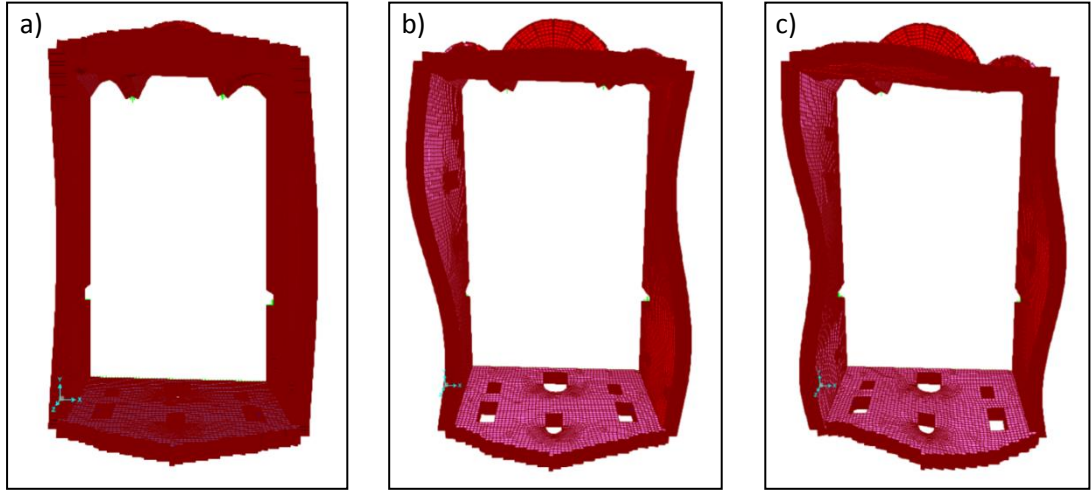
şeklindedir.

Bu denklemde sönüm terimleri ihmal edilerek, doğal titreşimin zamana bağlı ve kendini periyodik olarak tekrar eden bir vektör olduğu kabulüyle denklem sadeleştirilebilir (Polat, 2005). Buna göre denklem;

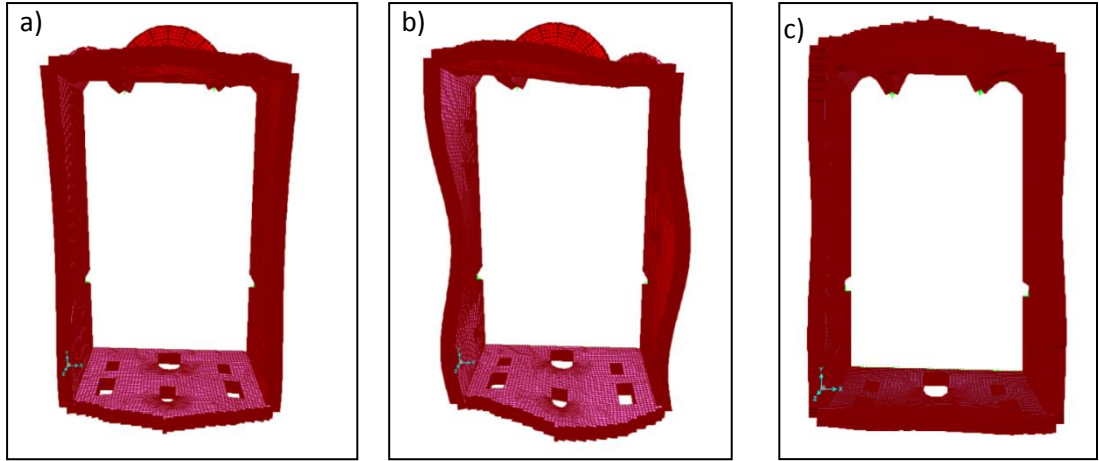
$$[[k] - w^2[m]]\{\phi\} = \{0\} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Verilen ifadedeki denklemi sağlayacak şekilde titreşim modu şekilleri ve frekansları bulunmaktadır. Analizler neticesinde yapının üst örtüsü bulunmadığı için ilk mod duvarlarda açılma ve kapanma şeklinde olmuştur. 2. mod X yönündeki ilk eğilme modu olup 3. mod ise Y yönündeki ilk eğilme modudur. 2. mod olan X yönündeki ilk eğilme modu için titreşim frekansı 9,55Hz, 3. mod olan Y yönündeki ilk eğilme modu için titreşim frekansı 11,13Hz olmaktadır. Aşağıdaki şekillerde yapının X ve Y yönündeki duvarlarda oluşan ilk 3 eğilme modları gösterilmiştir (Şekil 3.31, 3.32).

Çizelge 3.4'de ise ilk 50 moda ait frekans değerleri, kütle katılım oranları ve toplamları verilmiştir. İlk 50 modda kütle katılım oranları her iki yönde de %99 değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.31. Yapının X yönündeki eğilme modları a) 2. mod şekli $f=9,55\text{Hz}$ b) 5. mod şekli $f=16,73\text{Hz}$ c) 7. mod şekli $f=25,33\text{Hz}$.



Şekil 3.32. Yapının Y yönündeki eğilme modları a) 3. mod şekli $f=11,13\text{Hz}$ b) 8. mod şekli $f=27,42\text{Hz}$ c) 11. mod şekli $f=31,56\text{Hz}$.

Çizelge 3.4 Yapının ilk 50 moduna ait frekans değerleri, kütle katılım oranları ve toplamları

Adım	Frekans (Hz)	UX	UY	UZ	Topl. UX	Topl. UY	Topl. UZ
Mod 1	9,216505	0,00076	0,00515	0,00001	0,0008	0,0052	0,0000
Mod 2	9,553471	0,29453	0,00001	0,00000	0,2953	0,0052	0,0000
Mod 3	11,13536	0,00005	0,14142	0,00004	0,2953	0,1466	0,0000
Mod 4	11,88001	0,00016	0,01817	0,00007	0,2955	0,1648	0,0001
Mod 5	16,73612	0,00094	0,00001	0,00000	0,2964	0,1648	0,0001
Mod 6	17,57068	0,00007	0,00661	0,00000	0,2965	0,1714	0,0001
Mod 7	25,32992	0,18092	0,00012	0,00000	0,4774	0,1715	0,0001

Adım	Frekans (Hz)	UX	UY	UZ	Topl. UX	Topl. UY	Topl. UZ
Mod 8	27,42882	0,00011	0,00049	0,00003	0,4775	0,1720	0,0002
Mod 9	28,41474	0,00026	0,00000	0,00037	0,4778	0,1720	0,0005
Mod 10	29,28944	0,07711	0,00000	0,00001	0,5549	0,1720	0,0005
Mod 11	31,56366	0,00005	0,07382	0,00028	0,5550	0,2458	0,0008
Mod 12	32,85799	0,00027	0,00928	0,00106	0,5552	0,2551	0,0019
Mod 13	33,52217	0,00082	0,06478	0,00427	0,5561	0,3199	0,0061
Mod 14	37,67472	0,08616	0,00084	0,00001	0,6422	0,3207	0,0061
Mod 15	40,63224	0,00056	0,38762	0,00109	0,6428	0,7083	0,0072
Mod 16	42,60758	0,00016	0,01736	0,00000	0,6429	0,7257	0,0072
Mod 17	43,79626	0,07610	0,00020	0,00002	0,7190	0,7259	0,0073
Mod 18	43,84811	0,01692	0,00000	0,00005	0,7359	0,7259	0,0073
Mod 19	44,99438	0,00039	0,00756	0,00018	0,7363	0,7335	0,0075
Mod 20	47,37989	0,00338	0,00000	0,00025	0,7397	0,7335	0,0077
Mod 21	49,53683	0,00011	0,00051	0,10222	0,7398	0,7340	0,1100
Mod 22	50,86729	0,00008	0,00045	0,00003	0,7399	0,7344	0,1100
Mod 23	51,59426	0,00094	0,00008	0,00138	0,7409	0,7345	0,1114
Mod 24	52,18934	0,00056	0,00014	0,00346	0,7414	0,7346	0,1148
Mod 25	54,43658	0,00031	0,00001	0,00034	0,7417	0,7346	0,1152
Mod 26	57,20497	0,00214	0,00017	0,00022	0,7439	0,7348	0,1154
Mod 27	59,64096	0,00009	0,00850	0,00038	0,7439	0,7433	0,1158
Mod 28	60,76811	0,00031	0,00873	0,00334	0,7443	0,7520	0,1191
Mod 29	63,89776	0,01583	0,00806	0,00000	0,7601	0,7601	0,1191
Mod 30	64,34178	0,00641	0,01653	0,00228	0,7665	0,7766	0,1214
Mod 31	67,98097	0,00056	0,00636	0,01099	0,7671	0,7830	0,1324
Mod 32	73,68654	0,00235	0,00815	0,01027	0,7694	0,7911	0,1426
Mod 33	74,76077	0,00071	0,00223	0,00184	0,7701	0,7934	0,1445
Mod 34	78,95776	0,01229	0,00035	0,00011	0,7824	0,7937	0,1446
Mod 35	83,88558	0,02334	0,00013	0,00000	0,8058	0,7938	0,1446
Mod 36	85,69715	0,01744	0,00057	0,00008	0,8232	0,7944	0,1447
Mod 37	94,45546	0,00032	0,00019	0,00001	0,8235	0,7946	0,1447
Mod 38	96,53441	0,00154	0,01097	0,00297	0,8250	0,8056	0,1476
Mod 39	109,9143	0,04122	0,00086	0,00001	0,8663	0,8064	0,1477
Mod 40	114,7315	0,00195	0,00051	0,00005	0,8682	0,8069	0,1477
Mod 41	117,7024	0,00164	0,02477	0,00176	0,8699	0,8317	0,1495
Mod 42	147,4057	0,01431	0,01494	0,00124	0,8842	0,8467	0,1507
Mod 43	152,8818	0,00031	0,01740	0,00201	0,8845	0,8641	0,1527
Mod 44	157,7785	0,00719	0,02666	0,00050	0,8917	0,8907	0,1532
Mod 45	209,5118	0,04075	0,00346	0,00016	0,9324	0,8942	0,1534
Mod 46	220,2158	0,00096	0,00955	0,00121	0,9334	0,9037	0,1546
Mod 47	230,7337	0,00562	0,03359	0,00181	0,9390	0,9373	0,1564
Mod 48	422,4757	0,01667	0,03148	0,00082	0,9557	0,9688	0,1572
Mod 49	442,2822	0,01699	0,00349	0,00030	0,9727	0,9723	0,1575
Mod 50	450,8566	0,01418	0,01365	0,00020	0,9868	0,9859	0,1577

Ballıpınar Kilisesine ait sonlu elemanlar analizi ile elde edilen x yönündeki ilk üç eğilme modu frekans değerleri ile titreşim testi sonucunda x yönünde elde edilen frekans değerleri yakınlştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda frekans değerleri arasındaki farklar % olarak gösterilmiştir. Farkların %10'un altında değerlerde olduğu görülmektedir (Çizelge 3.5).

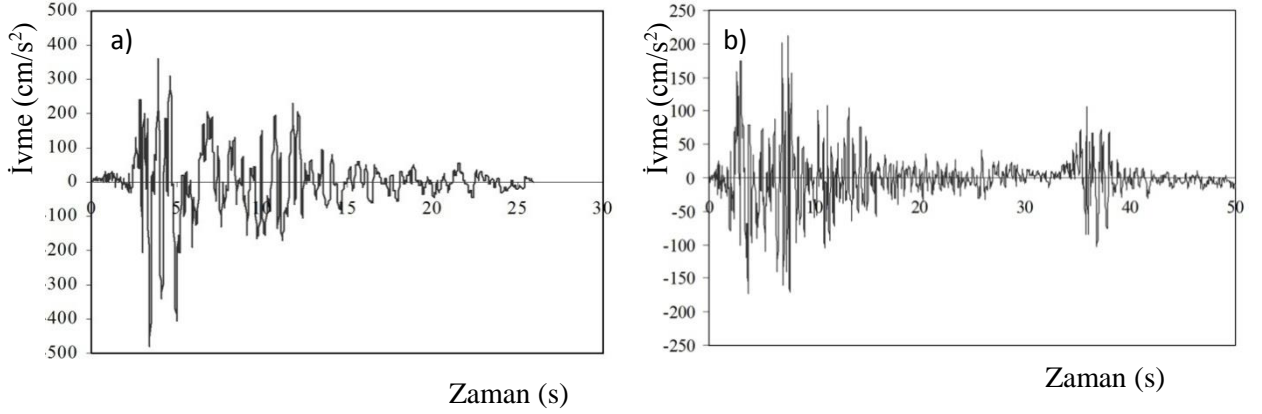
Çizelge 3.5. Kiliseye ait x yönündeki ilk 3 eğilme modu frekans değerleri (test verileri ile sonlu eleman modellerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması)

Mod	Ballıpınar Kilisesi		
	Test değerleri (Hz.)	Sonlu Elemanlar (Hz.)	Fark
1	8.398	9.55	%7
2	17.480	16.73	%4
3	24.219	25.33	%4

Bu tablodan frekans değerlerinin elde edilmesindeki en önemli faktör olan elastisite modülü değerinin doğru olarak tespit edildiği görülmektedir. Bu testlerin yapılması sonucunda doğal titreşim frekanslarının doğru olarak tespitinde önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

3.7.7 Ballıpınar Kilisesi'nin Deprem Yükleri Altındaki Analizi:

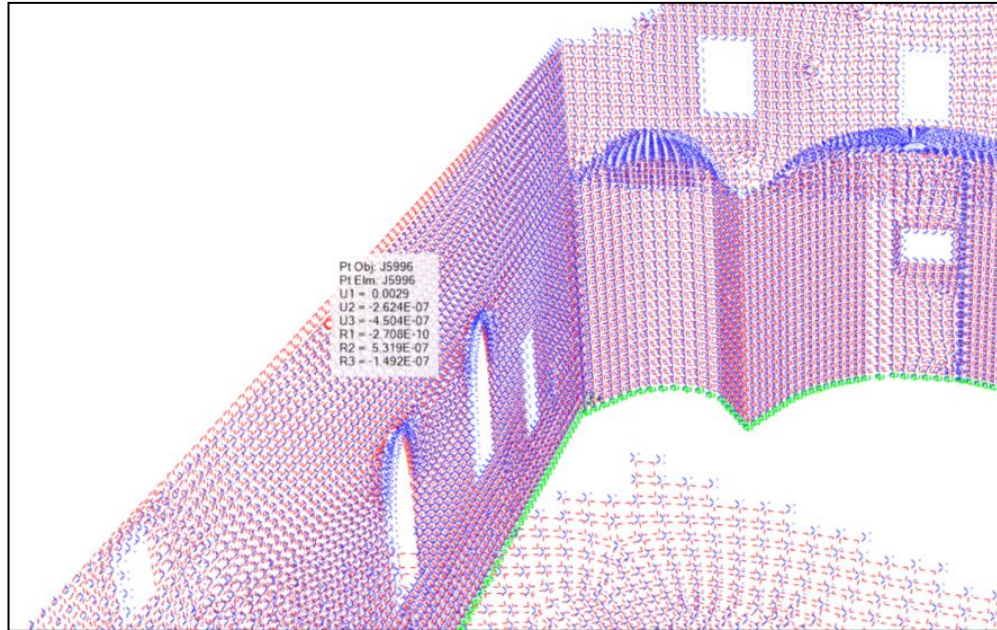
Kiliselerin dinamik analizlerinde 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ile 12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında kaydedilmiş iki yer kaydı kullanılmıştır (Şekil 3.33). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) Tablo 4.1.'de donatısız yığma binalar için deprem yükü azaltma faktörü R, 2.5 olarak belirlenmiştir. Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nün Tarihi Yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzunda 3 olarak alınması uygun görülmüştür. Ancak kilise duvarları üzerinde döşeme yükleri olmadığı için R, 2 olarak ve yapı önem katsayısı, 1 olarak öngörülmüştür. Kiliselerde her iki yönde de deprem kuvvetleri uygulanmıştır. Her iki deprem için de 0.5sn aralıklarla, Düzce depremi 25sn ve Kocaeli depremi 50sn süreyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda incelenmiştir. Analizlerde ilk 25 sn içinde maksimum değerlere ulaşıldığı görülmüştür.



Şekil 3.33. Kaydedilmiş yer hareketleri Kocaeli ve Düzce DZC istasyonu a) 12 Kasım 1999 Düzce Depremi, ve Kocaeli IZT istasyonu b) 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi

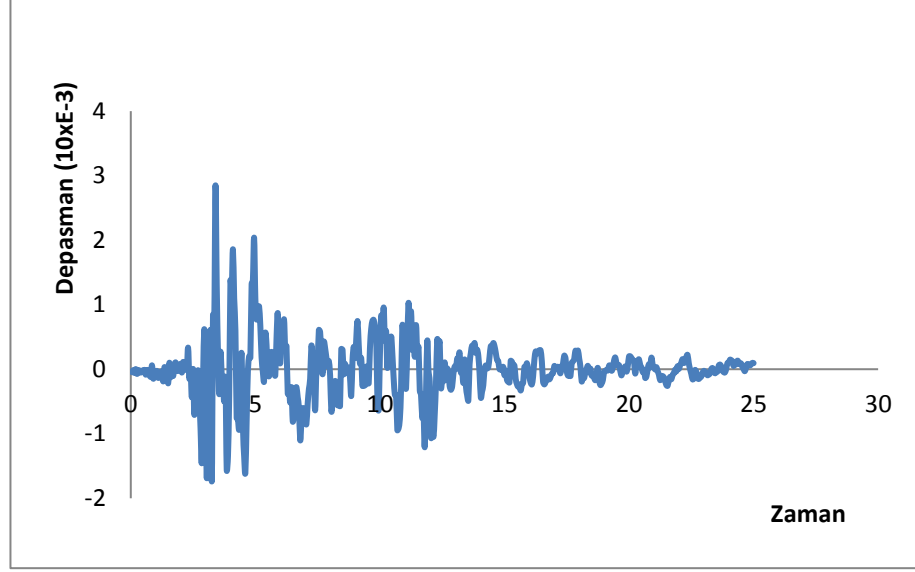
Düzce depremi (X yönündeki deprem Analizi)

Deprem analizleri sonuçlarına göre duvarlarda oluşan en büyük basınç, çekme ve kayma gerilmeleri oluşan bölgeler ele alınmıştır. X yönündeki Düzce depremi yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde maksimum yerdeğiştirmenin 0.003mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.34).



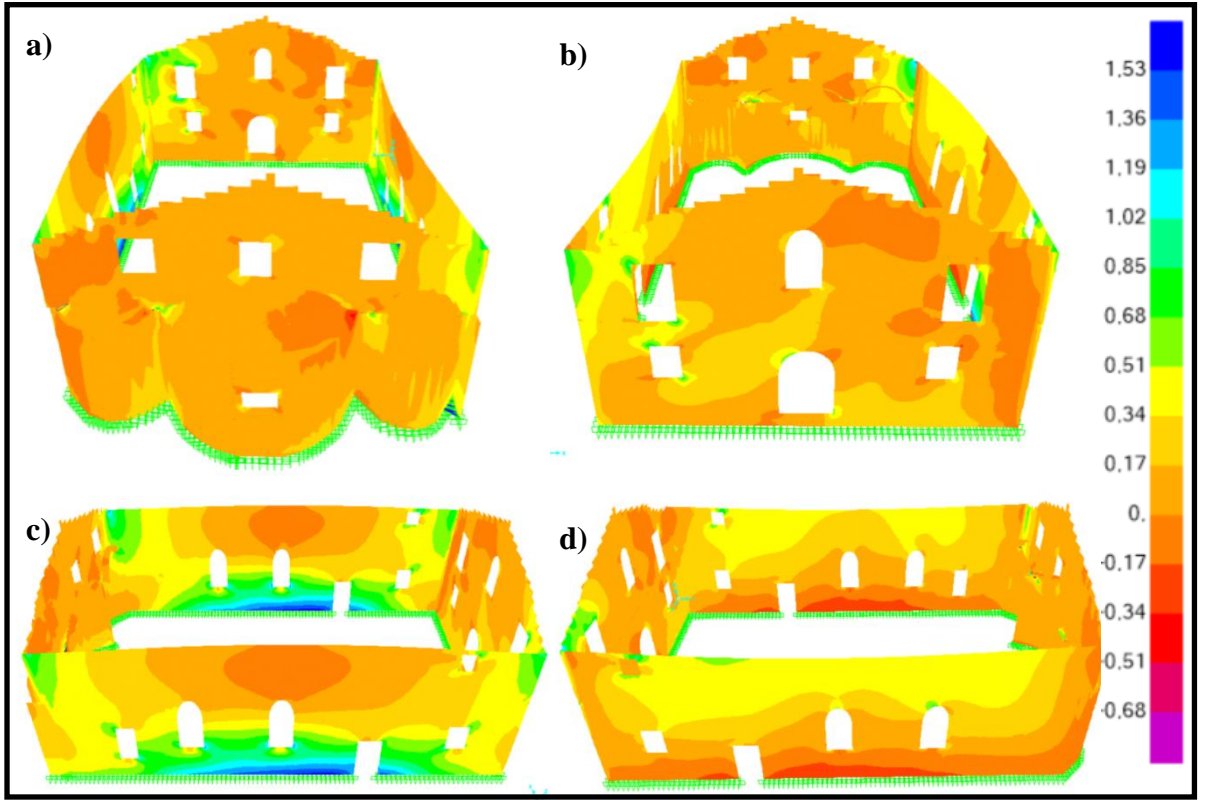
Şekil 3.34. Düzce depremi X yönü uzun yöndeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme

Bu değer Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" Tablo 6.4'deki kontrollü hasar durumuna göre sınır değer %0.7 değerindedir. Deplasman değerleri bu değerden oldukça düşük kalmaktadır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Düzce depremi X yönü uzun yöndeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme

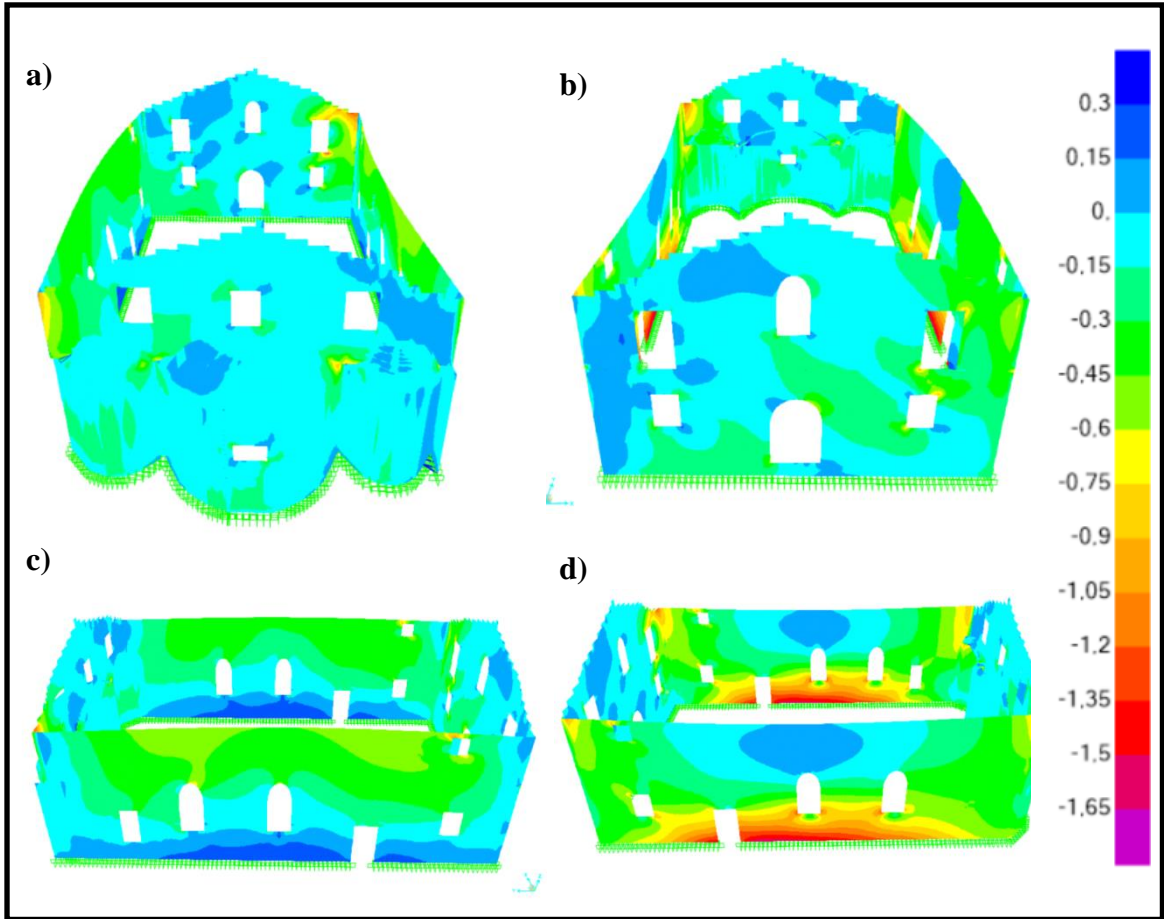
Şekil 3.36'da X yönündeki deprem analizlerinde oluşan maksimum asal gerilmeler depremin ilk 3 ila 4 sn arasında en büyük değerlere ulaşmaktadır. Çekme gerilmesi değerleri duvar birleşim bölgeleri ve uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde yükselmektedir.



Şekil 3.36. X yönü Düzce depremi maximum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

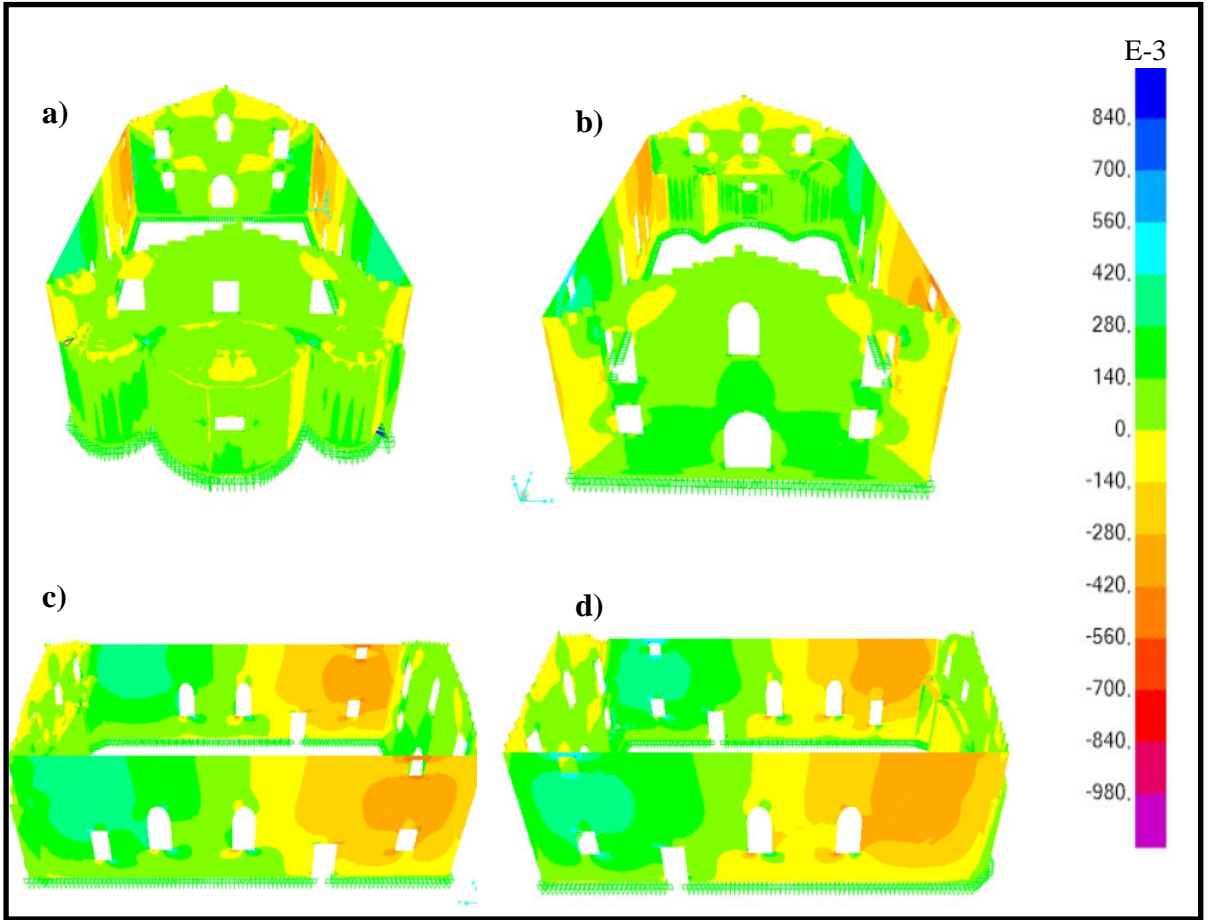
Bu bölgelerde maksimum gerilme değerleri 1MPa ila 1.5 MPa değerleri arasında kalmakta olup sınır çekme değeri olan 0.13MPa değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde mevcut durumda çatlamların olduğu gözlenmiştir.

Yapının minimum asal gerilmeleri incelendiğinde ise uzun yöndeki duvarların orta kısımlarında ve alt bölgelerinde gerilme düzeylerinin 1.2 MPa civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.37). Bu değer 1.26MPa olan sınır değerlere yakındır.



Şekil 3.37. X yönü Düzce depremi minimum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Yapının kayma gerilmeleri incelendiğinde gerilme düzeylerinin en fazla 0.2~0.3 MPa değerlerinde olduğu ve 0.45MPa olan sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 3.38'de gerilme düzeyleri gösterilmiştir.

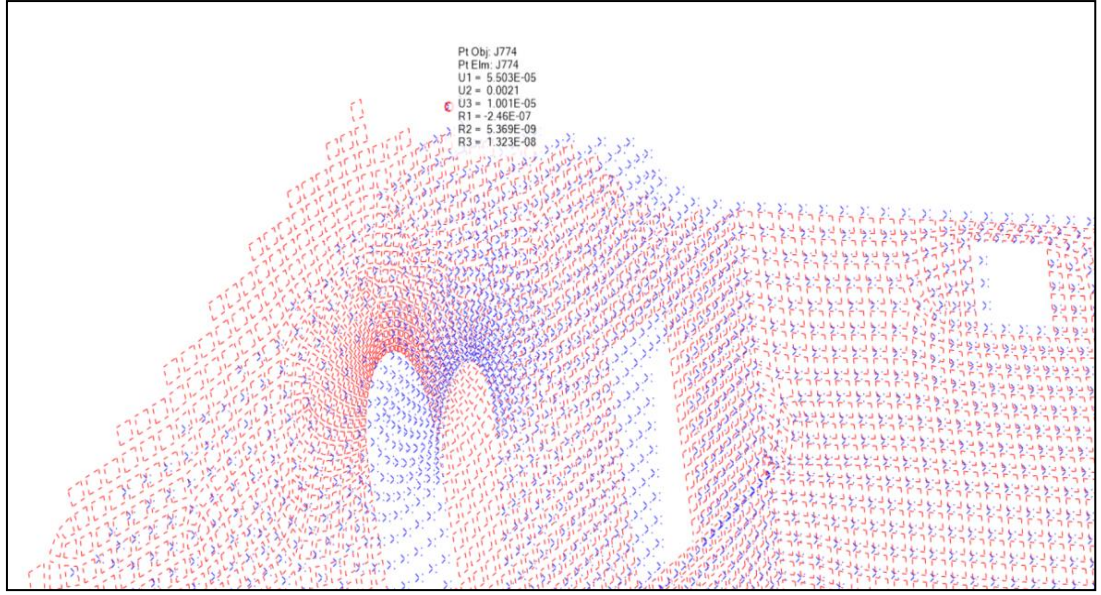


Şekil 3.38. X yönü Düzce depremi kayma gerilmeleri a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Düzce depremi (Y yönündeki deprem Analizi)

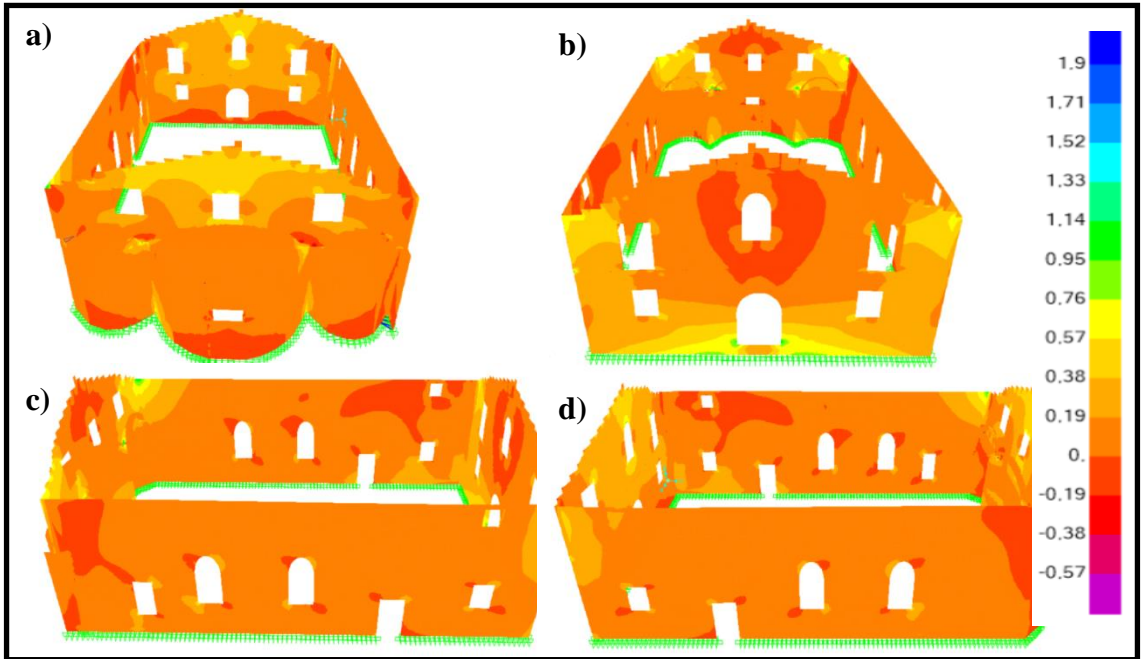
Deprem analizleri sonuçlarına göre duvarlarda oluşan en büyük basınç, çekme ve kayma gerilmeleri oluşan bölgeler ele alınmıştır. Y yönündeki Düzce depremi yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde maksimum yerdeğiştirmenin 0.0021mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.39).

Bu değer Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" Tablo 6.4'deki kontrollü hasar durumuna göre sınır değer %0.7 değerindedir. Deplasman değerleri bu değerden oldukça düşük kalmaktadır.



Şekil 3.39. Düzce depremi Y yönü kısa yöndeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme

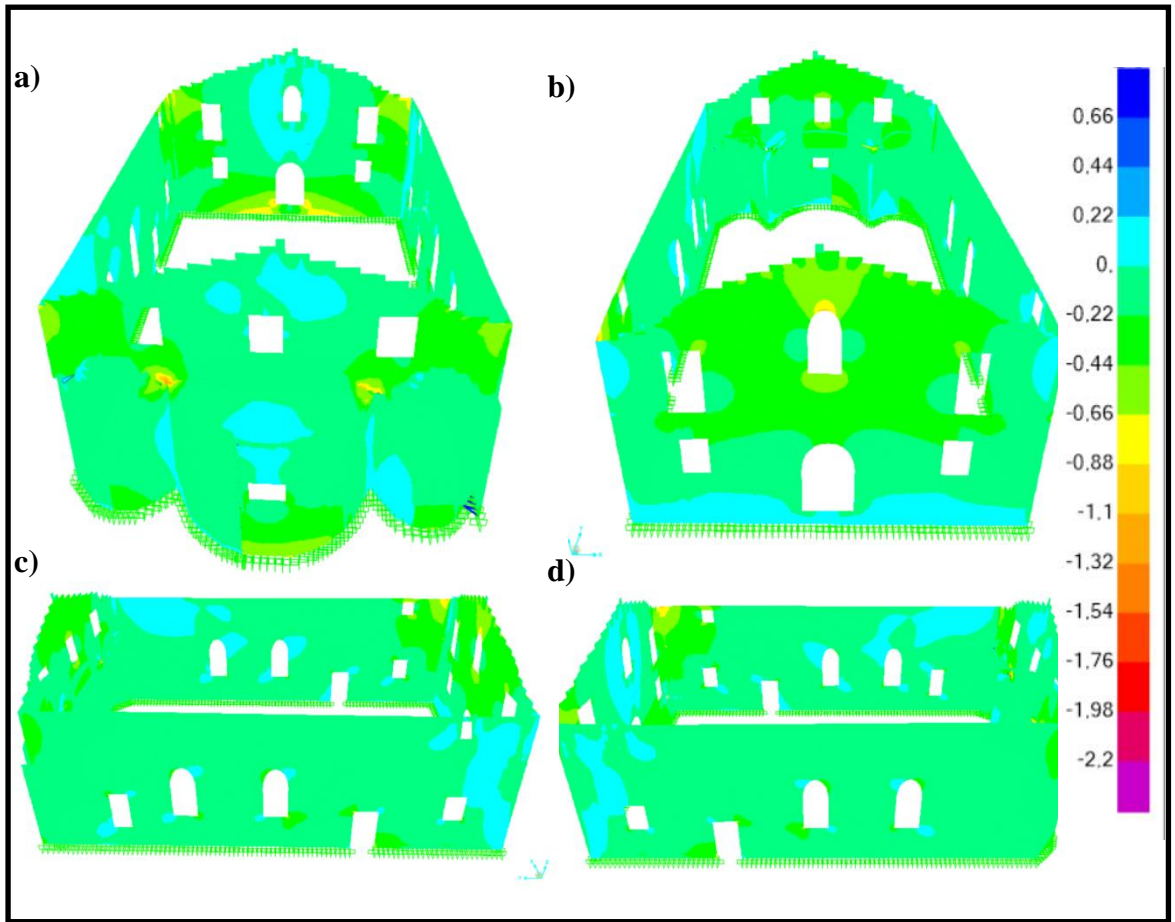
Şekil 3.40'da oluşan maksimum asal gerilmeler depremin ilk 3 ila 4 sn arasında en büyük değerlere ulaşmaktadır. Çekme gerilmesi değerleri duvar birleşim bölgeleri ve kısa yöndeki kapı ve pencere kenarlarında yükselmektedir.



Şekil 3.40. Y yönü Düzce depremi maximum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

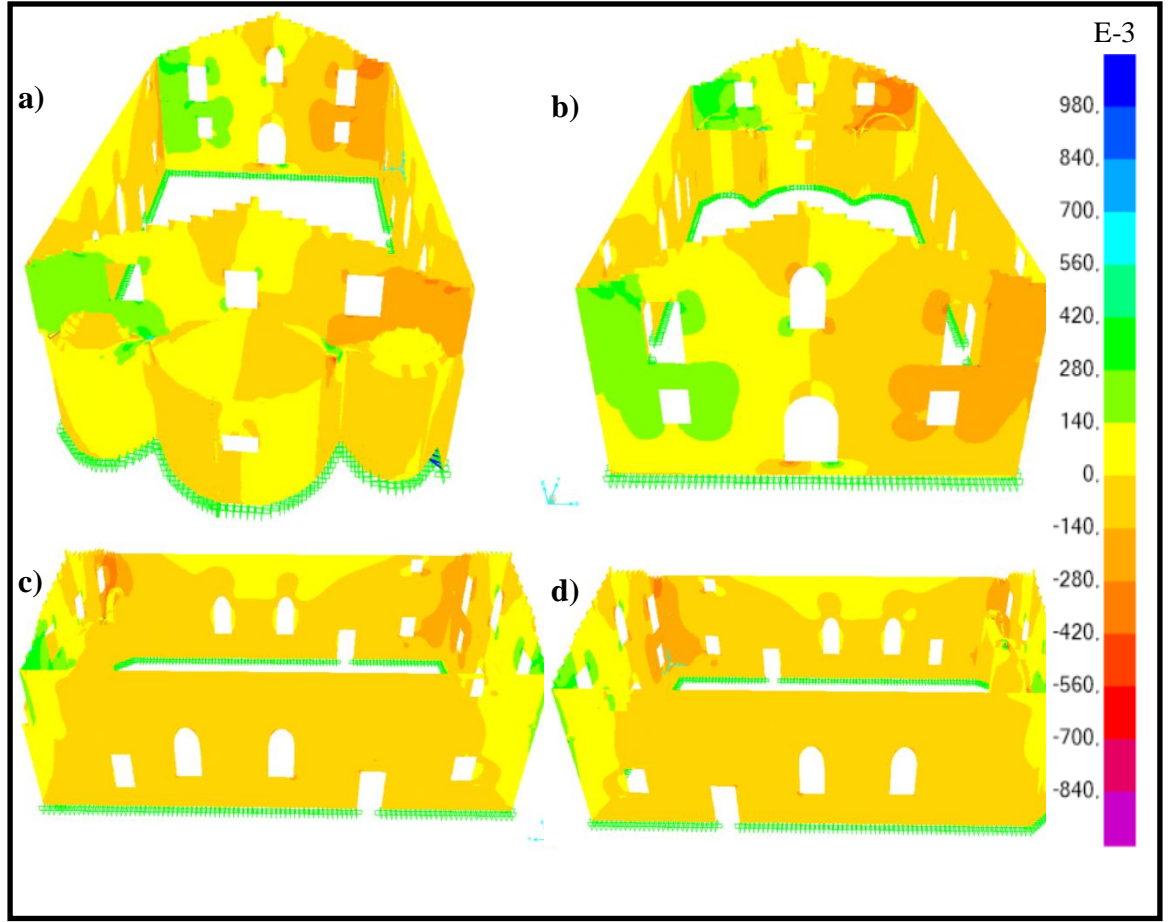
Bu bölgelerdeki gerilme değerleri 1MPa ile 1.5MPa değerleri arasında olup sınır değer olan 0.13MPa değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde mevcut durumda çatlama olduğu gözlenmiştir.

Yapının minimum asal gerilmeleri incelendiğinde ise kısa yöndeki duvarların pencere ve kapı köşerleri, duvar birleşim bölgeleri ve alt bölgelerinde gerilme düzeylerinin 0.4 MPa civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.41). Bu değer 1.26MPa olan sınır değerlere ulaşmamaktadır.



Şekil 3.41. Y yönü Düzce depremi minimum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Yapının kayma gerilmeleri incelendiğinde gerilme düzeylerinin en fazla 0.2~0.3 MPa değerlerinde olduğu ve 0.45MPa olan sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 3.42 de gerilme düzeyleri gösterilmiştir.

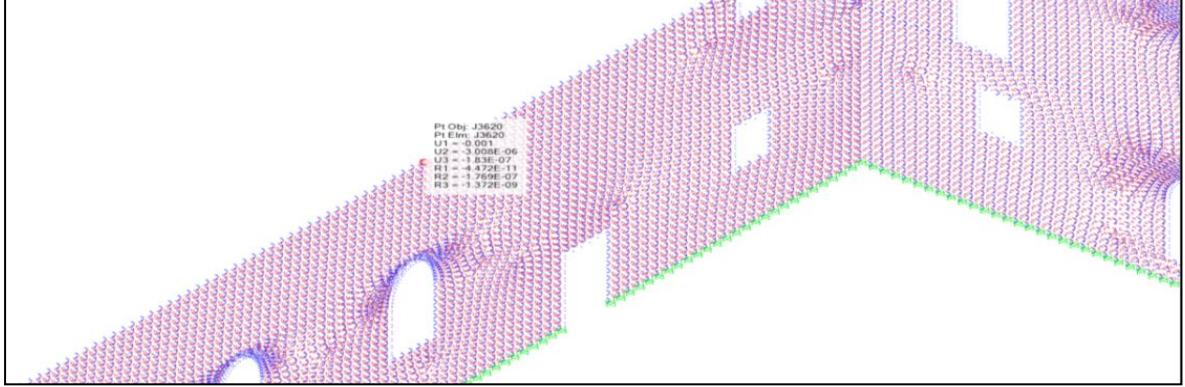


Şekil 3.42. Y yönü Düzce depremi kayma gerilmeleri a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Kocaeli depremi (X yönündeki deprem Analizi)

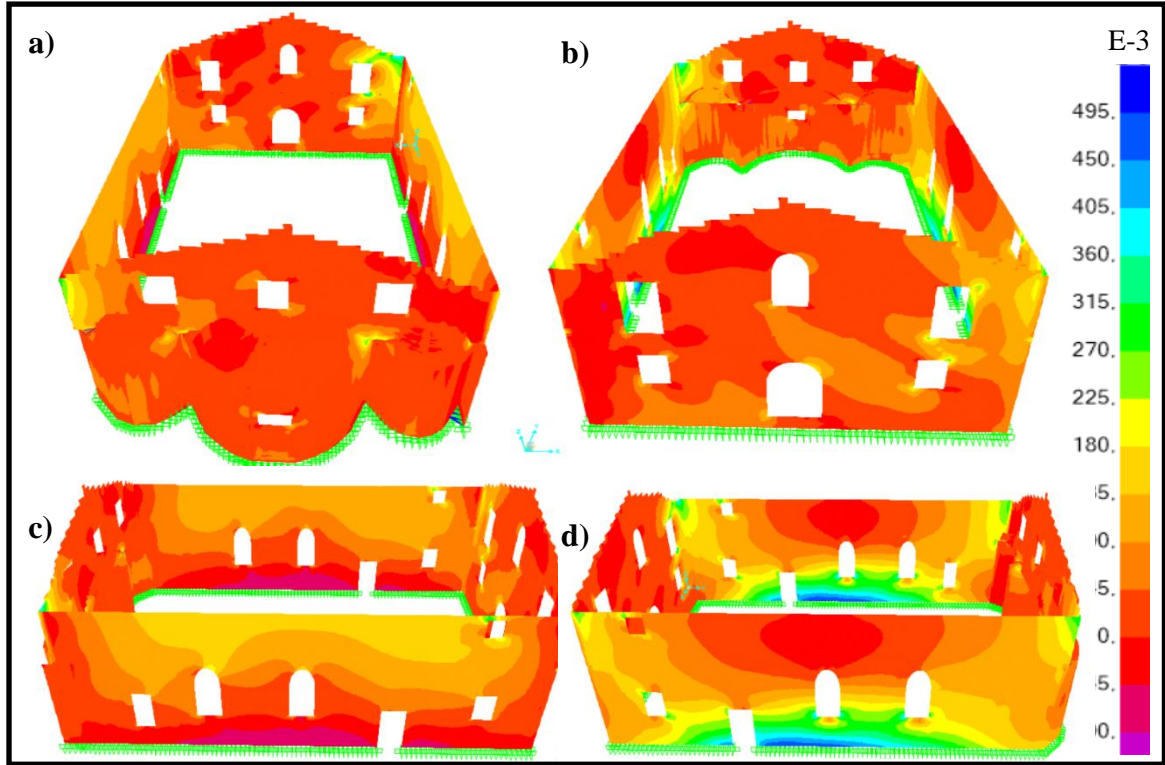
Deprem analizleri sonuçlarına göre duvarlarda oluşan en büyük basınç, çekme ve kayma gerilmeleri oluşan bölgeler ele alınmıştır. X yönündeki Kocaeli depremi yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde maksimum yerdeğiştirmenin 0.001mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.43).

Bu değer Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" Tablo 6.4'deki kontrollü hasar durumuna göre sınır değer %0.7 değerindedir. Deplasman değerleri bu değerden oldukça düşük kalmaktadır.



Şekil 3.43. Kocaeli depremi X yönü uzun yöndeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme

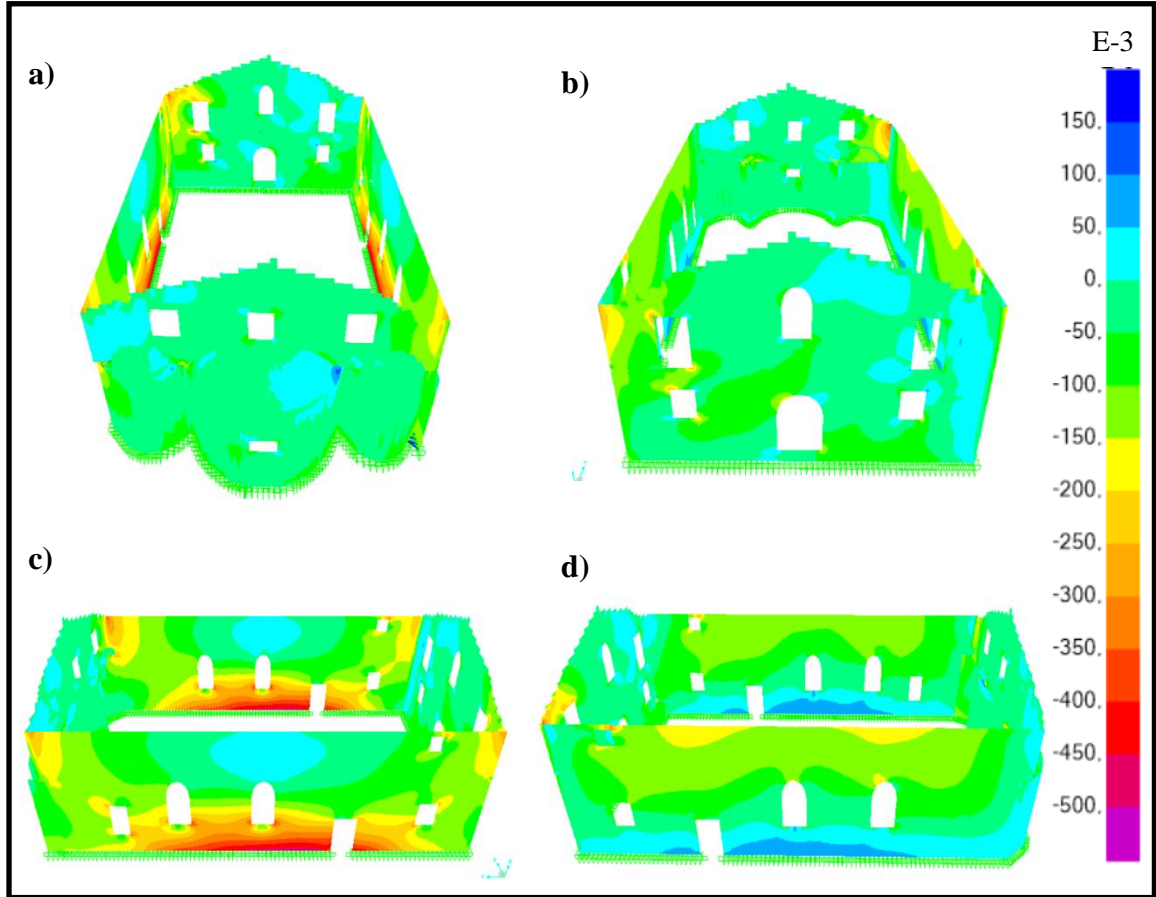
Şekil 3.44'de X yönündeki deprem analizlerinde oluşan maksimum asal gerilmeler depremin ilk 4 sn civarında en büyük değerlere ulaşmaktadır. Çekme gerilmesi değerleri duvar birleşim bölgeleri ve uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde maksimum değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 3.44. X yönü Kocaeli depremi maksimum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

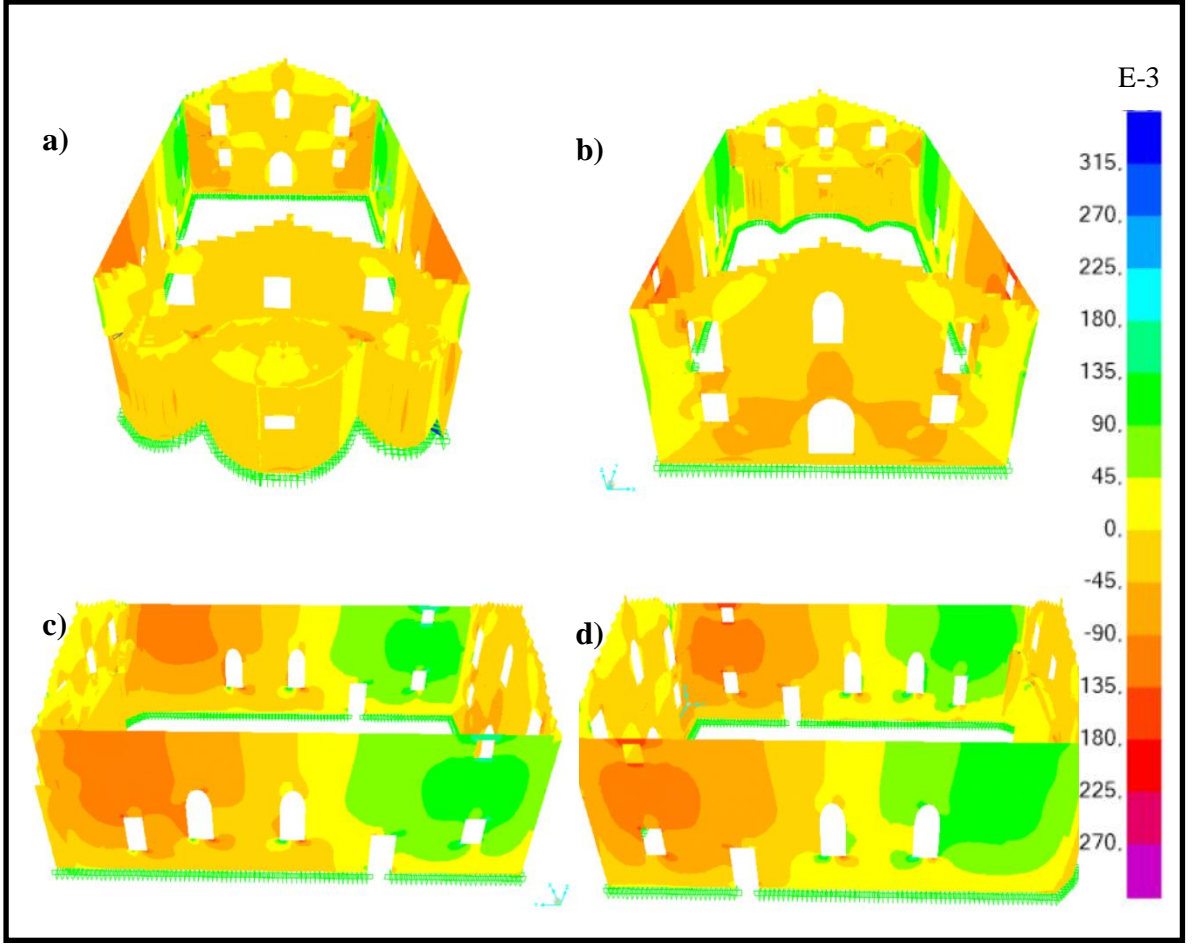
Bu bölgelerdeki gerilme değerleri 0.2MPa değerleri civarında olup sınır değer olan 0.13MPa değere yakın olduğu görülmektedir.

Yapının minimum asal gerilmeleri incelendiğinde ise uzun yöndeki duvarların birleşim bölgeleri ve alt orta bölgelerinde gerilme düzeylerinin 0.5 MPa civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.45). Bu değer 1.26MPa olan sınır değerlere ulaşmamaktadır.



Şekil 3.45. X yönü Kocaeli depremi minimum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Yapının kayma gerilmeleri incelendiğinde gerilme düzeylerinin en fazla 0.1~0.2 MPa civarlarında olduğu ve 0.45MPa olan sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 3.46'da gerilme düzeyleri gösterilmiştir.

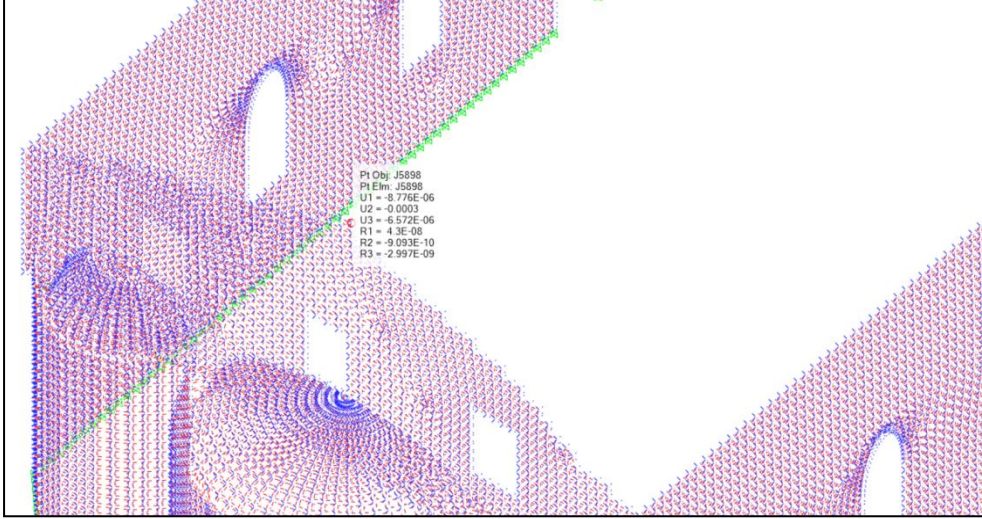


Şekil 3.46. X yönü Kocaeli depremi kayma gerilmeleri a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Kocaeli depremi (Y yönündeki deprem Analizi)

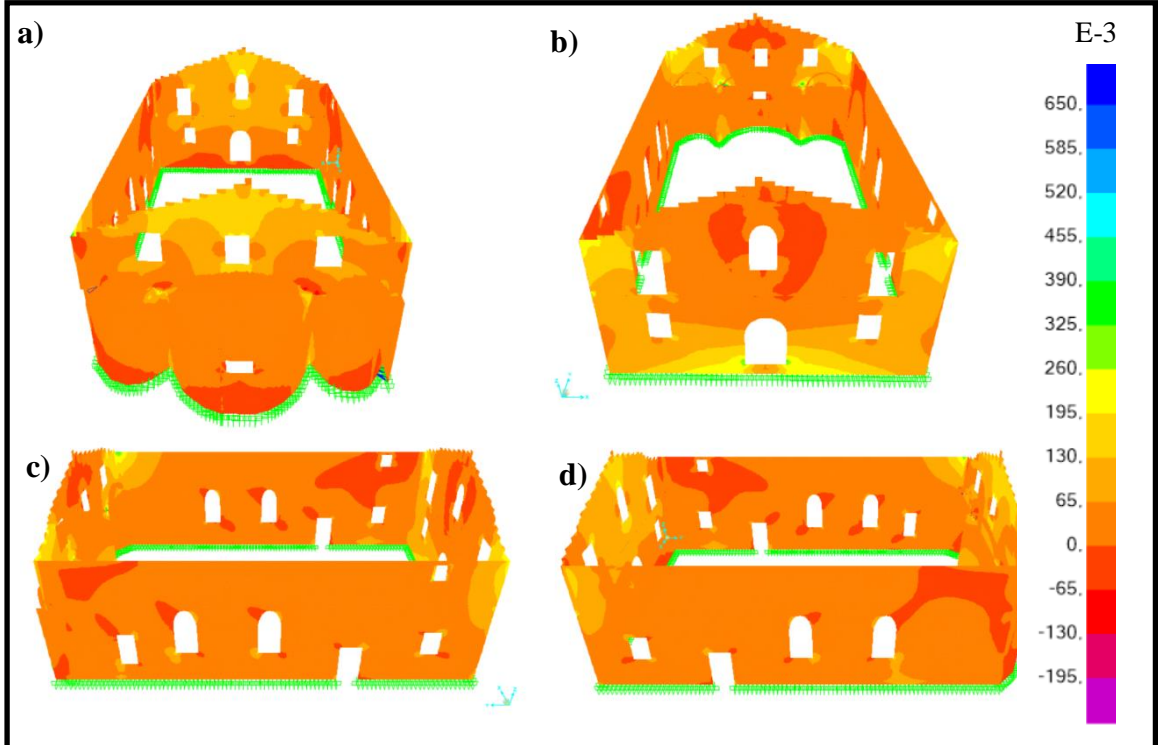
Deprem analizleri sonuçlarına göre duvarlarda oluşan en büyük basınç, çekme ve kayma gerilmeleri oluşan bölgeler ele alınmıştır. Y yönündeki Kocaeli depremi yerdeğiştirme değerleri incelendiğinde uzun yöndeki duvar orta bölgelerinde maksimum yerdeğiştirmenin 0.0003mm civarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.47).

Bu değer Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" Tablo 6.4'deki kontrollü hasar durumuna göre sınır değer %0.7 değerindedir. Deplasman değerleri bu değerden oldukça düşük kalmaktadır.



Şekil 3.47. Kocaeli depremi Y yönü kısa yöndeki duvar orta bölgesindeki yerdeğiştirme

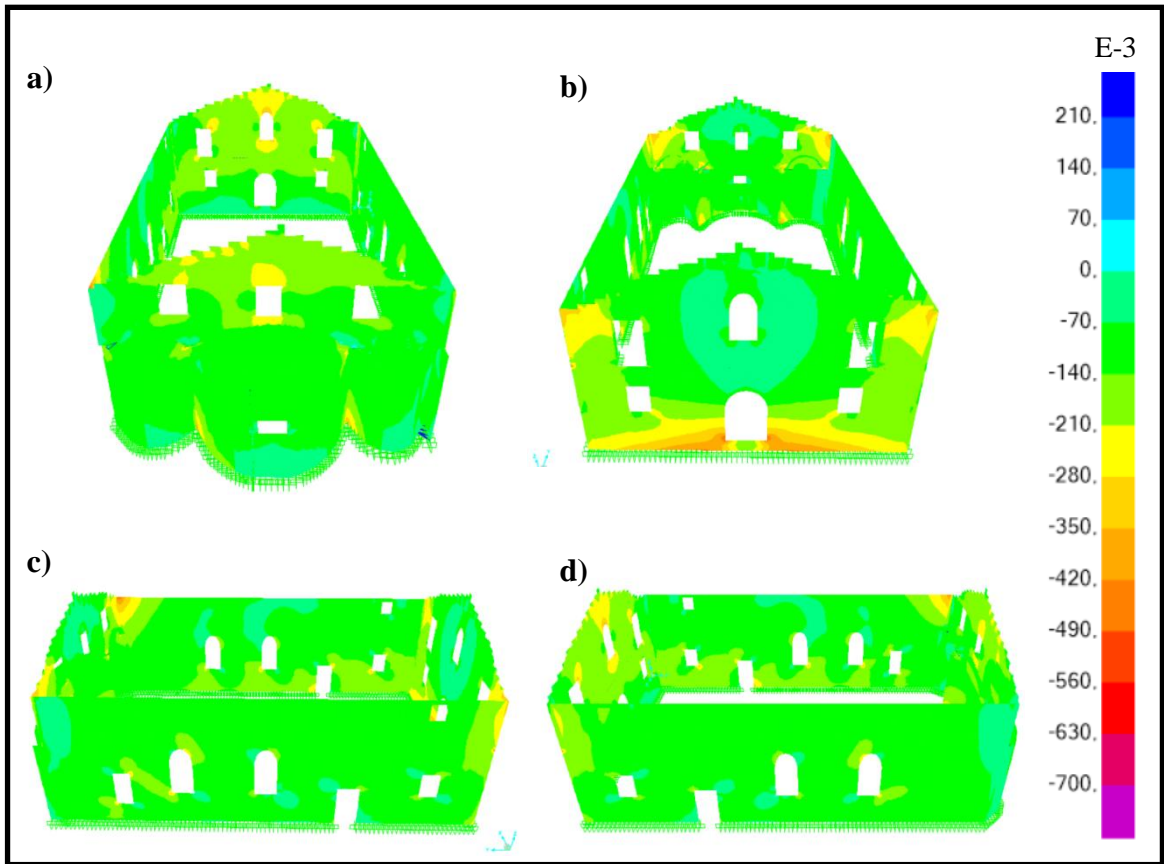
Şekil 3.48'de Y yönündeki deprem analizlerinde oluşan maksimum asal gerilmeler depremin ilk 4 sn civarında en büyük değerlere ulaşmaktadır. Çekme gerilmesi değerleri duvar birleşim bölgeleri ve kısa yöndeki kapı ve pencere kenarlarında maksimum değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 3.48. Y yönü Kocaeli depremi maximum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

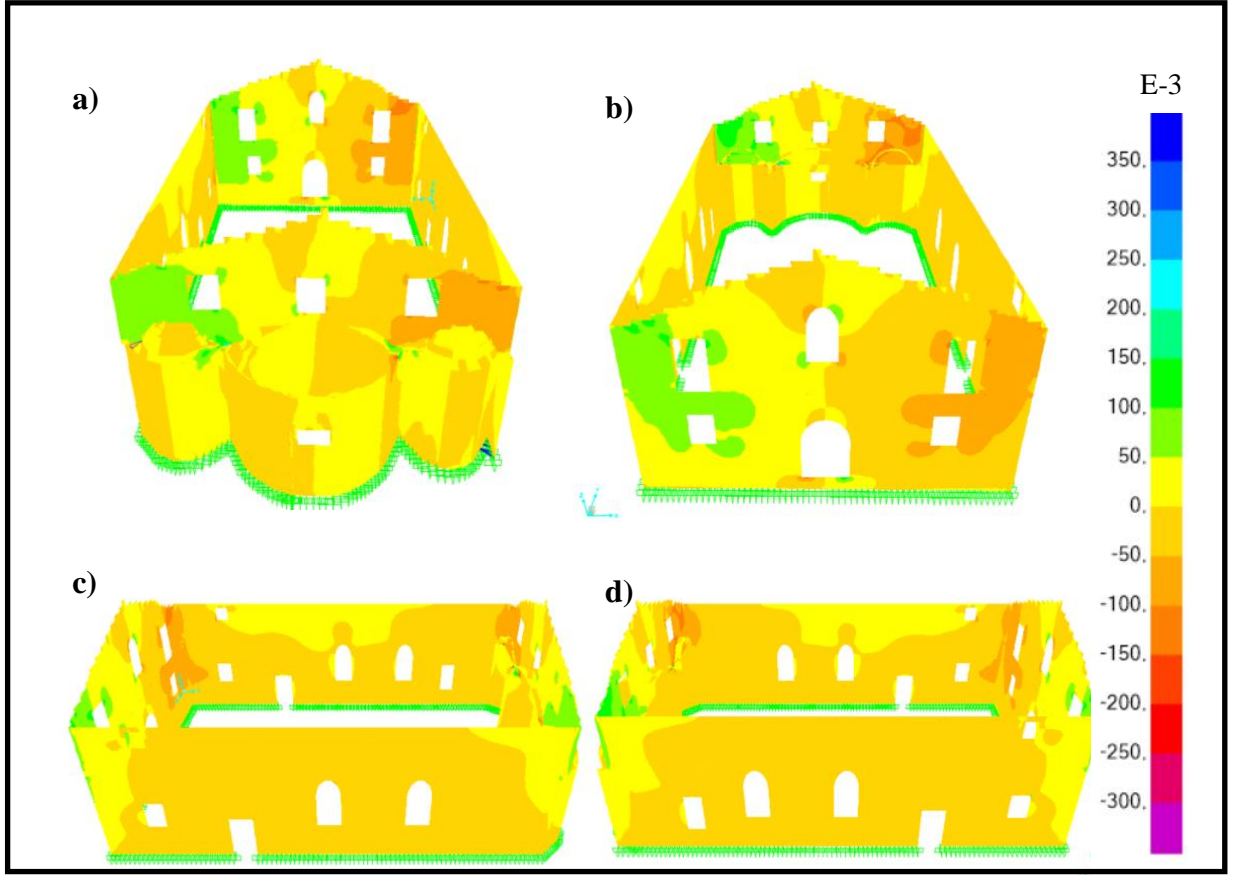
Bu bölgelerdeki gerilme değerleri 0.15MPa değerleri civarında olup sınır değer olan 0.13MPa değerine yakın olduğu görülmektedir.

Yapının minimum asal gerilmeleri incelendiğinde ise kısa yöndeki duvarların pencere ve kapı köşerleri, duvar birleşim bölgeleri ve alt bölgelerinde gerilme düzeylerinin 0.5MPa civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.49). Bu değer 1.26MPa olan sınır değerlere ulaşmamaktadır.



Şekil 3.49. Y yönü Kocaeli depremi minimum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Yapının kayma gerilmeleri incelendiğinde gerilme düzeylerinin en fazla 0.1~0.2 MPa civarlarında olduğu ve 0.45MPa olan sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 3.50'de gerilme düzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 3.50. Y yönü Kocaeli depremi maximum asal gerilmeler a) Doğu cephesi b) Batı cephesi c) Kuzey cephesi d) Güney cephesi

Duvarların kayma mukavemetinin yönetmelik esasları dikkate alınarak hesabı:

Kilise duvarlarının kayma mukavemeti değerleri shear testleri yapılarak belirlenmiştir. Buna göre Ballıpinar Kilisesi $\tau = 0,45\text{MPa}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer etkili kayma dayanımının hesabında kullanılmıştır. Hesaplarda Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" 6.8.4 bölümündeki yapılan örnek hesap dikkate alınmıştır. Çizelge 3.6 ile Çizelge 3.7'de taban kesme kuvveti, düşey yükten tabandan ortalama normal gerilme, deprem yükünde ortalama kayma gerilmesi değerleri hesaplanarak gerilme kontrolü bakımından tasarım depreminde hasar durumu incelenmiş ve ayrıca Düzce ve Kocaeli depremi sonucunda Ballıpinar Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda gerilme kontrolü bakımından tasarım depreminde hasar durumunun

oluşmadığı ve ayrıca Düzce ve Kocaeli depreminde elde edilen değerlerin de hasar oluşturacak düzeyde olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 3.6. Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmeleri ile x yönündeki deprem sonucu oluşan kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

Taban Kesme Kuvveti	Düşey yükten tabandan ortalama normal gerilme	Etkili kayma dayanımı	Deprem yükünde ortalama kayma gerilmesi	Düzce Depremi x yönü ortalama Kayma dayanımı	Kocaeli Depremi x yönü ortalama Kayma dayanımı
(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
4308.5	0.16	0.53	0.13	0.25	0.15

Çizelge 3.7. Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmeleri ile y yönündeki deprem sonucu oluşan kayma gerilmesi değerlerinin karşılaştırılması

Taban Kesme Kuvveti	Düşey yükten tabandan ortalama normal gerilme	Etkili kayma dayanımı	Deprem yükünde ortalama kayma gerilmesi	Düzce Depremi y yönü ortalama Kayma dayanımı	Kocaeli Depremi y yönü ortalama Kayma dayanımı
(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
4308.5	0.16	0.53	0.21	0.25	0.15

4. DEĞERLENDİRME

Yapıların mevcut haldeki yapısal durumlarını belirlemek amacıyla öncelikle duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için iki yöntem mevcuttur. Birincisi yapıda kullanılan malzemelerden örnekler alınarak mekanik testler yapıldıktan sonra amprik formüllerle duvar dayanımının belirlenmesi, diğeri ise flatjack ve shearjack testleri ile duvar dayanımlarının belirlenmesidir. Birinci yöntem uygulandığında gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek mümkün olamamaktadır. Bunun nedeni ise duvarlarda kullanılan taşların oldukça yüksek basınç ve elastisite modülüne sahip olması ve ayrıca harç numunelerinden basınç testi ve elastisite modülü tayini için örnek alınmasının zorluğudur. Bu örnekler alınsa bile amprik formüllerle bulunan değerler gerçek değerlerden uzaktır. Flatjack ve shear testleri ise daha doğru sonuçlar vermektedir. Çalışma yapılan kilisede flatjack ve shear test sonuçları yapının mekanik kalitesini belirlemede son derece yararlı olmuştur. Ancak yapısal analizlerin güvenilirliğinin sağlanabilmesi için mutlaka titreşim testleri yapılmalı, titreşim testleri ile frekans değerleri saptanmalı, sonlu elemanlar yöntemi ile modal analizler yapılmalı frekans değerleri saptanmalı ve test değerleri ile sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan değerler karşılaştırılarak yapısal analiz öncesinde sonlu eleman modellerinde malzeme veya sınır şartlarında kalibrasyon yapılmalıdır. Aralarındaki fark %10'un altında olacak şekilde düzenlenmelidir. Bu çalışmada en büyük fark %7 olarak tespit edilmiştir.

Yapısal analizlerde ise yapının kendi ağırlığı altındaki davranışları ve deprem yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmaya konu olan kilisede genel olarak apsis duvarları, duvar birleşim bölgeleri ve duvar alt orta bölgelerinde çekme değerlerinin 0.1~0.2MPa değerlerinde olduğu ve bu değerlerin sınır değer olan 0.13MPa değerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Deprem yükleri altındaki davranışları incelenirken 1999 yılında meydana gelen Düzce ve Kocaeli depremi sırasında kaydedilmiş iki yer kaydı kullanılmıştır. Yapıda yatay bağlantı bulunmadığı için deprem analizlerinde duvarlar düzlem dışı harekete maruz kalmaktadır. Ayrıca birbirine dik duvarların farklı yönlerde hareketleri sonucu duvar köşelerinde de gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Gerilmeler uzun yöndeki duvarlarda orta alt kısımlarda fazlalaşmaktadır. Kısa yöndeki duvarlarda ise alt orta kısımlar ile üst orta ve köşe kısımlarda sınır gerilme değerlerini aşmaktadır. Kiliselerin hem uzun yönde, hem de kısa yöndeki duvar orta kısımlarında yerdeğiştirme miktarları incelendiğinde %0.7 olan sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Çekme gerilmesi değerleri Düzce depreminde 1~1.5MPa düzeyinde olup 0.13 olan sınır değerinin üzerindedir. Kocaeli depreminde ise çekme gerilmeleri sınır değere yakındır. Basınç gerilmesi değerleri x yönündeki Düzce depreminde 1.2MPa olup sınır değeri olan 1.26MPa değerine yakındır. Düzce ve Kocaeli depremlerinden elde edilen kayma gerilmesi değerleri ise shear testi ile hesaplanan 0.45MPa gerilme değerinden düşüktür.

Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" 6.8.4 bölümünde belirtilen hesap yöntemi kullanılarak taban kesme kuvveti, düşey yükten tabandan ortalama normal gerilme, deprem yükünde ortalama kayma gerilmesi değerleri hesaplanmış, gerilme kontrolü bakımından tasarım depreminde hasar durumu incelenmiş ve ayrıca Düzce ve Kocaeli depremi sonucunda Ballıpınar Kilise duvarlarında oluşan ortalama kayma gerilmesi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda gerilme kontrolü bakımından tasarım depreminde hasar durumunun oluşmadığı ve ayrıca Düzce ve Kocaeli depreminde elde edilen değerlerin de hasar oluşturacak düzeyde olmadığı anlaşılmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

1964 yılında Venedik'te düzenlenen ‘‘II. Uluslararası Tarihi Anıtlar Mimar ve Teknisyenleri Kongresi’’ sonrasında yayınlanan Venedik Tüzüğü'nde tarihi yapıların onarımları ile ilgili temel ilkeler belirlenmiştir. Bu tüzükte; onarımların uzmanlık gerektirdiği, onarımların güvenilir belgelere ve özgün malzeme kullanımına saygı gösterilmesi onarım için geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı durumlarda koruma ve inşa için bilimsel verilerle ve deneylerle saptanmış çağdaş tekniklerin kullanılabilmesi belirtilmektedir. Bunlara ek olarak anıtların tüm özgünlükleri ile ele alınması gerektiği ve onarım işleminde özgün ile uyumlu bir çalışmanın yapılmasının önemi vurgulanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı her yapı için kullanılan özgün malzemelerin nitelikleri farklılaşabileceği için her yapı kendine has kabul edilip tüm çalışmalar her bir yapı için tek tek hazırlanmalıdır.

Bu çalışmada Ballıpınar Kilisesi'nin mekanik özellikleri ve strüktürel davranışları incelenmiştir. Malzeme özelliklerinin bilinmesi ile özgün yapı malzemelerine uyum sağlamayan yeni malzeme kullanımının önüne geçilebilecektir. Ayrıca yapıların strüktürel davranışlarının belirlenebilmesi için mekanik ve dinamik parametrelerin doğru olarak tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için çalışılan kiliselerde flatjack ve shear (kayma) testleri yapılarak duvarların gerilme düzeyleri ve elastisite modülleri belirlenmiştir. Titreşim testleri ile yapıların doğal titreşim frekansları bulunarak sonlu elemanlar analizleri ile bulunan frekans değerleri karşılaştırılarak gerekli malzeme kalibrasyonları yapılmıştır. Böylece yapısal analizlerin güvenilirliği sağlanmıştır. Kalibrasyon sonrasında flatjack ve shearjack testlerinin yapıları temsil edebilecek yakınlıkta olduğu anlaşılmıştır.

Tüm yapılan bu çalışmalar sonucunda yapılar hem malzeme özellikleri, hem de strüktürel davranışları açısından değerlendirildiğinde aşağıda sunulan müdahale yöntemlerinin yapılarda uygulanması uygun olacaktır.

-Yapının mevcut durumda bozulma süreçlerinin çok hızlı olduğu yapılan literatür çalışmalardan ve elde edilen eski fotoğraflardan açıkça izlenebilmektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için yapıların koruma çalışmalarının bir an önce başlatılması gerekmektedir.

-Yapıların sadece duvarları günümüze gelebildiği için düzlem dışı etkilere karşı son derece savunmasız durumdadır. Yapılan deprem analizlerinde çekme gerilmeleri sınır değerleri aşmakta ve yapısal problemlere sebep olmaktadır. Balıkesir bölgesinin 1. Derece deprem bölgesinde yer alması nedeniyle acil güvenlik önlemleri alınarak yapıların yapı duvarlarının desteklenmesi ve koruma çatısının yapılması gerekmektedir.

-Yapıların halen dış atmosfer koşullarına maruz kalması nedeniyle harç ve sıva tabakalarında daha fazla bozulmaya sebebiyet vermesi duvarların mekanik dayanımlarının her geçen gün azalmasına sebep olmaktadır. Yağmur sularının yapıdan uzaklaştırılması uygun olacaktır.

- Yapının restorasyonu sırasında, mevcut sıva tabakalarının gerisinde strüktürel çatlaklar bulunup bulunmadığı araştırılması gerekli bir noktadır. Çatlaklar tespit edildiği takdirde, çatlak hareketinin olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eğer çatlakhareketsiz ise çatlak tamiri yapılmalı ve çatlak kapatılmalıdır.

- Çatlak onarımları için deneme harçları hazırlanmalıdır. Bu karışımlar yapı üzerinde, işlenebilirlik/uygulanabilirlik, yüzeye tutunma vb. özellikleri göz önüne alınarak değerlendirilmeli, gerekli görüldüğü takdirde farklı kaynaklardan elde edilecek hammaddeler ile karışım denemeleri tekrarlanmalıdır.

- Yüzeyde rastlanan kılcal çatlaklar söz konusu olduğunda, eğer sıva sağlam ise, çatlaklar kireç şerbeti ile doldurulmalıdır. Sıva zayıf ise, kaldırılıp, yenilenmelidir.

Bu çalışmanın benzer çalışmalar için örnek oluşturması ve yapılacak olan koruma çalışmalarına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akurgal E. 2003.** *Anadolu Uygarlıkları*, Net Yayınları, İstanbul.
- Akkılıç, Hüseyin, Alperen Kaymakçı, and Öner Ünsal 2014.** Isıl İşlem Uygulanmış Ahşap Malzemenin Dış Cephe Kaplaması Olarak Değerlendirilme Potansiyeli, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu : 3-4.
- Aksoy Mimarlık, 2015.** Ballıpınar Kilisesi Rölöve raporu.
- Alpaslan E., Dinç B., Karaca Z., Birinci F., Köktan U. 2017.** Tek Açıklıklı Tarihi Bir Yığma Köprü'nün Modal Parametrelerinin Araştırılması.4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Altunışık, A. C., Bayraktar, A., Sevim, B., Birinci, F. 2011.** Vibration-based operational modal analysis of the Mikron historic arch bridge after restoration. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28(3): 247-259.
- ASTM Standard C1197, 2014.** Standard Test Method for In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties Using the Flatjack Method, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard C1314, 2014.** Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard C1531, 2016.** Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Atamturktur, S., Fanning, P., Boothby, T.E. 2010.** Traditional and operational modal testing of masonry vaults, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering and Computational Mechanics*, 163, (3):213-223.
- Ayengin, Ş. 2017.** Mudanya Aydınpınar (H. apostoloi), Dereköy ve erkek Ballıpınar kiliseleri yapım sistemleri ve malzeme karakterizasyonlarının belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Y.Lisans Tezi*, Bursa.
- Bartoli, G., Betti, M., Giordano, S. 2013.** In situ static and dynamic investigations on the “Torre Grossa” masonry tower. *Engineering Structures*, 52, 718-733.
- Bayraktar, A. 2005.** Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, YDGA2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara.
- Bayraktar, A., ve Türker, T. (2005).** Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile Düzlem Çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli 23 (24).
- Bayraktar, A. Türker, T., Altunışık, A., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, M.D. 2010.** Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, Sayı: 104, Cilt: 21, 5185-5205.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Sevim, B., Türker, T. 2011.** Seismic response of a historical masonry minaret using a finite element model updated with operational modal testing. *Journal of Vibration and Control*, 17(1): 129-149.

- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A. C. 2015.** Experimental frequencies and damping ratios for historical masonry arch bridges. *Construction and Building Materials*, 75, 234-241.
- Bayraktar, A., Türker, T., Sevim, B., Altunışık, A. C., Yildirim, F. 2009.** Modal parameter identification of Hagia Sophia bell-tower via ambient vibration test. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 28(1): 37-47.
- Bendat, J.S., Piersol, A.G. 1986.** Random Data: Anaysis and Mesurement Procedures, Wiley, San Francisco, CA.
- BKVKBK 2019.** Bursa Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Arşivi.
- Boru, E.O., ve Kutanis, M., Çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi, SAÜ Fen Bil Dergisi, ISSN:1301-4048, Cilt. 19, pp. 59-66, 2015.**
- Böke H., Akkurt S., İpekoğlu B. 2004.** Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri” *Yapı Dergisi* 269, Nisan 2004, 90-95.
- Casarin, F., Modena, C. 2008.** Seismic assessment of complex historical buildings: application to Reggio Emilia Cathedral, Italy. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(3): 304-327.
- Casciati, S., Al-Saleh, R. 2010.** Dynamic behavior of a masonry civic belfry under operational conditions. *Acta mechanica*, 215 (1-4): 211-224.
- Cauberghe, B. 2004.** Applied Frequency-Domain System Identification in the Field of Experimental and Operational Modal Analysis. *Ph.D. Thesis*, Vrije Universiteit Brussel
- Ceroni, F., Pecce, M., Sica, S., Garofano, A. 2012.** Assessment of seismic vulnerability of a historical masonry building. *Buildings*, 2(3): 332-358.
- Ceroni, F., Pecce, M., Voto, S., Manfredi, G. 2009.** Historical, architectural, and structural assessment of the Bell Tower of Santa Maria del Carmine. *International Journal of Architectural Heritage*, 3(3): 169-194.
- Cimellaro, G. P., Piantà, S., De Stefano, A. 2011.** Output-only modal identification of ancient L’Aquila city hall and civic tower. *Journal of Structural Engineering*, 138(4): 481-491.
- Costa, C., Arêde, A., Costa, A., Caetano, E., Cunha, Á., Magalhães, F. 2014.** Updating numerical models of masonry arch bridges by operational modal analysis. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(7): 760-774.
- Çalık, İ., Bayraktar, A., Türker, T., Karadeniz, H. 2014.** Structural dynamic identification of a damaged and restored masonry vault using Ambient Vibrations. *Measurement*, 55, 462-472.
- Dahil, L. ve Karabulut, A. (2011).** Dairesel ve Prizmatik Makine Elemanlarında Oluşan Çatlağın Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ.
- Diaferio, M., Foti, D., Mongelli, M., Giannoccaro, N.I., Andersen, P. 2011.** Operational Modal Analysis of a Historic Tower in Bari. *Civil Engineering Topics*, Volume 4, Springer, New York, 335-342.

- Dönmez, C., ve Karakan, E. (2009).** Köprülerde Deneysel Modal Analiz Uygulamaları. *İMO Teknik Dergi*, 20 (99): 4851-4863.
- Döven, M. S., Serhatoğlu, C., Kaplan, O., Livaoğlu, R. 2017.** Kütahya yeşil minarenin kapalı ve açık şerefeli dinamik davranışlarının karşılaştırılması.4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Ekinci, S., Deniz, Ö. Ş., & Gür, N. V. 2012.** Yapı Kültürü ve Tasarım Verileri Işığında “Kâgir Yığma Dış Duvarların” Tarihsel Gelişimi. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu. Duvarların” Tarihsel Gelişimi.
- Emrulloğlu, C. B., Karademir, H., & Emrulloğlu, Ö. F. 2004.** Tuğla kırıklarının tuğla üretiminde kullanımı, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14.
- Ercan, E. 2010.** Tarihi Yığma Yapıların Güvenliklerinin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ercan, E., Nuhoglu, A. 2014.** Identification of historical veziragasi aqueduct using the operational modal analysis. *The Scientific World Journal*, Vol. 2014,1-8.
- Foti, D., Diaferio, M., Giannoccaro, N. I., Mongelli, M. 2012a.** Ambient vibration testing, dynamic identification and model updating of a historic tower. *NDT & E International*, 47, 88-95.
- Foti, D., Ivorra, S., Sabbà, M. F. 2012b.** Dynamic investigation of an ancient masonry bell tower with operational modal analysis: A non-destructive experimental technique to obtain the dynamic characteristics of a structure. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6, 384-391.
- Gentile, C., Saisi, A. 2007.** Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment. *Construction and Building Materials*, 21(6): 1311-1321.
- Gentile, C., Saisi, A., Cabboi, A. 2015.** Structural identification of a masonry tower based on operational modal analysis. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(2): 98-110.
- Gönen, H., Dogan, M., Karacasu, M., Ozbasaran, H., Gokdemir, H. 2013.** Structural failures in retrofit historical murat masonry arch bridge. *Engineering Failure Analysis*, 35: 334-342.
- Güneri, S. 2009.** Doğal taşların teknik özelliklerine göre kullanım alanlarının ve uygulama parametrelerinin belirlenmesi, *Doctoral dissertation*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güneş, S. Anıl, Ö.,2017**Operasyonel Modal Analiz Tekniği İle Yığma Yapıların Dinamik Davranışının Belirlenmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Hökelekli, E., Ercan, E., Nohutcu, H., Demir, A., Gençel, O. 2017.** Tarihi bir caminin dinamik karakteristiklerinin analitik ve deneysel yöntemlerle belirlenmesi. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-3-4 Kasım 2017, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

- Ivorra, S., Pallarés, F. J., Adam, J. M. 2009.** Experimental and numerical results from the seismic study of a masonry bell tower. *Advances in Structural Engineering*, 12(2): 287-293.
- İçel, Bilgin, and Abdullah Beram 2016.** Tarihi ahşap yapılarda bazı odun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecek tahribatsız muayene yöntemleri. *Turkish Journal of Forestry* 17.2 : 201-207.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D., Kazaz, İ. 2017.** Tarihi Yığılma Yapıların Dinamik Davranışlarının Hesabında Gerekli Malzeme Özelliklerinin Tayini: Lala Paşa Camii Örneği, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-3-4 Kasım 2017, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D., Kazaz, İ. 2019.** Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi: Lala Paşa Camii Örneği, *Teknik Dergi*, 30(3).
- Korkmaz, E. 2016.** Türkiye'de Doğal Taş ve Mermer Madenciliği ile Dış Ticaret İlişkisi. *Paradigma*, 1(1): 35-46.
- Kömür, M. A., Deneme, İ. Ö., Yerli, H. R. 2015.** Düzlem Çelik Çerçeve Sistemlerin Operasyonel Modal Analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2): 73-80.
- Köprülü Bağbancı, Ö., Bağbancı, M.B., Polat Pekmeci, I., 2019.** Bursa Dereköy ve Aydınpınar Kiliseleri İle Erdek Ballıpınar Kilisesi'nde Kullanılan Malzemelerin Karakterizasyonu ve Strüktürel Davranışlarının Belirlenmesi. TÜBİTAK-117M871 Sayılı Proje Kesin Raporu (Yayınlanmamış Araştırma), Ankara.
- Kuban, D., 2009.** Çağlar Boyunca Türkiye Sanatının Anahatları, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- Kurugöl, S., Tekin, Ç. 2010.** Anadolu'da Bizans Dönemi Kale Yapılarında Kullanılan Tuğlaların Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4): 767-777.
- Lourenço, P. B., Krakowiak, K. J., Fernandes, F. M., Ramos, L. F. 2007.** Failure analysis of Monastery of Jerónimos, Lisbon: How to learn from sophisticated numerical models. *Engineering Failure Analysis*, 14 (2): 280-300.
- Lubowiecka, I., Armesto, J., Arias, P., Lorenzo, H. 2009.** Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. *Engineering Structures*, 31(11): 2667-2676.
- MEB, 2013.** Doğal taşları sınıflandırma ve tespit etme, İnşaat Teknolojisi, Ankara
- Nohutcu, H., Demir, A., Ercan, E., Hokelekli, E., Altıntaş, G. 2015.** Investigation of a historic masonry structure by numerical and operational modal analyses. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(13): 821-834.
- OMA. 2016.** Operational Modal Analysis, Release 4.5, Structural Vibration Solution A/S, Denmark.
- Osmancıklı, G., Uçak, Ş., Turan, F. N., Türker, T., 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.

- Pierdicca, A., Clementi, F., Isidori, D., Concettoni, E., Cristalli, C., Lenci, S. 2016.** Numerical model upgrading of a historical masonry palace monitored with a wireless sensor network. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 1(1): 74-98.
- Polat, Z. 2005.** Deprem Yüklere Altında Çözümleme Modal Spektral Hesap, 8-22 Ocak – İMO İstanbul Şubesi Kadıköy Temsilciliği.
- Raineri C., Fabbrocino, G., Cosenza, E., Manfredi, G. 2007.** Implementation of OMA procedures using Labview: theory and application, 2nd International Operational Modal Analyses Conference, Copenhagen, Denmark, pp.1-12, April 30-May 2.
- Ramos, L. F., Marques, L., Lourenço, P. B., De Roeck, G., Campos-Costa, A., Roque, J. 2010.** Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: two case studies. *Mechanical systems and signal processing*, 24(5): 1291-1305.
- Reynders, E. ve Roeck, G.D., 2008.** Reference-Based Combined Deterministic-Stochastic Subspace Identification for Experimental and Operational Modal Analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22, 617-637.
- Russo, S. 2013.** On the monitoring of historic Anime Sante church damaged by earthquake in L'Aquila. *Structural Control and Health Monitoring*, 20(9), 1226-1239.
- Saisi, A., Gentile, C., Guidobaldi, M. 2015.** Post-earthquake continuous dynamic monitoring of the Gabbia Tower in Mantua, Italy. *Construction and Building Materials*, 81, 101-112.
- Schwarz, B.J. ve Richardson, M.H., 1999.** Experimental Modal Analysis, CSI Reliability Week, Orlando, USA
- Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F. 2007.** Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, hasar biçimleri, onarım ve güçlendirme, *Yapı Dergisi*, 303:10-21.
- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunişik, A. C., Atamtürktür, S., Birinci, F. 2011.** Finite element model calibration effects on the earthquake response of masonry arch bridges. *Finite Elements in Analysis and Design*, 47(7): 621-634.
- Şimşek, O. 2007** Yapı Malzemesi II, SeçkinYayıncılık, Ankara.
- Torres, W., Almazán, J. L., Sandoval, C., Boroschek, R. 2017.** Operational modal analysis and FE model updating of the Metropolitan Cathedral of Santiago, Chile. *Engineering Structures*, 143, 169-188.
- TS 699, 2009.** Methods of Testing for Natural Building Stones” Turkish Standards Institution, Ankara.
- Türkçü, Ç. 2000.** Yapım, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018.** Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Ubertini, F., Comanducci, G., Cavalagli, N. 2016.** Vibration-based structural health monitoring of a historic bell-tower using output-only measurements and multivariate statistical analysis. *Structural Health Monitoring*, 15(4): 438-457.

Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2019. Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, Ankara.

Whelan, M. J., Gangone, M. V., Janoyan, K. D., Jha, R. 2009. Real-time wireless vibration monitoring for operational modal analysis of an integral abutment highway bridge. *Engineering Structures*, 31(10): 2224-2235.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Doğuhan DAĞLI
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 25.12.1990
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu : Lisans
Lise : Kirami Refia Alemdaroğlu Lisesi
Lisans : Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakóltesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Motto İnşaat Yapı
Petra Yapı
Karesi Belediyesi

İletişim (e-posta) : ddagli09@gmail.com

Yayınları : -