İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ YAPISAL DAVRANIŞI VE GEÇMİŞ HASARLARIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Nuri YAVUZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL

OCAK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ YAPISAL DAVRANIŞI VE GEÇMİŞ HASARLARIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Nuri YAVUZER
(501091237)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL

OCAK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091237 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Nuri YAVUZER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ YAPISAL DAVRANIŞI VE GEÇMİŞ HASARLARIN İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Abdullah Necmettin GÜNDÜZ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bilge DORAN .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Ekim 2015
Savunma Tarihi : 22 Ocak 2016

Babama,

ÖNSÖZ

Öncelikle, yürütücüsü olduğu TR10/ 14 / AFK / 040 sözleşme numaralı İstanbul Kalkınma Ajansı (İSTKA) projesine katılmamı sağlayarak araştırmama önemli derecede destek olan, beni sabırla aydınlatan, insani değerleri ve yaklaşımı sebebiyle birlikte çalışmaktan onur duyduğum, tez danışmanlığımı yürüten, değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL'a,
Tecrübesi ve birikimiyle ben yönlendiren, değerli vaktini esirgemeyen, cami rölövelerini temin eden, tez danışmanlığımın ilk yürütücüsü, değerli hocam Sayın Prof. Zekai CELEP'e,
İSTKA projesinde yer alan sayın hocalarım, Sayın Prof. Dr. Gülten GÜLAY, Sayın Prof. Dr. Alper İLKİ, Sayın Yrd. Doç. Dr.Eleni SMYROU ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Burcu GÜNEŞ'e,
Araştırmalarımla ilgili sorularımı yanıtlayarak vaktini ayıran Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuğrul TURAN'a, tarihi yığma yapıların davranışı ile ilgili bilgi ve tecrübelerini, kitaplarını benimle paylaşan Sayın Dr. Cem DEMİR'e,
Caminin üç boyutlu çiziminde ve sonlu elemanlar modelinde emeği geçen ve manevi desteğini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım İnş. Yüksek Mühendisi Murat ALABOZ'a ve çalışma arkadaşlarım İnş. Yüksek Mühendisi Ziya MÜDERRİSOĞLU ile İnş. Yüksek Mühendisi Doruk DİKER'e,
Çalışmam sırasında destek olan İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'ne,
Yüksek lisans tezimi sarsma tablası alımı ile destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,
Araştırmalarıma maddi destek veren İstanbul Kalkınma Ajansı'na,
Camiyle ilgili arşiv çalışmalarına destek olan İstanbul Vakıflar Bölge Müdürlüğü ve İstanbul 2 Numaralı Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'ne,
Yapıya önemli müdahalelerde bulunan, yazdığı raporlar ve projeleriyle bize ışık tutan, rahmetle andığım İTÜ İnşaat Fakültesi hocalarından Sayın Prof. Dr. Feridun ARISAN'a,
Cami rölölevelerini hazırlayan Asmira Mimarlık'a
Bu süreçte yanımda olan adını sayamadığım arkadaşlarım ve aile fertlerine, şantiye anıları anlatarak bana meslek ahlakını öğreten rahmetli dedem İnş. Mühendisi Mehmet Necdet CERİT ve rahmetle andığım biricik babam İnş. Mühendisi Osman Nuri YAVUZER'e, değerli annem Nurhayat CERİT, bana sabırla destek olan sevgili eşim Nalan ve canım oğlum Aras Nuri'ye teşekkürlerimi arz ederim.

Ocak 2016

Mehmet Nuri Yavuzer
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. OSMANLI DÖNEMİKLASİK CAMİLERİ **3**
2.1 Genel Özellikler 3
2.2 Yapın Teknikleri ve Yapısal Elemanlar 3
2.2.1 Yapının araziye yerleştirilmesi ve temeller 3
2.2.1.1 Sağlam zeminde taş temeller 4
2.2.1.2 Zayıf zeminlerde sağlamlaştırılan temel üzrinde temel uygulaması 5
2.2.2 Örtü elemanları 6
2.2.2.1 Kubbe 7
2.2.2.2 Kemerler 8
2.2.2.3 Geçiş elemanları 9
2.2.3 Duvar örgü teknikleri 12
2.2.3.1 Kesme taş duvar örgüsü 12
2.2.3.2 Kaba yonu taş duvar örgüsü 13
2.2.3.3 Moloz taş ve yer yer kaba yonu taş duvar örgüsü 14
2.2.3.4 Moloz taş duvar örgüsü 14
2.2.3.5 Tuğla-taş almaşık duvar örgüsü 14
2.2.4 Harçlar ve derzler 15
2.2.5 Hatıllar 16
2.2.6 Sütun ve ayaklar 16
2.2.6.1 Sütun kaideleri 18
2.2.7 Örtü kaplaması. 18
2.2.8 Demir kullanımı. 19
2.2.8.1 Demirin yapısal sistemde kullanımı 20
2.2.9 Sıva 21
2.2.10 Döşemeler. 21
2.2.11 Minare 22
2.3 Malzeme 22
2.3.1 Harç 22
2.3.2 Taş 23
2.3.3 Tuğla. 26
2.3.4 Ahşap 28
2.3.5 Demir ve kurşun 28
3. MODELLEME ve ANALİZ YÖNTEMLERİ **29**
3.1 Modelleme Yöntemleri 29
3.1.1 Mikro modelleme yöntemi 29
3.1.2 Makro modelleme yöntemi 30
3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi 31
3.3 Doğrusal Analiz 32

3.4 Doğrusal Olmayan Analiz……..……..33
4. YAPI TİTREŞİMLERİNİN İZLENMESİ…….……35
4.1 Deneysel ve Operasyonal Modal Analiz……..…….……35
4.1.1 Teorik modal analiz……..…….……...35
4.1.2 Operasyonel modal analiz……..……..35
4.2 Veri Toplama…….……37
4.3 Sensörler…….……...37
5. ÖRNEK ÇALIŞMA: ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ…….……..41
5.1 Genel Bilgiler……..……41
5.1.1 Zal Mahmut Paşa Külliyesi'nin tarihçesi……..…….……41
5.1.2 Caminin mimari özellikleri……..…….……43
5.1.3 Caminin geometrik özellikleri……..…….……47
5.1.4 Caminin taşıyıcı sistemi ve malzeme özellikleri……..…….……47
5.1.5 Zemin özellikleri……..……48
5.2 Taşıyıcı Sistem Müdahaleleri……..…….…...…….48
5.2.1 20. yüzyıl öncesi yapıya etki eden depremler…..……..…….……...48
5.2.1.1 1766 İstanbul Depremi……...48
5.2.1.2 1894 İstanbul Depremi……...49
5.2.2 1957-1963 müdahaleleri……..……..…….……..50
5.2.3 2008 yılı teknik raporu……..…….……57
5.3 Yapının Mevcut Durumu……..…….……...58
5.4 Çevresel Titreşim Testi…….....……..60
5.4.1 Kalibrasyon çalışması…….…….……..60
5.4.2 Sensörlerin yerleşimi ve ölçümler…….…….……..…61
5.5 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli……..…….……..…66
5.5.1 Modal analiz…….…….……...68
5.5.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi……..……69
6. SONUÇ ve ÖNERİLER…….…….……79
KAYNAKLAR. ...……..81
EKLER. ...……..87
ÖZGEÇMİŞ. …...……109

KISALTMALAR

FEM	**:** Finite Element Model
M.S	**:** Milattan Sonra
MPa	**:** Mega Pascal
GPa	**:** Gigapaskal
EFDD	**:** Enhanced Frequency Domain Decomposition
GPS	**:** Global Positioning System

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Taşların ortalama mekanik özellikleri **23**
Çizelge 2.2 : Küfekinin özellikleri..... **24**
Çizelge 2.3 : Küfekinin mekanik (tek eksenli) özellikleri (1-30 günlük) **24**
Çizelge 2.4 : Laboratuvar koşullarında kür edilen küfeki taşlarına ait deneysel sonuçlar **25**
Çizelge 2.5 : Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri **27**
Çizelge 2.6 : Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri **28**
Çizelge 5.1 : Sensör No: 101 için kalibrasyon çalışması ölçüm düzeneği **61**
Çizelge 5.2 : Kuzey-Güney yönü için frekans değerleri ve sönüm oranları..... **65**
Çizelge 5.3 : Doğu-Batı yönü için frekans değerleri ve sönüm oranları **65**
Çizelge 5.4 : Frekans değerleri ve sönüm oranları **66**
Çizelge 5.5 : İlk 8 modunun frekans değerleri **69**
Çizelge 5.6 : Basınç gerilme değerlerini gösteren tablo..... **70**
Çizelge 5.7 : Gerilme ve deplasman değerlerini gösteren tablo **73**
Çizelge 5.8 : Kayma gerilme değerlerini gösteren tablo **76**
Çizelge 6.1 : Frekans değerleri karşılaştırması..... **80**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Arkeoloji- deprem ilişkisi. **1**
Şekil 2.1 : Süleymaniye Camisi temel kesiti. Kıble duvarlarının kuzey ucunda açılan sondaj çukurunda: a. Kum katmanı, b. Ahşap ızgara, c. Anpatmanlı temel. **4**
Şekil 2.2 : Ayvansaray Hacı Hüsrev Cami 17. Yüzyıl temel detayı..... **5**
Şekil 2.3 : Kubbe yük şeması. **7**
Şekil 2.4 : Kubbe detayı..... **8**
Şekil 2.5 : Zal Mahmut Paşa son cemaat yeri almaşık kemer uygulaması..... **9**
Şekil 2.6 : Pandantif yük şeması..... **10**
Şekil 2.7 : Pandantif yük aktarımı. **10**
Şekil 2.8 : Pandantif..... **10**
Şekil 2.9 : Pandantif..... **11**
Şekil 2.10 : Pandantif detayı..... **11**
Şekil 2.11 : Demir kenet detayı. **13**
Şekil 2.12 : Demir zıvana detayı. **13**
Şekil 2.13 : Tuğla taş almaşık duvar örgüsü. 1- Zincirlikuyu Atik Ali Paşa Camisi (1511), 2- Silivrikapı Hadım İbrahim Paşa Camisi (1551), 3- Eyüp Zal Mahmut Paşa Camisi (1580), 4- Beşiktaş Sinan Paşa Camisi (1555)..... **15**
Şekil 2.14 : Derz detayı. **16**
Şekil 2.15 : Beyce Sultan duvar örgü tekniği. **16**
Şekil 2.16 : Sütun bilezik detayı. Yeni Cami revak sütunu (1597-1663)..... **17**
Şekil 2.17 : Sütun detayı..... **17**
Şekil 2.18 : Sultan Ahmet Camisi fil ayağı. **18**
Şekil 2.19 : Yanaşık derzli kesme taş duvar örgüsü. **19**
Şekil 2.20 : Fatih Medresesi (1463-70) demir gergi detayı. **20**
Şekil 2.21 : Mesnetleme sistemleri; simitli mesnetleme, açık kılıçlı mesnetleme, simitli mesnete açık bağlantı. **20**
Şekil 2.22 : Topkapı Sarayı Hazine revağında demir gergilerin sütun başlığına mesnetlenme detayı. **21**
Şekil 2.24 : Çift zımbalama deneyi ile dolaylı çekme dayanımının belirlenmesi. **25**
Şekil 2.25 : Harman tuğlası (duvarlar için). **26**
Şekil 2.26 : Silindirik tuğlanın çevrimli basınç deneyi ve tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi. **27**
Şekil 3.1 : Model yaklaşımları. a) detaylı mikro b) basit mikto c) makro modelleme. **29**
Şekil 3.2 : Yığma duvarın mikro model analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme diyagramı b,c) Maksimum ve nihai yüklerdeki deformasyonlar. **30**
Şekil 3.3 : Yığma duvar makro model analizi a) kuvvet-yer değiştirme diyagramı b) nihai yükte deformasyon şekli. **30**
Şekil 3.4 : Sonlu Elemanlar Modelinin oluşturulması..... **31**
Şekil 3.5 : SEY- Temel kavramlar a) genel bir P(x,y) değişkeni b) üçgen sonlu eleman c) üçgen sonlu eleman ağı. **32**
Şekil 3.6 : Analiz seviyeleri..... **33**
Şekil 4.1 : Veri toplamanın aşamaları..... **37**
Şekil 4.2 : Kablolu bina ağı. **38**
Şekil 5.1 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin konumu..... **41**

Şekil 5.2 : Zal Mahmut Paşa Külliyesi aksonometrik persfpektif çizimi……**42**
Şekil 5.3 : Zal Mahmut Paşa Camisi'nin içten görünüşü. ……..……**43**
Şekil 5.4 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin kıble duvarı. ……..……**44**
Şekil 5.5 : Zal Mahmut Paşa Camii ana kemerlerinden biri. ……..……**44**
Şekil 5.6 : Mahfilin altındaki kemerler ve sütunlar. ……..……**45**
Şekil 5.7 : Zal Mahmut Paşa Camii. ……..……**46**
Şekil 5.8 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen mahfil fotoğrafı. ……**51**
Şekil 5.9 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen mahfil katı fotoğrafı. …**51**
Şekil 5.10 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen zemin katı fotoğrafı. ..**51**
Şekil 5.11 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen fil ayağı ve ana kemer birleşimini gösteren fotoğraf. ……..……**52**
Şekil 5.12 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen fil ayağını gösteren fotoğraf. ……..……**52**
Şekil 5.13 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen sütun başlığını gösteren fotoğraf. ……..**53**
Şekil 5.14 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen avlu içindeki şadırvanı gösteren fotoğraf. ...……..……..…**53**
Şekil 5.15 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1950'li yıllarda kırılan gerginin bulunduğu bölge. ……..……..…**54**
Şekil 5.16 : Zal Mahmut Paşa Camii,dışı taş kaplı betonarme payanda. ……**55**
Şekil 5.17 : İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi hocalarından Ord. Prof. Dr. Feridun ARISAN (1907-1984). ……..……..**56**
Şekil 5.18 : Zal Mahmut Paşa Camii, Nisan 2015'te restorasyon sırasında çekilen bir fotoğraf. ……..……**58**
Şekil 5.19 : Zal Mahmut Paşa Camii,onarılan gerginin bulunduğu kadınlar mahfili döşemesi. ……..……**59**
Şekil 5.20 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda tamir edildikten sonra bakımı yapılması için açıkta bırakılan gergi demirinin günümüzde ilk tespit edildiği an. ……..……**59**
Şekil 5.21 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda onarılan gergi demiri. ……**60**
Şekil 5.22 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda onarılan gergi demirinin bakımı yapıldıktan sonraki hali. ……..……..……**60**
Şekil 5.23 : Sarsma tablası üzerinde test edilen ivmeölçer. ……**61**
Şekil 5.24 : Kablosuz üç eksenli ivmeölçerin teknik özellikleri. ……..…..…**62**
Şekil 5.25 : İvmeölçer yerleşim planı, a) cami giriş katı b) cami kadınlar mahfili katı. ……..……..……**62**
Şekil 5.26 : İvmeölçer yerleşim planı, cami kubbesi. ……..……**62**
Şekil 5.27 : Ölçümde srasında kullanılan ivmeölçer, aküleri, wifi üniteleri, Gps aparatı ve kabloları. ……..……..…..……..…..…**63**
Şekil 5.28 : Kubbeye yerleştirilen ivmeölçerlerden bazıları. ……..……**63**
Şekil 5.29 : Fil ayağının yanına yerleştirilen ivmeölçer ve aparatları. ……**64**
Şekil 5.30 : Ölçüm sırasında, caminin giriş katının ortasında kullanılan bir bilgisayarda ivmeölçerlerden alınan veriler toplanmaktadır. ……..……**64**
Şekil 5.31 : Spektral yoğunluk matrisi tekil değerleri grafiği. ……..……..**65**
Şekil 5.32 : Zal Mahmut Paşa Camii, Artemis programı basitleştirilmiş modeli. ….**66**
Şekil 5.33 : Zal Mahmut Paşa Camii, Artemis programında bulunan mod şekilleri ……..……..….**66**
Şekil 5.34 : Tetrahedral eleman. ……..……...…**67**
Şekil 5.35 : Sonlu elemanlar modeli güney (giriş) cephesi görünüşü. ……**67**
Şekil 5.36 : Sonlu elemanlar modeli doğu cephesi görünüşü. ……**67**

Şekil 5.37 : Sonlu elemanlar modeli plan görünüşü. ……..……**68**
Şekil 5.38 : Yapının ilk 4 mod şekli. ……..**....68**
Şekil 5.39 : Yapının 5,6,7 ve 8. Mod şekilleri. ……..……..**69**
Şekil 5.40 : Hesaplarda göze alınan deprem doğrultuları. ……..…….....**70**
Şekil 5:41 : (G-EX) Batı cephesi çatıda meydana gelen 1,30 değerindeki MPa basınç gerilmesi. ……..……...……..……..…….**71**
Şekil 5.42 : (G+EX) Giriş katında fil ayağında meydana gelen 3,78 MPa değerindeki basınç gerilmesi. ……..……**71**
Şekil 5.43 : (G+EY45^0) Mahfil katındaki rijit fil ayağında meydana gelen 2,46 MPa değerindeki basınç gerilmesi. ……..……**....72**
Şekil 5.44 : (G-EX45^0) Kopan gerginin bulunduğu ana kemerde meydana gelen 2.46 MPa değerindeki basınç gerilmesi. ……..…...……..……...**72**
Şekil 5.45 : (G-EY45^0) Kıble duvarı ayaklarında meydana gelen 2,70 MPa değerindeki basınç gerilmesi…….. ……..……...**73**
Şekil 5.46 : (G+EY45^0) Batı cephesinde meydana gelen 1,78 MPa değerindeki çekme gerilmesi. ……..……...**74**
Şekil 5.47 : (G-EX) Batı cephesinde meydana gelen 1,78 MPa değerindeki çekme gerilmesi. ……..……...**74**
Şekil 5.48 : (G-EX) Kıble duvarıtepe orta noktasında meydana gelen 0,0013m değerindeki yer değiştirme. ……..……...**75**
Şekil 5.49 : (G-EX) Kopan gerginin ana kemerinde meydana gelen 0,0013m değerindeki yer değiştirme. ……..……..……...**75**
Şekil 5.50 : (G-EX) Batı cephesi çatıda meydana gelen 1,03 MPa değerindeki kayma gerilmesi. ……..……..……**....76**
Şekil 5.51 : (G+EY) Batı cephesi meydana gelen 0,85 MPa değerindeki kayma gerilmesi. ……..……..……**....77**
Şekil 5.52 : (G-EY) Kopan gerginin yanındaki rijit kolonda meydana gelen 0,30 MPa değerindeki kayma gerilmesi… ……..…..……...**77**
Şekil A.1 : Zal Mahmut Paşa Camii, kuzey cephesi rölevesi. ……..…..**88**
Şekil A.2 : Zal Mahmut Paşa Camii, doğu cephesi rölevesi. ……..…**89**
Şekil A.3 : Zal Mahmut Paşa Camii, güney cephesi rölevesi. ……..……..**90**
Şekil A.4 : Zal Mahmut Paşa Camii, batı cephesi rölevesi. ……**91**
Şekil B.1 : Kubbe üzerindeki kurşun kaplaması ile ilgili yazı (1956). ……..……..**92**
Şekil B.2 : Hasar tespit yazısı (1959). ……..……..**93**
Şekil B.3 : Takviye ve tahkim projesi yazısı (1960). ……..…....**94**
Şekil B.4 : Takviye ile ilgili karar yazısı (1960). ……..……**95**
Şekil B.5 : Tahkim ve takviye projesi yazısı (1960). ……..……**96**
Şekil B.6 : Şekil B.5'teki yazının devamı. ……..……**97**
Şekil B.7 : İstihkak raporu (1960). ……..……**97**
Şekil B.8 : Takviye projesi (1960). ……..…...**98**
Şekil B.9 : Takviye projesi (1960). ……..……..**99**
Şekil B.10 : Takviye projesi (1960). ……..……**100**
Şekil B.11 : Takviye projesi (1960). ……**101**
Şekil B.12 : Takviye projesi hesapları (1960). ……**102**
Şekil B.13 : Takviye projesi hesapları (1960). ……..**103**
Şekil B.14 : Takviye projesi hesapları (1960). ……**.....104**
Şekil B.15 : Takviye projesi hesapları (1960). ……..…**105**
Şekil B.16 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin cemaate kapalı olduğunu gösteren belge (1963). ……**106**
Şekil B.17 : Zal Mahmut Paşa Camii minaresinin onarımı ile ilgili belge (1959)**...107**

ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ YAPISAL DAVRANIŞI VE GEÇMİŞ HASARLARIN İNCELENMESİ

ÖZET

Tarihi yığma yapıların mevcut durumlarının ve olası depremler karşısındaki davranışlarının incelenmesi, kültürel mirasımızın gelecek kuşaklara aktarılması doğrultusunda önemli bir adımdır. İncelenen yapının mimari ve yapısal özellikleri, maruz kaldığı deprem, yangın gibi yapısal değişme sebep olacak etkilerin araştırılması, geçirdiği onarım ve güçlendirmeler, aynı dönemde benzer yapılarda kullanılan yapım teknikleri ve kullanılan malzemeler yapılan bu incelemenin olmazsa olmaz ana unsurlarını oluşturmaktadır.

Çalışmamın ilk bölümününde konuya girişin ardından ikinci bölümde Osmanlı Klasik Dönem Camilerinin genel özellikleriyle birlikte, yapım teknikleri, yapısal elemanlar ve kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tarihi yığma yapıların modelleme teknikleri ve analiz yöntemleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, yapı titreşimlerinin izlenmesi konusu irdelenmiştir. Deneysel ve operasyonel model analiz, veri toplama ve sensörler başlıkları altında konular genel hatlarıyla ifade edilmiştir.

Beşinci bölümde öncelikle yapının içinde yer aldığı külliyenin konumu ve arazi şartları hakkında bilgi verilmiştir. Bu bilgilere göre yapı kısaca; Eyüp'te Zal Paşa Caddesi'nde Zal Mahmut Paşa Külliyesi'nde bulunmaktadır. Külliye eğimli bir araziye inşaa edilmiştir. Bu eğim sebebiyle yapının cepheleri farklı yüksekliktedir ve bu nedenle yapının doğu cephesinde fazladan bir bodrum kat inşaa edildiği görülmektedir. Yapının geometrisindeki simetrik olmayan durumun yapıda oluşan hasarların temelini oluşturduğu tarafımızca tespit edilmiştir. Ayrıca beşinci bölümde külliyenin diğer kısımları ele alınırken, külliyenin kim tarafından hangi tarihte yaptırıldığı aktarılmış ve yapının mimarı hakkında yazılan kaynaklar paylaşılmıştır.

Mimar Sinan'ın eseri olan yapının mimari ve geometrik özellikleri ile ilgili kısaca şu bilgiler aktarılmıştır; plan ölçüleri 24.90mx26.30m olan caminin kubbe üst kotu ile zemin kat arasında olan yükseklik 21.06 m'dir. Kubbe altında geçiş elemanı olarak pandantif kullanılmıştır. Mimar Sinan'ı diğer eserlerinden farklı olarak kubbe ağırlığını; dört ana kemer ve kemerlerin altındaki fil ayakları taşımaktadır. Yapının cephe duvarları ile kubbe sistemi yapısal olarak birbirinden bağımsızdır. Oysa Mimar Sinan diğer yapılarında, kubbenin ağırlığını yarım kubbelerle duvarlara aktarmış ya da ana kemerleri duvarların içerisine gizlemiştir.

Yapının günümüzdeki hali incelenmiş ve bu inceleme sonucunda yapının önemli bölgelerine betonarme güçlendirmelerin yapıldığı tespit edilmiştir. Mimar Sinan'ın eserindeki bu önemli müdahalelerin ne amaçla yapıldığını öğrenmek amacıyla yapı hakkında bir arşiv çalışması yapılmıştır. Müdahalelerin önemli bir hasar neticesinde meydana geldiği düşünülerek öncelikle yapıya etki eden depremler araştırılmıştır. 1766 İstanbul Depremi'nin yapıda oluşturduğu hasarlarla ilgili herhangi bir bilgiye ulaşılamazken 1894 İstanbul Depremi'nde ise yapının esas duvarının çatladığı, minaresinin yıkıldığı ve yapının da harap halde olduğu kaynaklardan elde edilmektedir.

Arşiv çalışması sonucunda elde edilen, yapı hakkında 1950'li yıllarda hazırlanan rapora göre yapının ana kemerlerden birinin gergisinin orta yerinden koptuğu, kıble duvarının önemli ölçüde deplasman yaptığı, kemerlerden birinin 25 cm sehim yaptığı belirtilmektedir. Bu önemli hasarlar sonucunda yine aynı yıllarda bir güçlendirme projesi hazırlanmıştır. Detaylarına ulaşılan bu güçlendirme projesinin, yapı üzerinde gözlemlediğimiz betonarme müdahalelere ait olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan güçlendirme projesinde gerginin sütunlara olan ankrajlarının sağlamlığının üzerinde durulmuş ve gergi sisteminin korunarak ileride tamir edilmek üzere açık bırakıldığı yazılmaktadır. Yapıya olan ziyaretlerimiz sırasında açıkta bırakılan gergi tarafımızca bulunmuştur ve tamir edilmiştir.

Yapıda çevresel titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiş olup sonuçları ve elde edilen değerler gösterilmiştir. Yapının sonlu elemanlar modeli kurularak yapının statik ve dinamik analizleri yapılmıştır.

Sonuç bölümünde, yapılan çalışmalarla ilgili özet bilgiler verilmiştir ve analiz sonuçları kısaca paylaşılmıştır. Gerginin neden koptuğu ile ilgili olarak sonuç bölümünde şu yorum paylaşılmıştır: Caminin eğimli bir araziye oturması dolayısıyla gerginin bağlı olduğu fil ayaklarından biri yapı içerisindeki en uzun fil ayağıdır. Bu fil ayağının rijitliğinin %40 daha az olduğu tespit edilmiştir. Rijitliği daha az olan fil ayağının deprem etkisi altında daha fazla yer değiştime yapması gergi üzerindeki çekme kuvvetini arttırarak kopmasına sebebiyet vermiş olabilir.

STUCTURAL BEHAVIOUR OF ZAL MAHMUT PASA MOSQUES AND REVIEW OF PAST DAMAGES

SUMMARY

Assessment of existing historical masonry structures is a crucial step on conserving and passing the cultural heritage on next generations. The vital phases of the assessment are to define architectural feautures and structural properties in detail, recording the earthquakes hit the structure, fire or any incident that might have caused to structural changes -such as removal of walls, additions, effects of previous restorations, construction material and techniques of its era.

In the first chapter of this thesis, an introduction is made. In the second chapter, general information about Classical Period Ottoman Mosques is given. Construction techniques and structural aspects of these mosques are explained.

Location of structure in the field, foundations of the structure, stone foundations on solid ground and improvement applications of foundations on weaker soils are explained.

Brief information about dome, archs and pendentives are given to exemplify the structural elements. Importance of cover elements in Classical Period Mosques is explained. Cut stone walls, roughly-hewn stone walls, rubble stone walls and brick stone alternate walls (was used at Zal Mahmutpasa Mosque) are studied. Mortars and joints, timbers, columns, column bases and cover facing which are structural elements are mentioned. Using iron in structural systems and support systems are dwelled on. Informations about using plaster Classical Period Mosques, floors and minaret forms is given.

Building materials which are used in Classical Period Mosques, such as mortar, stone, brick, wood, iron bar and lead are investigated in terms of engineering properties. Young's Modulus, tensile strength, compressional strength and shear strength of these materials are given and a literature review are performed.

In the third chapter of thesis, micro modeling and macro modeling in masonry constructions are explained. Also brief information about finite element method, linear analysis and non-linear analysis are given.

In the fourth chapter, monitoring of structure vibrations, experimental and operational modal analysis, data collection and sensors are explained generally.

In the fifth chapter, location of the structure and field conditions are given. The structure is located in Zal Mahmut Paşa Külliyesi (Zal Mahmut Pasha Social Complex) at Zal Paşa Street, Eyüp. The Külliye (the Social Complex) was constructed in an inclined field and due to the inclination and elevation difference, stairs were used between two courtyards of the mosque. Also inclination caused that the facades of the structures were constructed at different levels. In east facade, an extra basement was constructed. It is seen that, this asymmetry in the geometry of structure is the main cause of damages.

Moreover, the other parts of the Külliye is investigated and additional information in literature about the architect of the structure and by whom it was built in which date are given.

These architectural and geometrical information are presented about Sinan's work of art: Plan layout of the dome is 24,90 mx26,30m and elevation between top point of dome and ground floor is 21,06 m.

Pendentives is used as transition element under the dome. Differently from the other works of Sinan, the weight of the dome is carried by four main archs and elephant feet piers under the archs. Face walls of the structure and the dome system are structurally independent. On the contrary, in the other works of Sinan, weight of the dome was transferred by half domes to the face walls or main archs are hidden in the walls.

In the fifth chapter, recent condition of the structure is investigated and it is observed that some critical regions of structure have been strengthened using reinforced concrete. A literature review is performed to understand the reason of these applications explained in Sinan's artwork. It is thought that these application were made as a result of an important earthquake and the earthquakes which affected the structure are investigated. There is no information about Zal Mahmut Paşa Mosque on 1766 Istanbul earthquake. On the other hand, in 1894 İstanbul Earthquake outer wall of structure was cracked, minarets were collapsed and according to sources the structure was severely damaged.

In order to get further information about structure archives of Republic of Turkey Ministry of Culture and Tourism Directorate General of Cultural Assest and Museums' and 'Republic of Turkey Prime Ministry Directorate General of Foundations' reviewed. As a result of review of archives it is seen that one of the tie rods of the structure's main arch broke, qibla wall was displaced significantly and one of the arches was displaced 25 cm along gravitational direction. A strengthening project was prepared due to these destructive damages. Detailed information about this project is reached and it is understood that this project involves the applied reinforced concrete observed at site. The project also gives information about the strength of connection between tie rod and columns and it is written that tie will be repaired in suitable applications in future. This tie rod was discovered by author during their investigations and was repaired.

Moreover, vibration data is collected by utilizing 20 accelerometers from different places to determine natural vibration frequency and modal shape of structure. Artemis software was used to derive frequency and modes of structure.

The structure is analyzed in finite element program Abaqus. Modal analysis of structure is performed and calculated frequency values are compared with measured values in site. Linear elastic analysis of structure is performed using equivalent earthquake load method.

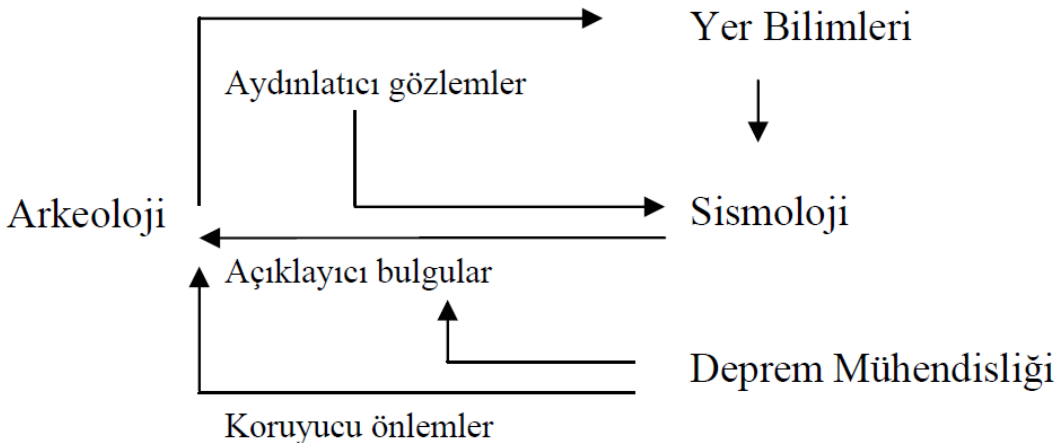
Compressive, tensional, shear stresses and displacement values for critical regions obtained as results of these analysis were presented.

Compressive stress results obtained from finite element analysis show that, stresses occurred by G+EY45° loading case in gathering part of elephant-foot that tied with broken tie rod is 2,46MPa, and also determined as 3,78 MPa for basement of same part. A compressive stress value of 1,91MPa under G-EX load case occurs on main arch which is over the broken tie rod. Tensional stress value of 0,85Mpa is also obtained on same arch under G-EX MPa.

A comment on the reason of tie rod rupture was made as: The rod was tied with the longest elephant-foot of structure as the mosque is located on a sloping land. It is confirmed that the stiffness of this foot is 40% less than the others. The larger displacement in this less-rigidity elephenat-foot under lateral loads may cause the rupture by increasing tensional forces for tie rod.

1. GİRİŞ

Tarihi kültür mirasının korunması konusu, mimarlık, inşaat mühendisliği, şehir planlaması, sanat tarihi ve yapı restorasyonu disiplinlerinin yanı sıra toplumsal gelişme felsefesi ve sosyolojisi ile de ilgili boyutlar taşımaktadır. Hasar görmüş ya da hasarsız bir şekilde ayakta kalabilmiş binaların, anıtların ve diğer tür tarihi yapıların korunabilmesi için yapı sistemlerinin desteklenmesi gerekmektedir. Eski yapılar üzerindeki hasarın ana sebeplerinden biri olarak gösterilen deprem etkisi ülkemizde de yaygın biçimde rastlanan bir afet türü olarak bilinmektedir. Çalışmasında arkeoloji biliminin, yok olmuş ya da parçalarının bir kısmı toprak altında kalmış yapıların ortaya çıkarılmasındaki öneminin altını çizen Küçükdoğan, B. ve diğ., arkeolojinin yapısal takviye düzenlemeleriyle ilgili bağlantılarını incelerken arkeoloji-deprem ilişkisinin ön plana çıktığını belirtmektedir. Tarihi mirasın korunması ile ilgili olarak bu ilişki, deprem biliminin ana öğelerini oluşturan "sismoloji, yer bilimleri, deprem mühendisliği" disiplinlerinin arkeolojiye karşı konumlarını gösteren Şekil 1.1'deki şemada yer almaktadır [1].



Şekil 1.1 : Arkeoloji- deprem ilişkisi [1].

Koruma amacıyla teknik müdahale yöneltilecek yapıyla ilgili "durum saptaması ve değerlendirilmesi" aşamasından başlayarak inşaat işinin tamamlanıp yapının yeni haliyle hizmete girmesine kadar giden bir süreç mevcuttur. "Durum saptaması ve

değerlendirmesi" aşaması kendisinden sonra gelecek tüm operasyonel aşamaları etkileme ve yönlendirme özelliğine sahiptir.

Çok disiplinli bir uzmanlar grubu, bu aşamaların çalışmalarından başlayarak uygulamanın sonuç vermesine kadar yürüyen tüm adımlarda birbirini tamamlayıcı işbirliği yapması gerekmektedir.

Şehir ve bölge planlamacısı, mimar, restorasyon uzmanı, sanat tarihçisi, kentsel ve yapısal gelişme sosyolojisi uzmanı ve inşaat mühendisliği disiplinleri içinden yapı malzemesi uzmanları, altyapı uzmanları ve yapının iskeletini oluşturan karkas parçasının davranışı konusunun uzmanları ve analizcileri, bazı durumlarda arkeolog, gibi uzmanlar bazen hepsi birlikte bazen aralarından bir ölümü kuvvetli bir işbirliği içinde çalışma durumundadır. Bu tezin çalışma aşamalarında da"durum saptaması ve değerlendirilmesi"başlığı altında göz önünde bulundurulan maddeler aşağıdaki gibidir;

a. Müdahale edilecek yapının sanat tarihi yönünden incelenmesi

b. Topografi k ve jeolojik durum incelemesi (Yapının oturduğu arazinin topografik ve jeolojik özellikleri ile ilk dönemlerden bu yana bu özelliklerde değişiklik olup olmadığının incelenmesi)

c. Yapının mevcut durumuyla geometrik özelliklerinin belirlenmesi

d. Yapının orijinalinde ve sonradan ilave edilmiş bölümlerinde kullanılmış malzemelerin incelenmesi

e. Deprem etkisi bakış açısından inceleme

f. Bir araya getirilmiş bilgilerin yardımıyla yapının bir ön yapısal analizinin yapılması

g. Sistematik fiziksel hareket izleme ve ölçüm alma düzeneğinin kurulması (monitoring)

h. Yapı sistemi kimliğinin belirlenmesi (system identification)[1].

2. OSMANLI DÖNEMİ KLASİK CAMİLERİ

2.1 Genel Özellikler

II. Beyazıt döneminden XVI'ncı yüzyılın sonuna kadar olan süre, Osmanlı mimarisinin "Klasik Dönemi" olarak adlandırılır. II. Beyazıt ile başlayan bu döneme, aynı zamanda "Büyük Külliyeler Devri" de denilmektedir. Klasik Osmanlı Dönemi'nde camiler başkent İstanbul'un eğitim, sağlık, ticaret vs. gibi ihtiyaçlarını da karşılamak üzere bir bütün olarak düşünülmüş, sosyal düzeni oluşturacak bir çekirdek meydana getirilmiştir [2,3].

Klasik Osmanlı Dönemi cami mimarisinin en önemli özelliği anıtsal yapının biçimlendirilmesinde kubbenin ana yaratıcı faktör haline gelmiş olmasıdır [4].

Bu döneme ait cami anlayışı; namaz kılınacak yekpare bir iç mekan, ona eklemlenmiş son cemaat yeri, meydan işlevi gören avlu ve simgesel olarak mihrap ve minaredir [5].

2.2 Yapım Teknikleri ve Yapısal Elemanlar

2.2.1 Yapının araziye yerleştirilmesi ve temeller

Klasik Osmanlı Dönemi yapı temellerinin biçim ve derinliği konusundaki bilgiler yapılan araştırma kazılarının azlığı nedeniyle sınırlıdır. Ancak elimizde olan bilgiler doğrultusunda, resmi temel atma töreninden önce yapının arsaya aplikasyonu ve temellerin belirli bir düzeye kadar inşası işlemi yer aldığı bilinmektedir. Aplikasyon işlemi için Risale-i Mimariye'den inşaatlarda "düzen ipi" olarak ifade edilen ip iskelesi kullanıldığı anlaşılmaktadır. Yapının planına göre duvarların yeri saptandıktan sonra temel kazısı, temellerin oturacağı sağlam zemin bulunana kadar devam etmektedir [6,7].

Evliya Çelebi'nin, Süleymaniye Camisi'nde zeminin kazılması ve temellerin hazırlanması ile ilgili yazısı da bize dönemin yapım teknikleri ile ilgili bilgi vermektedir. Çelebi yazısında, "Toprağın açılması ve taşların parçalanması için üç sene çalışılmış ve pek sağlam bir şekilde inşa edilmesine itina edilmiş olan temellerin

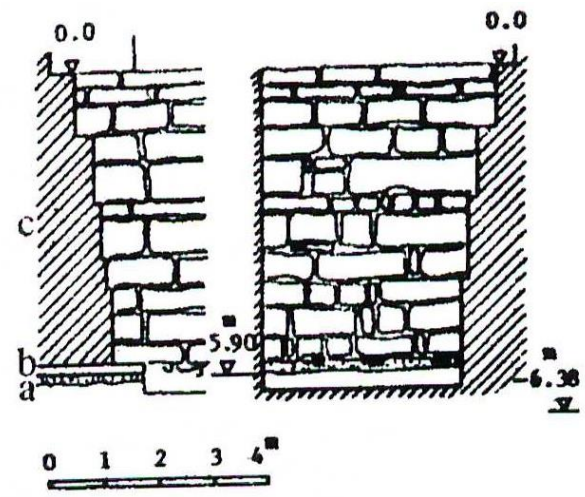
toprak yüzüne çıkması da ayrıca üç senelik uzun bir çalışmayı icab ettirmiştir." der [8].

Tezkiret-ül Bünyan'da ise Büyükçekmece Köprüsü'nün temel inşaatını Sinan'ın ağzından ayrıntılı olarak şöyle anlatılır: "Köprünün her ayağına kalyon gibi birer sanduka çaktırdım. Sandukaların içindeki sular büyük tulumlarla çekilip boşaltıldı. İli-üç adam boyundaki sağlam kazıkları çakıp aralarına kurşun akıttım ve tek parça haline geldi." [9].

Osmanlı yapım tekniğinde temeller normal koşullarda sağlam zeminde, tekil veya mütemadi temel olarak inşa edilmektedir. Sağlam zeminin bulunamadığı, zayıf zeminlerde demir pabuçlu ahşap kazık üzerine temeller oluşturulmaktadır [10].

2.2.1.1 Sağlam zeminde taş temeller

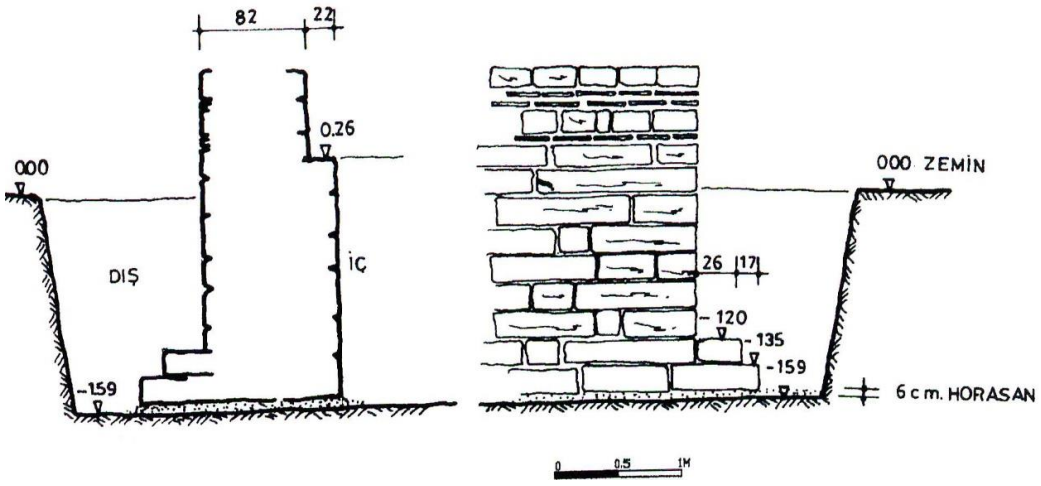
Süleymaniye Camisi temelleri (Şekil2.1) 1957 yılında Ali Saim Ülgen tarafından yapılan kazıyla incelenmiştir. Yapılan kazı neticesinde edindiğimiz bilgilere göre temellerin altında en az 20 cm kalınlığında horasan harcı tabakası bulunmaktadır. Horasan harcı aynı zamanda ahşap ızgara ile güçlendirilmiştir. Kıble duvarı altındaki bu temeller kademeler halinde ampatmanlı olarak aşağıdan yukarıya doğru daralarak, oluşturulmuşlardır. Temel derinliği 5.90 m'dir. Malzeme olarak, kabayonu taşlar ve bağlayıcı olarak horasan harcı ile geniş derzlerle örülmüşlerdir [11].



Şekil 2.1 : Süleymaniye Camisi temel kesiti. Kıble duvarlarının kuzey ucunda açılan sondaj çukurunda: a. Kum katmanı, b. Ahşap ızgara, c. Anpatmanlı temel [11].

Temelleri yol kotunun değişmesi sonucu ortaya çıkmış bazı binalarda beden duvarlarından temele geçişte, benzer nitelikte basamaklı bir oluşum gözlenmektedir. Malzeme olarak da kabayonu taş kullanıldığı belirlenmektedir [10].

Sondaj çalışması yapılan 17. Yüzyıl yapısı Ayvansaray Hacı Hüsrev Camisi de sürekli temellere örnek olarak verilebilir. Kaynaklardan edinilen bilgilere göre yapılan kazıda zeminden 120 cm aşağıda ilk kademe vardır. Bu ilk kademe beden duvarından 26 cm çıkıntılı ve 15 cm yükseklikte 1 sıra taş ile oluşturulmuştur. 2. Kademe ise birinci kademeden 17 cm çıkıntılı ve 18 cm yükseklikte 1 sıra kesme taş ile gerçekleştirilmiştir. Bu iki kademenin altında ise 6cm kalınlığında bir horasan harçlı tabaka vardır (Şekil 2.2). Minare altındaki temel duvar örgüsünün ise daha özenli olduğu tespit edilmiştir [10,12,13,14].



Şekil 2.2 : Ayvansaray Hacı Hüsrev Cami 17. Yüzyıl temel detayı [10].

2.2.1.2 Zayıf zeminlerde sağlamlaştırılan temel üzerinde temel uygulaması

Sağlamlaştırılan zemin uygulamasına örnek olarak verilebilecek Yeni Cami'nin (1597-1664) temelleriyle ilgili Selanik'li Mustafa Efendi tarafından yazılan Selaniki Tarihi'nde " 1597'de Yeni caminin temeli atılmış ancak zemin kazıldıkça bol miktardaki suyun değirmenlerle ve tulumbalarla boşaltılması, ağır bir bina yapılacağından güçlükler arz etmiştir."diye belirtmiştir. H. Peynircioğlu'nun sondaj ve muayene kuyusunda tespitine göre ise temeller dolgu zemine oturmakta olup, burada da beden duvarlarının temelleri sağlam zemin uygulamarında olduğu gibi ampatmanla genişletilmiştir [15,16].

Yeni Cami temellerinde ahşap kazık çakılıp radye üzerine oturtulmuş olabileceği A. Saim Ülgen tarafından ileri sürülmüştü [17].

H. Peynircioğlu ve ekibinin, yaptığı zemin etüdü çalışmaları neticesinde Azapkapı Sokullu Camisi'nin (1577) kalın bir suni dolgu tabakasına oturduğu ve cami altında Nur-u Osmaniye camine benzer kolonlu bodrumun mevcut olduğu, Rüstem Paşa (1562), Laleli (1763) gibi camilerde de büyük alt yapı konstrüksiyonları olduğunu bilgilerine ulaşmaktayız [16].

Zayıf zeminlerde ahşap kazık üzerine temel uygulaması örneğini ise Nur-u Osmaniye Camisi'dir. Ahmet Efendi'nin anlatımı ve bu anlatım üzerinden Doğan Kuban'ın yorumuna göre kısaca; bütün inşaat sahasına uçları demirli ahşap kazıklar çakılmıştır. Onların üzerine gelen beton döşeme, horasan, kireç ve moloz taş ile oluşmaktadır. Kazıklar üzerine dökülen moloz, horasan ve kireçten oluşan bir "rıhtım" (temel) yapılmıştır. Bu rıhtımın üzerine ayaklar ve ayakların aralarına da sarnıç dedikleri odalar inşa edilmiştir. Zeminin sağlamlaştırılmasında kullanılan kazıklar baş ve uçlarına konulan demir elemanlarıyla takviye edilir [18].

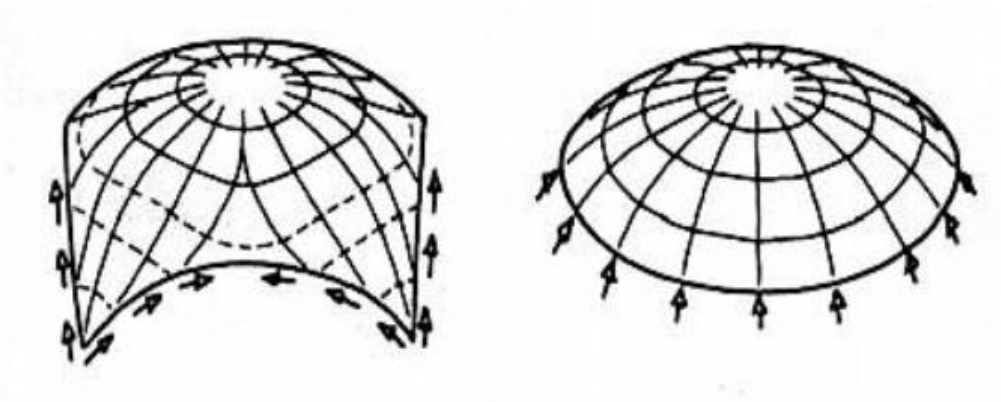
Peynircioğlu ve ekibinin Nur-u Osmaniye Camisinin temel imalatı ile ilgili yorumu şu şekilde olmuştur: "Zemin profilinden ve verilen ölçülerden anlaşıldığına göre suni dolgu ve kil, marn ve kum katları tamamıyla kazıldıktan sonra çakılan kazıkların uçları ana kayaya oturtulmuştur. Ahşap kazıklar daima su altında bırakıldığında ömürleri sonsuz olmaktadır, böylece kazıklar yer altı su seviyesi altında kullanılmışlardır. Kazıkların üzerine yapılmış rıhtım bugünkü anlamda taş temel radye niteliğindedir. Radye üzerine ayaklar ve daha sonra tonozlu odalar inşa edilerek bahçe seviyesine çıkılmıştır. Cami bu alt yapı üzerine inşa edilmiştir. Caminin bodrumunda secde döşemesi altında on iki adet tonozlu oda bulunmaktadır. Bu odaların hepsi birbirleriyle geçitlerle bağlanmıştır" [16].

2.2.2 Örtü elemanları

Örtü sistemi; belirli bir mekânın üzerinin, belirli bir yapı sistemi ile örtülmesidir. Büyük mekânların örtüsünü kâgir olarak inşa edilmesi, kemerin bulunması ile gelişmeye başlamıştır [19,20].

Kemer, tonoz, kubbe gibi örtü sistemlerinin taşıma ilkesi, yükün en tepedeki kilit taşından başlayarak komşu taşlara aktarılarak tabana iletilmesine dayanır. Aşağı düşmek isteyen taş komşu elemanın onu tutması sebebiyle yükün yatay ve dikey

bileşenleri olacaktır. Dikey kuvvet (yük) kubbeyi tutan duvarlar ya da kubbeye geçiş sistemleri ile yere aktarılır. (Şekil 2.3) Yatay kuvvet de ciddi boyutlarda ise örtü sistemi bir gergi ile ya da kubbe dışına ağırlık kuleleri veya payandalar konularak karşılanmaktadır [20].



Şekil 2.3 : Kubbe yük şeması [20].

Hüseyin Şimşek'in yüksek lisans çalışmasında eğrisel kargir örtü sistemi inşası şu şekilde anlatılmaktadır: "Eğrisel kargir örtü sistemlerinin inşası öncelikle; kubbe, tonoz ya da kemer şeklinde bir ahşap kalıp oluşturulduktan sonra örtü sistemini oluşturacak yapı elemanlarının yukarı doğru sıra ile dizilmesi ve aralarının harç ile doldurulması sonucu oluşturulur. Harç kuruduktan sonra kalıp alınır. Kalıp alındıktan sonra sıvanır. Fakat bazen kubbe açıklığı fazla olmayan kubbelerde işçilikten tasarruf için kalıpsız kubbe inşa edilmiştir. Kalıpsız kubbe inşasında daha koyu kıvamda bir harç kullanılır" [20].

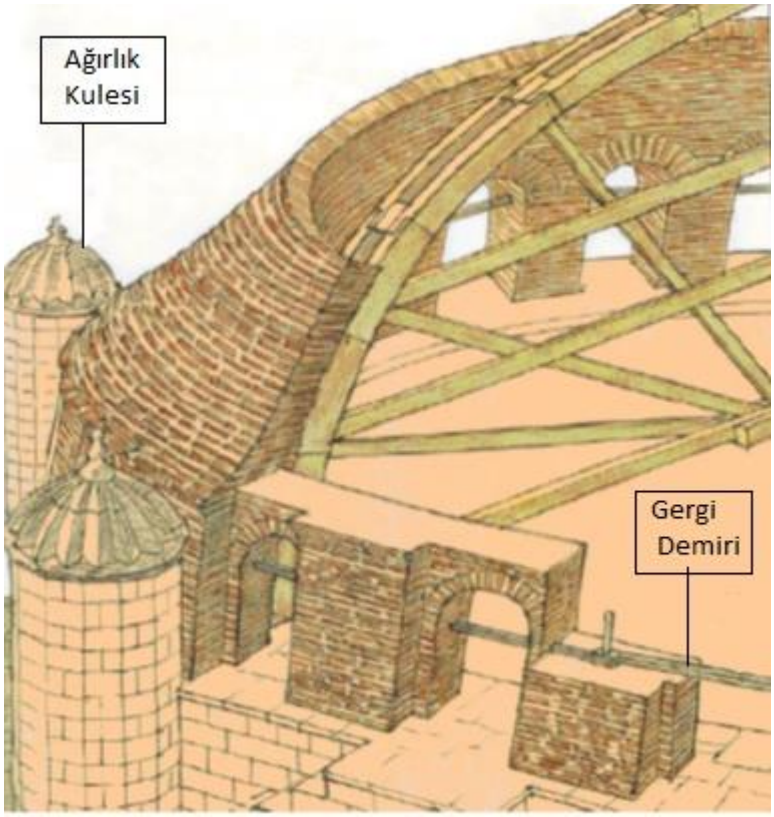
2.2.2.1 Kubbe

Mimari kaynaklara göre ilk olarak Mezopotamya"da görülen kubbenin Türklerde ilk örneği Uygur Döneminde (745-940), Hoço Harabelerindeki kubbeli mezarlarda görülür. Osmanlı-Türk Mimarlığında ise kubbe, cami yapısının biçimlenmesinde ana öğe olarak ortaya çıkmaktadır [19,22,23].

Türk Cami Mimarisi'nde ilk devirden itibaren kubbe mekanın önemli bir elemanı olmuştur. Kubbenin yapısal imkanlarını geliştirmeye çalışarak ona bağlı mekan düzenine gidilmiştir. Osmanlı Dönemi'nde kubbenin taşınmasının ayaklara aktarılmasıyla kubbenin merkez konumunu da pekiştirilmiştir. Mekanın istenilen büyüklüğe ulaşılabilmesi için yine kubbeden türetilen yarım kubbeler, çeyrek

kubbeler, küçük kubbeler ve diğer örtü elemanlarıyla yapı örtülmüştür. Ayrıca Selçuklu yapılarında yatay gelişme, Klasik Osmanlı Dönemi'nde yerini düşey gelişmeye bırakmış, çok sütunlu plan, daha az sayıda desteklerle düzenlenmiştir [5,24].

Kubbe büyüklüğü, adına cami inşa edilen kişilerin statülerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin vezir camilerinin kubbe çapları ortalama 12-13m olduğu halde selatin camileri 18 m.'den başlayıp Selimiye'deki gibi 30m'ye kadar ulaşır. Gemicilere hizmet eden Piyale Paşa, Sinan Paşa gibi camilerde bu statü farklılığı yüzünden kubbe boyutu daha sınırlı tutulup yan birimler genişletilmiştir (Şekil2.4) [25].



Şekil 2.4 : Kubbe detayı [26].

2.2.2.2 Kemerler

Kemerler yapısal tasarım içindeki yeri ve açıklıklarına bağlı olarak, farklı malzemeler ve biçimlerde yapılmışlardır. Fatih devrinin erken örneklerinde kemerlerin tuğla veya tuğla-taş olarak yapıldığı, aynı devrin bazı örneklerinde taşıyıcı kemerlerin tuğla ile yapıldığı anlaşılmaktadır. Hadım İbrahim Paşa Camisi (1551) örneğinde de görüleceği üzere XVI. yüzyılda ise taşın tercih edildiği görülmektedir. Ancak Sinan Paşa Camisi

(1555), Kadırga Sokullu Mehmet Paşa Camisi (1571-72) gibi yapılarda sadece tuğladan yapılan kemerler de vardır. Tuğla-taş almaşık kemer diğerlerine göre daha az kullanılmıştır. Zal Mahmut Paşa Camisi son cemaat yeri kemerleri almaşık kemer uygulamalarıdır. (Şekil 2.5) Tuğla-taş kemerlerde genellikle 3 tuğla 1 taş almaşıklığı yaygındır. Şirin Akıncı'nın doktora tezinde imalat şekli şöyle anlatılmaktadır: "Tuğla ve tuğla-taş almaşık kemer örgüsü (horasan harcı ile) ahşap kalıp üzerine dizilerek inşa edilmiş olmalıdır. Daire profil kalıpsız inşaat olanağı vermemektedir. Kemerler her iki yandan bir üzengi ile başlayıp, ortada kilit ile bağlanmaktadır." Ek olarak büyük açıklıklı yapısal taş kemer birleşimlerinde zıvanalarla kurşunlu birleşimler yapıldığı düşünülmektedir [10,27,28]



Şekil 2.5 : Zal Mahmut Paşa son cemaat yeri almaşık kemer uygulaması.

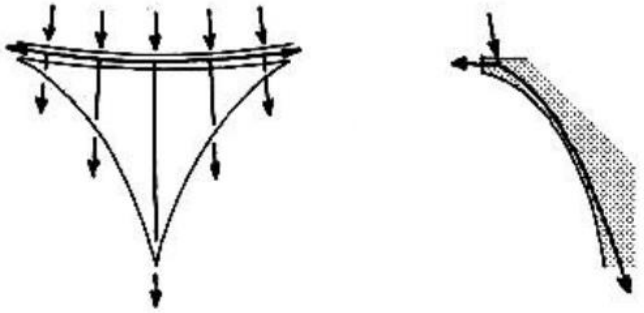
2.2.2.3 Geçiş elemanları

Kubbenin düz duvarlara oturtulması daireden kareye geçiş sorunudur. Kare ile daire arasındaki geçişi sağlayan sekizgen ya da dairesel tabanı elde etmek için üç yapı öğesi geliştirilmiştir.

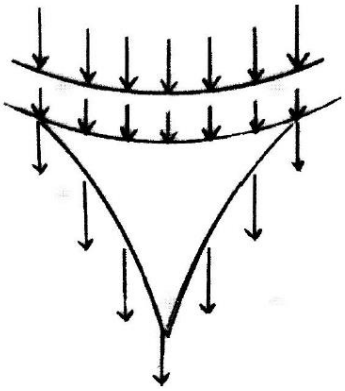
- Tromp (Tonoz-bingi)
- Pandantif (Küresel Bingi)
- Türk Üçgeni [29],

Pandantif Eğrisel üç çizginin oluşturduğu üçgenin arasında kalan içbükey bir yüzey parçasından oluşur (Şekil 2.6, şekil 2.7, şekil 2.8, şekil 2.9, şekil 2.10) . Kubbeden gelen yükü, destek elemanı veya duvarlar ile zemine aktarmaktadır. Pandantiflerle

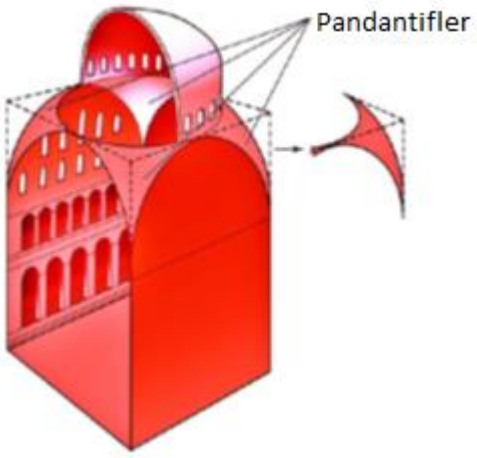
kubbe arasına çoğu kez bir kasnak girer. Bu kasnak çepeçevre pencerelerle delinebilir [30].



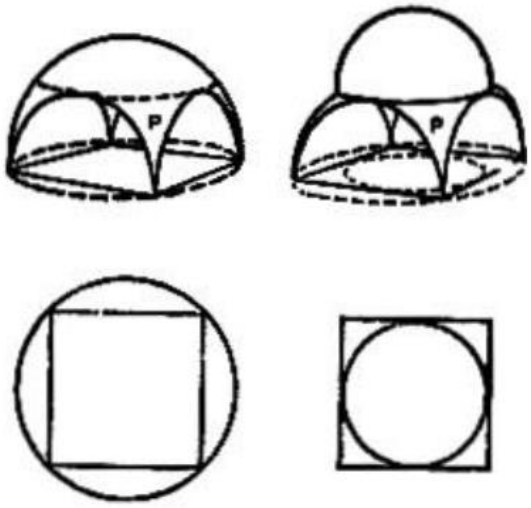
Şekil 2.6 : Pandantif yük şeması [21].



Şekil 2.7 : Pandantif yük aktarımı [20].

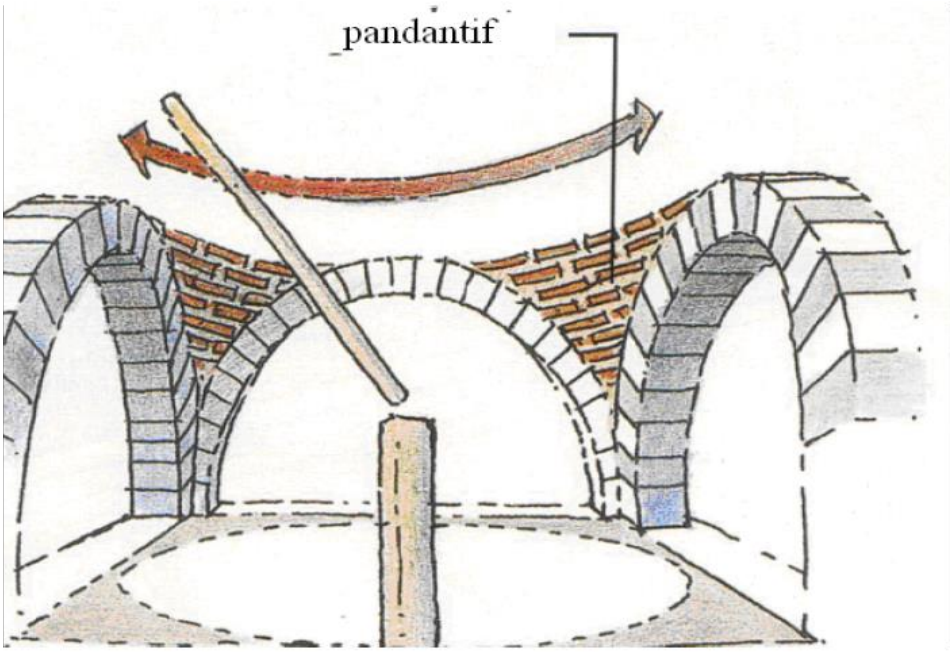


Şekil 2.8 : Pandantif [20].



Şekil 2.9 : Pandantif [31].

Ş. Akıncıya göre, "Pandantifler kalıp üzerinde kubbe dilimleri gibi örülürler büyük askı kemerleriyle birleşir ve arkadaki büyük boşluklar, piyasadan alınan testilerle doldurulur" [10].



Şekil 2.10 : Pandantif detayı [26].

Tarihsel süreç içerisinde kaba yontulmuş, kesme taş, tuğla gibi malzemeler pandantif yapımında kullanılmıştır. Duvar içindeki harçlı moloz taş dolgu pandantifin arkasında devam etmektedir [20,32].

Tromp ise M.S ilk yüzyıllarda İran'da görülmeye başlanmıştır. Kubbe çapının çok büyük olmadığı hallerde, trombun taşıyıcı olmaktan çok biçimsel bir görevi vardır. Özellikle İslam mimarisinde dekoratif tromp önemli bir yer tutar [29].

Anadolu-Türk Mimarlığı, mimarlık tarihine 'Türk Üçgeni' adı verilen hem yapısal hem de dekoratif bir geçiş elemanı daha katmıştır. Özellikle 15. yüzyıldan önce sıkça kullanılan bu geçiş elemanı kare planı çok sayıda kenarı olan çokgene dönüştürerek dairesel plana yaklaştırma prensibine dayanır [29].

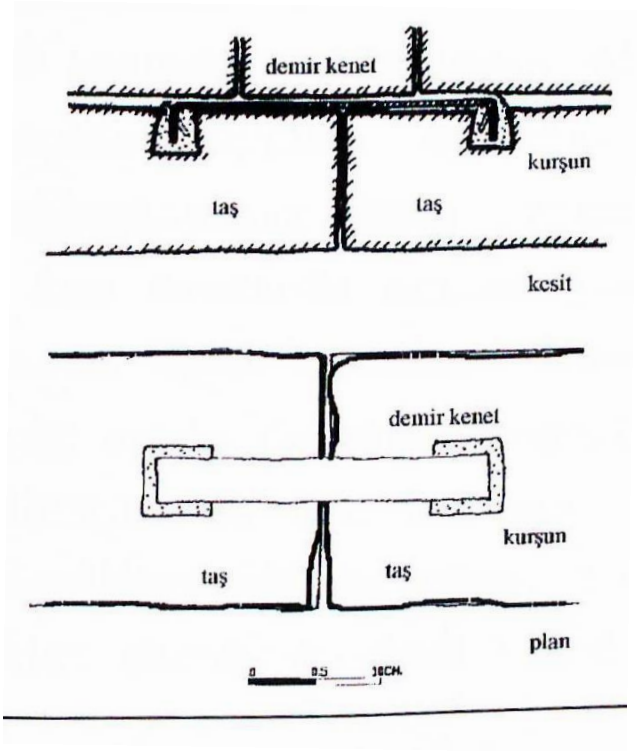
2.2.3 Duvar örgü teknikleri

Klasik Dönem Osmanlı Mimarisi'nde önemli cepheler (anayol veya avlu cepheleri) kesme taş duvar örgüsü ile yapılırken, ikincil cephelerde tuğla-almaşık, sıralı kabayonu taş veya moloz taş örgüye kadar malzeme işçilik kalitelerinde değişiklik görülebilmektedir. Büyük bir külliyenin değişik yapılarında da, yapıların statüsü duvarların daha titiz ve kesme taş ya da daha itinasız örgü ve malzeme ile yapılmasına neden olmuştur. Süleymaniye Külliye'sinde kesme taş duvar, külliyenin her yapısında uygulanmıştır. Fakat bazı örneklerde giriş cephesinde almaşık duvar da görülebilmektedir. Bu istisnalar parasal kısıtlama ile ilgili olabilir [10].

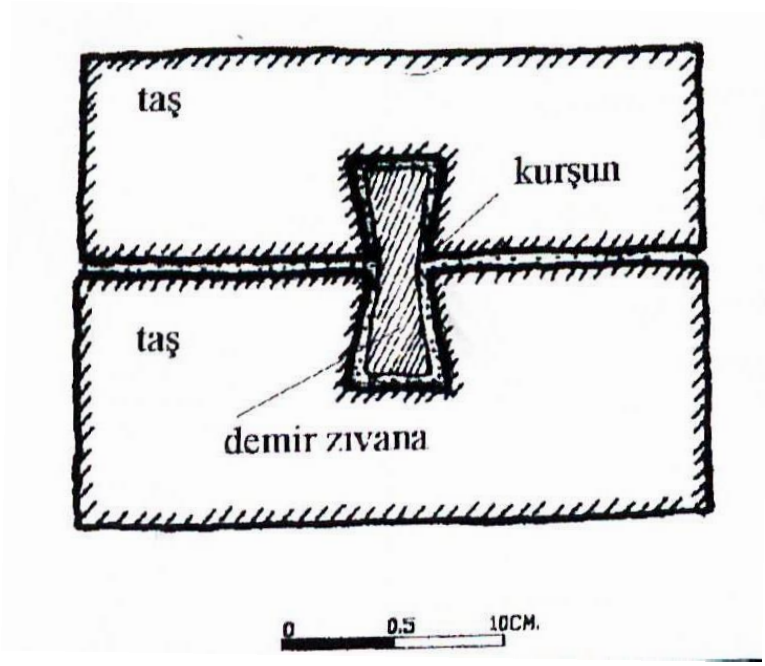
Ş. Akıncı'nın Klasik Dönem Osmanlı Mimari'si duvar örgü teknikleri ile ilgili detaylı çalışmasından edinilen bilgiler doğrultusunda duvar örgü teknikleri aşağıdaki başlıklarda değerlendirilebilir.

2.2.3.1 Kesme taş duvar örgüsü

Osmanlı mimarisinin önemli anıtsal yapılarında genellikle yüzeyleri yanaşık derzli kesme taş örgülüdür. Duvarın iç kısımda dolgu için moloz taş kullanılmaktadır. Bağlayıcı harç ise horasandır. Taş blokların birbirleriyle bağlantısı için zaman zaman kenet ve zıvanalardan yararlanılmıştır (Şekil 2.11, şekil 2.12) [10]. Kısaca kenet; yatayda aynı düzlemde bulunan iki ya da daha çok taşı bağlayarak beraber hareket edebilmesini sağlamaktadır. Öncelikle taşlarda kenetlerin girebileceği kadar delik açılmaktadır. Kenetler yerleştirildikten sonra açılan deliklere eritilmiş kurşun dökülmektedir. Zıvana ise düşeyde altlı üstlü duran iki taşı birbirine bağlamakiçin kullanılmaktadır. Zıvana uygulamasında da, kenetle benzer şekilde eritilmiş kurşun kullanılmaktadır.



Şekil 2.11 : Demir kenet detayı [10].



Şekil 2.12 : Demir zıvana detayı [10].

2.2.3.2 Kaba yonu taş duvar örgüsü

Taş yüzeyleri, kesme taşlarda olduğu şekilde ince olarak işlenmeyip, daha kaba olarak bırakılmaktadır. Genellikle ikincil önemde dış cephelerde ve sonradan sıvanacağı düşünülen iç yüzeylerde kullanıldığı görülmektedir. Sıralı olarak örülür ve taşlar

arasında ki yükseklik farkları geniş derzlerle düzeçlenmektedir. Geniş derzlerin içine bazen küçük taş ya da tuğla parçaları konmaktadır [10].

2.2.3.3 Moloz taş ve yer yer kaba yonu taş duvar örgüsü

Bu tür duvar örgüsünde taşlar moloz ya da çok az işlenmiş kaba yonu bırakılmıştır. Genellikle ikincil önemde cephelerde kullanılmaktadır. Bu duvar örgü tekniğinde, moloz taş sıraları duvar örgüsü içinde yer yer iri tuğla kırıklarıyla düzeltilmekte, böylece kullanılacak harç miktarı azaltılmaktadır. Moloz duvarlarda yarım veya tam tuğla kısa sıralar duvar örgüsünü yer yer düzeçlemektedir [10].

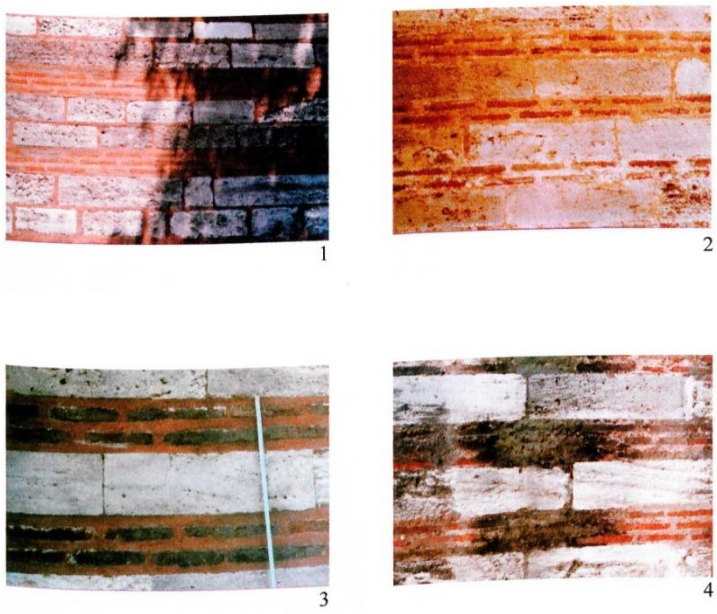
2.2.3.4 Moloz taş duvar örgüsü

Bu örgü, sadece moloz taş ve harcın kullanıldığı bir duvar örgü tekniğidir. Moloz taş duvarların köşelerinde daha düzgün kesme taş veya kabayonu düzenli bir kenar örgüsü yer alarak, moloz dokuyu çerçevelemekte ve köşeleri sağlamlaştırmaktadır.

2.2.3.5 Tuğla taş almaşık duvar örgüsü

Ş. Akıncı'nın bu tip duvar örgüsü ile anlatımı şu şekildedir: "İstanbul'da uygulanan tuğla-taş almaşık duvar örgüsü genellikle kesme taş ile tuğla almaşıklığı ya da kabayonu taş ile tuğla almaşıklığıdır. (Şekil 2.13) Tuğla-taş almaşıklığında 1 sıra taş ve 2 sıra tuğla ile 1 sıra taş/3 sıra tuğla almaşıklığı en çok uygulanan düzenlerdir. Dış Cidarı tuğla-taş almaşık örgü olan duvarların bazılarında iç yüzeyin sadece taş örgü ile oluşturulduğu görülmektedir, iç yüzeylerin çoğunlukla sıvalı olmaları sebebiyle bunun için bir genelleme yapmak mümkün değildir. Ancak Osmanlı tuğla-taş almaşık duvarında tuğla sıraların Bizans duvarındaki gibi tüm duvar yüzeyince gitmediği zannedilmektedir. Örneğin, Atik Valide Külliyesi Darül-kurra binasında bu durum saptanmaktadır. Bu yapıda dışta 1 sıra taş / 2 sıra tuğla, içte ise ahşap hatıllı kabayonu sıralı taş örgü yer almaktadır. Bu konuda genelleme yapmak doğru değildir. Çünkü tuğla sırası, genelde bir estetik seçimden çok bir ekonomik seçim olarak görülmektedir. Osmanlı döneminde tuğla erken dönemlerde Bizans geç dönemi ile süreklilik gösteren bazı bezemesel özelliklere sahipse de Osmanlıların tuğlayı, örtü dışında, sınırlı kullandıkları yukarıda belirtilmiştir. Tuğla kullanımının geç dönemlere doğru arttığını ve bunun taş boyutlarının küçülmesine paralel bir süreç olduğu söylenebilir.

Kullanılan tuğla boyutları 24x24, 28x28 cm ile 30x30 cm arasında değişmektedir. Kalınlıklar ise 3-3.5-4-4.5-5 cm. gibi değişik ölçülerde olmaktadır. Yarım tuğlalar ise 15x30 cm - 14x28 cm ölçülerinde görülmektedir. Fakat bu boyutların çağdaş tuğlalar gibi standart olmadığı ve tuğla ocağından ocağına değiştiği görülmektedir. Tekstür, renk açısından da büyük değişiklikler görülmektedir" [10].



Şekil 2.13 : Tuğla taş almaşık duvar örgüsü. 1- Zincirlikuyu Atik Ali Paşa Camisi (1511), 2- Silivrikapı Hadım İbrahim Paşa Camisi (1551), 3- Eyüp Zal Mahmut Paşa Camisi (1580), 4- Beşiktaş Sinan Paşa Camisi (1555) [6].

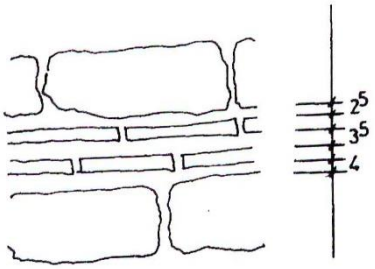
2.2.4 Harçlar ve derzler

Bizans ve Osmanlı dönemi anıtsal yapılarının duvar harcı horasan harcıdır. Bu harç, puzolanik madde olarak tuğla tozu, tuğla kırıklarının kullanıldığı kireç harcıdır. Lif donatılar veya protein kaynaklı katkı maddeleri de kullanılmıştır [33].

Sönmüş kireç ile hazırlanan bu harcın prizini alıp, mukavemet kazanması oldukça uzun zaman alır. Kirecin söndürülmesi sırasında oluşan reaksiyon nedeniyle azar azar su dökülerek kirecin tam olarak sönmesinin sağlanması gerekir. A. Ersen'nin analız çalışmalarına dayanarak killi kireç taşlarının yakılmasıyla elde edilen su kireçlerinin bağlayıcılık özelliklerinin hava kireçlerine göre daha iyi olduğunu belirtir [33,34].

Yanaşık derz tekniği kesme taş duvarlada kullanılmıştır. Bu tip duvarladar derz genişliği 1-5 mm arasında değişmektedir. Kabayonu ve moloz duvarlarda derz genişlikleri ise 3 cm'den-8 cm'e kadar değişir. Tuğla-taş almaşık duvarlarda genellikle taş sırası üzerine gelen tuğla ile taş arasındaki derz, diğer iki tuğla arasındaki ve tuğla

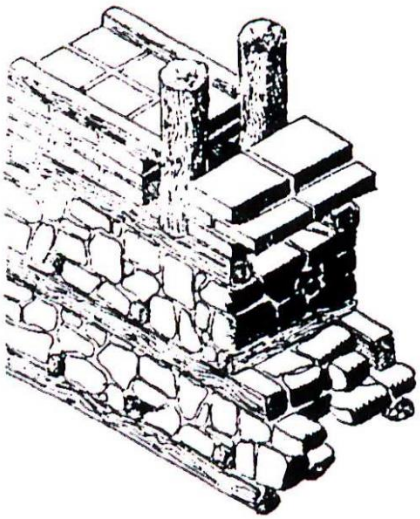
üzerine konan taş arasındaki derzlerden daha fazladır (Şekil 2.14). Derzler içeri su girişini önleyecek şekilde uygulanmıştır [10].



Şekil 2.14 : Derz detayı [5].

2.2.5 Hatıllar

Duvar örgüsü içindeki ahşap hatılların günümüzde yapıların büyük kısmı sağlam olduğundan görülebilmesi oldukça güçtür. Yine de çeşitli nedenlerden ötürü kesitlerinin görülebildiği bazı duvarlarda, duvar örgüsü içinde enine ve boyuna ızgara şeklinde yerleştirilmiş ahşap hatıllar saptanmaktadır. Bu çok eski olan uygulama Osmanlı kârgir Mimarisi için de karakteristiktir (Şekil 2.15) [10].



Şekil 2.15 : Beyce Sultan duvar örgü tekniği [45].

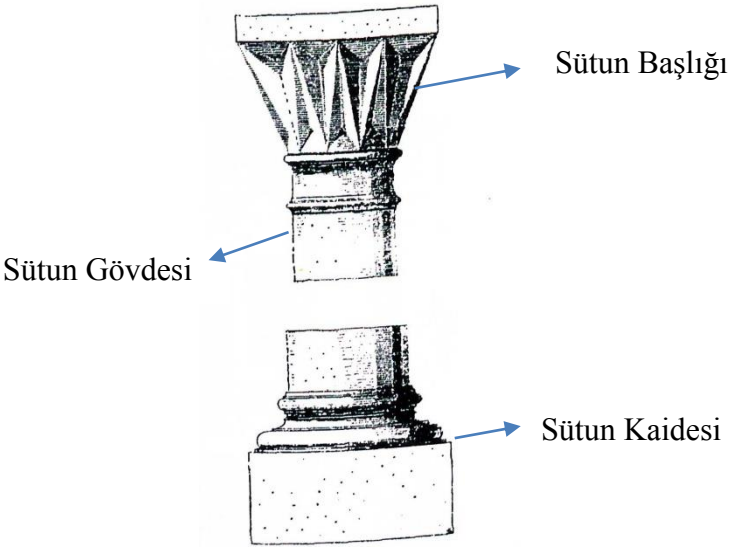
2.2.6 Sütun ve ayaklar

Ş. Akıncı'ya göre sütun gövdesi, taban üzerinde bir kaideye oturur ve bir başlıkla sonlanır. Sütunlar kaideyle ve sütun başlıklarıyla bağlantılarında, demir pim (zıvana) ve eritilmiş kurşun ile bağlanmaktadırlar. Osmanlı mimarlığında sütunların başlık ve

zeminle birleştiği bölümde derzi gözden kaybetmek amacıyla pirinç ve tunçtan yapılmış bir bağlantı bileziği yer almaktadır (Şekil 2.16, Şekil 2.17) [10].



Şekil 2.16 : Sütun bilezik detayı. Yeni Cami revak sütunu (1597-1663) [10].



Şekil 2.17 : Sütun detayı [35].

Malzeme olarak içeride ya da dışarıda revak sütunlarında, küfeki, mermer, granit, gibi birçok farklı malzemenin kullanıldığı görülmektedir [10].

Duvar gibi örülen ayakların biçimleri ise kare, dikdörtgen, daire, ya da farklı geometrik biçimlerde olabilir. Ayakların genel malzemesi küfeki taşıdır. Küçük boyutlu ayaklar bloktaşlardan birbirine kenetlerle bağlanmış yatay taş sıraları ile oluşturulmuştur. Büyük boyutlularda geniş duvarlarda olduğu gibi dışarıda kesme taş kaplama içeride ise moloz olabilir. Z. Ahunbay,- içte kireç ya da horasan harçlı bir moloz karışımlı çekirdek bulunmasının malzeme ve işçilik ekonomisi açısından doğru olacağını" belirtmektedir. Fakat Ş. Akıncı'ya göre ise büyük fil ayaklarında (Şekil 2.18), taşıyıcı

yüzeyin homojenliği açısından tümüyle kesme taştan yapılmış olması ihtimali vardır [6,36].



Şekil 2.18 : Sultan Ahmet Camisi fil ayağı [47].

2.2.6.1 Sütun kaideleri

Sütunların zemine oturtulmasını sağlayan elemanlara kaide denir. Sütun kaideleri mermerden yapılmaktadır. Zıvanalar ve kurşun sütunla kaidelerin birleşiminde kullanılmaktadır. Sütun ile kaide arasında bir bronz bilezik yer almaktadır. Bazı küçük sütunlar taban üzerinde kaidesiz de oturtulmuştur [10].

2.2.7 Örtü kaplaması

Kiremit ve kurşun Osmanlı döneminde örtü kaplamasıdır. Yalnız başına kiremit kullanımı erken dönemde yaygındır. Ancak kurşun üretimi arttıktan sonra kuşun kaplama yaygınlaşmış üstelik kiremit kaplama olan birçok yapı da tekrar kurşunla örtülmüştür. Bugün kurşun kaplı olarak görülen yapıların özellikle erken dönemlerden kesin olarak kurşunla kaplı olduklarını söylemek için bir veri yoktur. Çünkü kurşun kaplamanın ömrü, malzeme kalınlığı, yapım, yangın, deprem gibi nedenlerle sınırlıdır [10].

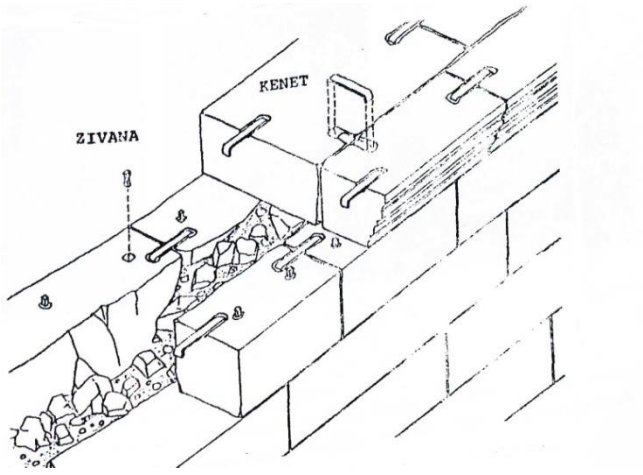
L, Merey'in kurşun uygulaması ile ilgili açıklamaları kısaca şu şekildedir: Kargir yapılarda önce kaplanacak tonoz ya da kubbeye özel çiviler çakılarak, saman ve kilden oluşan özel bir çamur ile sıva yapılır. Çiviler eğik yüzey üzerindeki 5-5,5 cm kalınlığındaki bu altlık hazırlandıktan sonra, levha haline getirilen kurşun bu katman üzerine kubbenin en üst noktasından başlanarak eteğine doğru şeritler halinde ve özel geçme ve kıvırma işlemi uygulanarak dövülerek yerleştirilir [37].

2.2.8 Demir kullanımı

Demir duvar ve kubbelerde, gergi olarak kemerlerde, pencere parmaklarında kullanılmaktadır. Ayrıca Kenet, zıvana, kazık ucu, kemer ve kubbe gergisi, düz tavan taşıyıcısı, sütun başlıklarında üzerinde kemerlerin oturduğu başlık blokları çevresinde ki çember gibi kullanışlarından söz edilen demir, pencere şebekelerinde, ayrıca kapı, pencere aksamı olarak da kullanılmıştır [10, 38].

G. Tanyeli demirin, 1- Kenetler, 2- Zıvanalar, (Şekil2.19) 3- Gergiler (açıklık gergileri ve duvar gergileri), 4- Mesnetleme sistemleri (yalın, simitli ve kılınçlı), 5- Kuşaklamalar olarak beş değişik bağlamda kullanıldığını belirtmiştir [39].

Osmanlı mimarlığında kenet, kesme taş duvarlarda taşları birbirine ve duvara bağlamada kullanılmaktadır. Taşlar üzerinde hazırlanan üzeri kesik piramit şeklindeki kenet boşluklarına kenetler yerleştirilir. Dışarıdan su alarak paslanmayı önlemek amacıyla demir kenedin tümüyle kurşun ile sarılmaktadır [10].



Şekil 2.19 : Yanaşık derzli kesme taş duvar örgüsü [39].

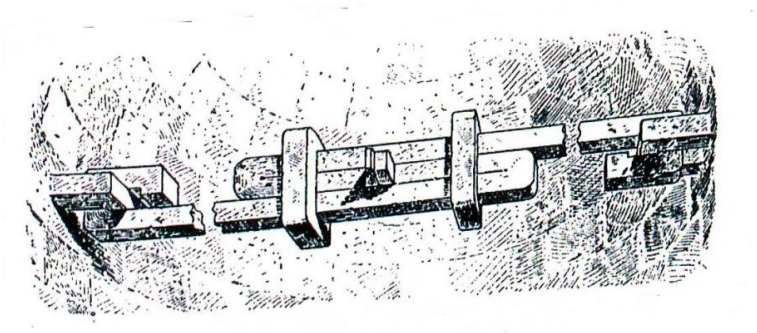
15. yüzyıl sonlarına kadar kullanımı oldukça sınırlı olduğu düşünülen kenedin. 16. yüzyılın ikinci yarısında ise yaygın bir kullanıma sahiptir. Ancak kenetler rutubet alıp paslandıkları zaman duvarları çatlatırlar [10].

Zıvanalar da demirin diğer bir önemli kullanım yeridir. Taşlar arasındaki düşeyde ve eğik düzlemlerdeki bağlantıyı zıvanalar sağlar. Genellikle sütunlar, kemerler, minareler, söveler, korkuluk ve saçaklarda yoğun olarak kullanılmaktadır [39].

2.2.8.1 Demirin yapısal sistemde kullanımı

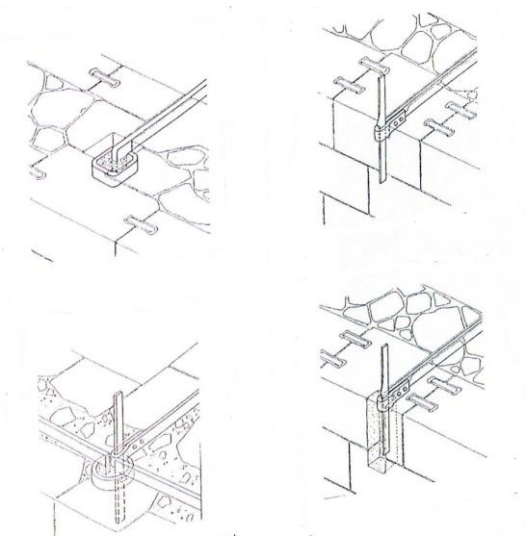
Osmanlı mimarlığında "kiriş" olarak adlandırılan demirler kargir döşemeleri, merdivenleri ve örtü sistemini taşımaktadır. Şekil 3.354. Topkapı Sarayı Haremi Valide Dairesi'nde 1665 sonrası 35-40 cm aralıklı demir kirişler ve bunların aralarını dolduran küçük basit tuğla tonozlar içeren bir volta döşeme yer almaktadır [39].

Osmanlı mimarlığında sorun çıkabilecek yerlerde demir gergilerin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 2.20). Kemerlerde kullanılan gergilerin duvar içinde de yer aldığı tespit edilmiştir. "Kuşaklama" Osmanlı mimarlığında yapının sağlamlaştırılması için demir elemanların kullanılmasına denilmiştir [39].

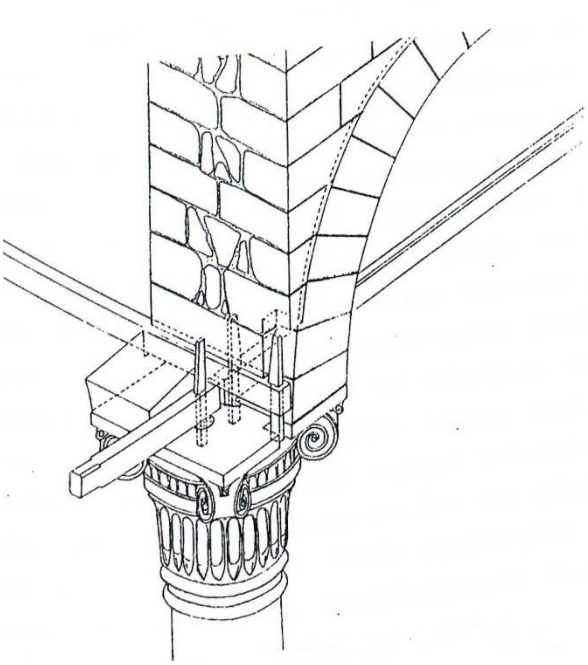


Şekil 2.20 : Fatih Medresesi (1463-70) demir gergi detayı [46].

Demir malzeme kullanılmasındaki en önemli noktalardan biri gergi, kiriş ve kuşaklamaların mesnetlenmesidir. Üç tür mesnetleme şekli bulunmaktadır. Yalın, simitli ve kılıçlı mesnetleme ve simitli ve kılıçlı mesnetlemenin birlikte kullanıldığı mesnetleme şekilleri vardır (Şekil 2.21, Şekil 2.22) [40].



Şekil 2.21 : Mesnetleme sistemleri; simitli mesnetleme, açık kılıçlı mesnetleme, simitli mesnete açık bağlantı [39].



Şekil 2.22 : Topkapı Sarayı Hazine revağında demir gergilerin sütun başlığına mesnetlenme detayı [39].

2.2.9 Sıva

İç yüzeylerde duvar genellikle sıva ile örtülse de bazen kesme taş örgü açık bırakılmıştır. S.M Akman'a göre, sıva için öncelikle, yüzey munçlanarak çentikler oluşturulur daha sonra, kıtıklı bir sıva ile kaba bir sıva yapılır. İkinci aşamada kaba sıva üzerine kıtıksız ince bir sıva yapılır. Sıva için horasan harcı ile hazırlanmış bir harç kullanılmaktadır. Kalın sıva içindeki tuğla kırıklarının gronometrisi büyük olmasına karşılık, ince sıvada oldukça küçük toz halinde horasan kullanıldığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucu horasan sıva içinde kum, taş kırıkları, taş tozu ve kireçile özelliği tam anlaşılmayan bağlayıcılar bulunmuştur [34].

2.2.10 Döşemeler

Doğrudan zemine oturan döşemelerin altını gözleme olanağı bulunamamıştır. Zeminden yükseltilen döşemeler, düz atkılı ya da tonozlu bir taşıyıcı düzene sahiptir. Düz atkılı döşemeler, ahşap kirişler, ya da taş plaklarla oluşturulabildiği gibi, demir kirişler arasına taş ya da tuğla kullanılarak örülen tonozlar biçiminde de uygulanmıştır. Döşeme kaplaması olarak en çok *"şeşhane tuğlası"* olarak anılan, altıgen biçimindeki pişmiş toprak plaklar kullanılmıştır [10].

İnce taş plaklar (küfeki ve mermer), revak ve avlu döşemelerinde kullanılan dayanıklı kaplama malzemeleridir. Mermer daha çok anıtsal camilerde ve hamamların iç döşeme

kaplamalarında yer almıştır. Döşemelerde renkli taşlarla yapılan bezemeler, cami avlu girişlerinde, son cemaat yeri giriş eksenlerinde dikkati çekmektedir [41].

2.2.11 Minare

Klasik Osmanlı dönemi minaresi ise bazı elemanlardan oluşmaktadır.'Kürsü' minarenin kaidesine, kürsü ile gövde arasındaki geçiş elemanına 'küp' veya 'pabuç', ezan okunan balkon kısmına 'şerefe', asıl gövdeden incelerek yükselen kısıma 'petek' minarenin en üst kısmına ise 'külah' adı verilmekte olup, külahın üzerinde de 'alem' yer almaktadır [42].

Biçim olarak incelendiğinde Klasik Dönem minareleri, Erken Osmanlı ve Selçuklu minarelerine göre daha incedir. Gövde genellikle çokgen planlı veya daire şeklindedir [43].

2.3 Malzeme

2.3.1 Harç

Harcın bağlaycı özelliği ve mukavemeti yığma yapıların performansını etkileyen faktörlerdendir. Basınç, çekme ve kayma mukavemetleri ile yığma yapı birimleri arasındaki bağ (derz) mukavemeti, yığma yapıların önemli yapısal göstergeleridir. Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen, katılaşma özelliğindeki hamurlara "harç" denir. [48,49,50]

Bizans ve Osmanlı dönemi anıtsal yapılarının duvar harcı horasan harcıdır. Bu harç, puzolanik madde olarak tuğla tozu, tuğla kırıklarının kullanıldığı kireç harcıdır. Lif donatılar veya protein kaynaklı katkı maddeleri de kullanılmıştır. Sönmüş kireç ile hazırlanan bu harcın prizini alıp, mukavemet kazanması oldukça uzun zaman alır. Kirecin söndürülmesi sırasında oluşan reaksiyon nedeniyle azar azar su dökülerek kirecin tam olarak sönmesinin sağlanması gerekir. Horasan'ın bu uzun süren mukavemet eksikliğini telafi etmek için harcın içine ince çakıl da katılabilir. Ayrıca rötreyi önlemek maksadıyla harca saman da karıştırabilir. A. Ersen'nin analız çalışmalarına dayanarak killi kireç taşlarının yakılmasıyla elde edilen su kireçlerinin bağlayıcılık özelliklerinin hava kireçlerine göre daha iyi olduğunu belirtir [33,34,51,52].

Harçların karışımlarında kullanılan maddelerin geleneksel karışım oranlarıyla üretilen test numunelerinde yaklaşık olarak 5 MPa basınç mukavemeti ölçülmüştür [49,50].

Horasan harcı üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise basınç dayanımının 7.59 MPa seviyesinde olduğu bulunmuştur [53]. Ayasofya'da kullanılan harç için yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre günümüz puzolanları ile üretilmiş bir harcın çekme mukavemeti, orijinal puzolan katkılı kireç harcından 15 kat daha az çekme mukavemeti göstermiştir [50,54].

2.3.2 Taş

Osmanlı Mimarlığı'nın en önemli yapı malzemesi doğal taştır. Süleymaniye Camisi gibi yapılarda taş ihtiyacının boyutları çok büyüktür. Barkan'ın Süleymaniye inşaat defterleriyle ilgili çalışmasında, Süleymaniye Camisi'nde kullanılan taşların çeşitleri ve nereden getirildikleri defter kayıtlarından saptanır. Kullanılan ocak taşları dışında, sütun gibi daha büyük boyut ve özellikteki taşlar devşirme olarak, imparatorluk sınırları içinde aranılarak elde edilmektedir [55].

Osmanlı döneminde, İstanbul'da inşa edilen yapılarda en çok kullanılan taş malzeme, Geç Roma döneminden beri kullanıldığı bilinen maktıralı kalkerdir (küfeki taşı). Küfeki taşı yatakları İstanbul'da batıda Davutpaşa, Bakırköy ve Safraköy arasındaki alanda, İstanbul'dan Küçükçekmece'ye kadar uzanan neojen oluşumlar arasında yer almaktadır [56].

Doğal taş, çekme gerilmelerinde zayıf ancak basınca çok iyi çalışan bir malzemedir. Bu nedenle, tarihi yığma yapı elemanları olan özellikle kemer, kubbe, tonoz ve sütunlarda çekme gerilmesi almayacak şekilde kullanılmışlardır. Buna rağmen olumsuz çevre şartları sebebiyle oluşan çekme gerilmeleri, taştan yapılmış elemanlarda çatlaklara sebep olabilir [50]. Çizelge 2.1'de Yılmaz bazı taşların mekanik özellikleri vermiştir.

Çizelge 2.1 : Taşların ortalama mekanik özellikleri [51].

Taşın Cinsi	Basınç Mukavemeti	Kayma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Elastisite Modülü
Birim	MPa	MPa	MPa	GPa
Granit	30-70	14-33	4-7	30-55
Mermer	25-65	9-45	1-15	25-70
Kireç Taşı	18-35	6-20	2-6	10-55
Kum Taşı	5-30	2-10	2-4	13-50
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15-55
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23-45

Küfeki taşının boşluklu yapısı sayesinde birim ağırlığı yüksek değildir. Aynı zamanda mukavemetini de artıran bu boşluklar küfekiyi diğer taşlardan ayıran temel özelliklerindin birisidir. Küfeki, yüksek boşluk oranına sahip bir kireç taşıdır.Basınç mukavemetinin (fb) çekme mukavemetine (fç) oranı fb/fç = 11-12 civarında tespit edilen küfekinin enerji yutma kapasitesi yüksek, sünek bir malzeme olduğunu gösterir. Bir çalışmada ise elastisite modülünün (E) basınç mukavemetine oranı olan E/fb=720 olarak tespit edilmiştir [50,57].

Küfekinin yapısında su mevcuttur. Bu suyun bir bölümü zamanla buharlaşırken bir bölümü de dış çeperlerden içeriye doğru zamanla gelişen kalınlıkta karbonatlaşmanın sonucunda oluşan katmanın içinde hapsolmaktadır. Bünyede suyun varlığı dinamik yükler altında yapının taşıma gücüne önemli bir ilave katkı getirmektedir.Küfekinin içinde hapsolan su, mukavemet yanında sünekliği de olumlu etkilemektedir. Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te küfeki taşı ile ilgili özellikler verilmiştir [50,57].

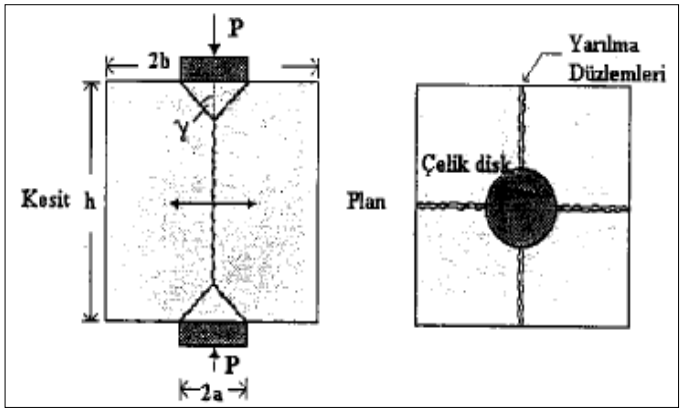
Çizelge 2.2 : Küfekinin özellikleri [58].

Birim Ağırlık g/cm^3	Boşluk Oranı %	Ağırlıkça Su Emme %	Hacimce Su Emme %	Kılcallık (3 Aylık Numune)	Donma Çözülme Ortalama Ağırlık Kaybı %
2,19	12,6	5,70	11,09	$4{,}93 \times 10^{-6}$	0,28

Çizelge 2.3 : Küfekinin mekanik (tek eksenli) özellikleri (1-30 günlük) [57].

Basınç fb MPa	Çekme fç MPa	Elastisite Modülü MPa	Yüzey Sertliği R	Ultrasonic Hız	E/fb	fb/fç
33,2	3,6	24000	47,7-50,1	3,88-5,01	720	11-12

N.Arıoğlu ve E. Arıoğlu'nun çalışmasında ise laboratuar koşullarında kür edilen küfeki taşını çift zımbalama deneyi (Şekil 2.23) ile çekme dayanımını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmanın sonuçları çizelge 2.4'te görülmektedir. Ayrıca çizelgede, ölçülen tek eksenli basınç dayanım değerleri de yer almaktadır. Çalışmada dayanımının zamanla artmasını havadaki C02'nin kimyasal bileşimi CaCO3 olan taşla tepkimeye girerek taşın gözeneklerini karbonatlaşma ürünleri ile doldurması ve sonuçta taşın "kompasite oranı"nın artmasıyla açıklanmaktadır [59].



$$f_t = \frac{P}{\pi.\left[b.h - a^2 \cot g\gamma\right]} \cong 0.00307P$$

Burada,

f_t = Dolaylı çekme dayanımı, (kg/cm^2)
P = Deneyde ölçülen kırılma yükü, (kg)
b = Numune yarıçapı, (b = h/2 = 7.5 cm)
h = Numune yüksekliği, (h = 15 cm)
a = Çelik diskin yarıçapı, (h/2a = 4 →a = h/8 = 1.875 cm)
γ = Çelik diskin altında oluşan kırılma konisinin yarı tepe açısı, (ortalama 16 adet deneyde gözlenen açı γ = 21.5°)

Şekil 2.24 : Çift zımbalama deneyi ile dolaylı çekme dayanımının belirlenmesi [59].

Çizelge 2.4 : Laboratuvar koşullarında kür edilen küfeki taşlarına ait deneysel sonuçlar [59].

Kür Süresi (gün)	Birim Ağırlık (gr/cm^2)	Yüzey Sertliği R	Ultra Ses Hızı V, [km/sn]	Kırılma Açısı γ, [^{0}]	Çekme Dayanımı $\sigma_{e,}$[kg/cm^2]	Basınç Dayanımı $\sigma_{b,}$[kg/cm^2]	(Çekme/Basınç) Dayanım Oranı
3	2,385	44	3,65	21,9	21,20	200	0,106
	2,378	43	3,61	24,2	21,55	222	0,097
7	2,370	45	3,78	19,2	22,90	262	0,087
	2,360	46	3,78	22,9	24,30	267	0,091
14	2,365	48	3,90	20,8	24,50	280	0,088
	2,365	49	3,87	21,4	24,10	289	0,084
28	2,320	52	4,24	22,5	25,90	320	0,081
	2,310	51	4,27	22,9	26,70	338	0,079

B.Ş. Şeker'in yüksek lisans tezinde belirttiği mekanik değerlerle ilgili olarak ise taş malzeme için minimum basınç emniyet gerilmesi 35 MPa, birim hacim ağırlığı 26500 N /m^{3}dür. Yine B.Ş. Şeker'in referans verdiği başka bir çalışmada Şehzade camisinden alınan örnekler üzerinde yapılan basınç deneylerinden küfeki taşı için basınç dayanım

değeri 45 MPa olarak belirlenmiştir. Taş malzeme için de çekme dayanımı basınç dayanımının % 10 u mertebesindedir [53,57,60].

Risalie-i Mimariye'de ifade edildiği şekliyle Osmanlı yapılarında karşımıza çıkan bir diğer yapı taşı od taşıdır. Yeşil veya bej renkte olan od taşının Bizans döneminde yoğun olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. (Ayasofya-Aya İrini). Osmanlı döneminde ise 15. yüzyıldan itibaren görülen od taşının 16. yüzyılda Süleymaniye Camisi'nin temellerinde kullanıldığı kaynaklardan anlaşılmaktadır. Yine 15. yüzyıl sonrası bazı camilerin bodrum kat duvarı ve tonoz örgüsünde od taşı kullanıldığı görülmektedir. [55,61,62].

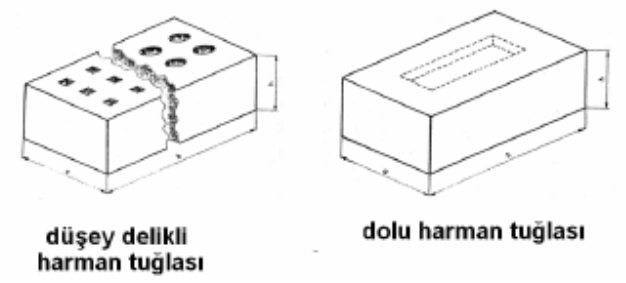
Osmanlı yapılarında kullanılan mermerin ise büyük bölümü, Marmara Adası'ndaki mermer ocaklarından sağlanmıştır. İnşaat defterlerindeki kayıtlarda, Marmara mermerinin yapımda kullanıldığı yerler anlaşılmaktadır. Bunlar kemer taşı, sütun taşı, sütun başlığı taşı, taban taşı, taşı olarak sıralanmaktadır [63].

2.3.3 Tuğla

Tuğla, kilin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Tarihi yapılarda kullanılan tuğlalar genellikle saf kaolin ve kil karışımının fırınlarda yüksek ateş altında pişirilmesiyle elde edilir.Bazı tarihi yapılarda kullanılan tuğlaların ise doğrudan güneş ısısı altında üretilmiş olanlarına da rastlanmaktadır [50,51].

Osmanlı döneminde tuğla üretimi, hem özel harmanlarda (şekil 2.24), hem de devlet tarafından çalıştırılan veya kiralanan atölyelerde yapılmaktadır. Kubbe'de kullanılan tuğlalar "tuğla-i kubbe" olarak belirlenmiş ve üretimine ayrıca özen gösterilmesi için sorumlu memur tayin edilmiş ve hükümler yazılmıştır [55].

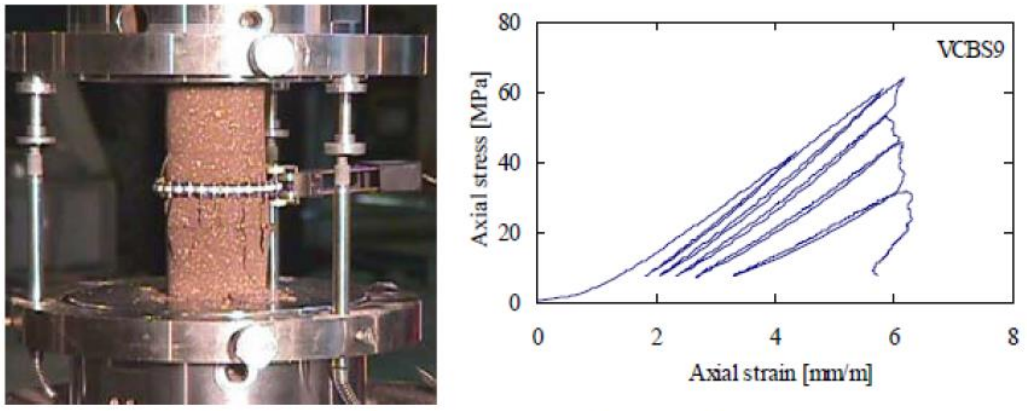
İnşaat defterlerinden anlaşıldığı kadarıyla kubbeler için büyük ve orta boy kubbe tuğlaları, döşeme kaplaması olarak kullanılan tuğlalar "tuğla-ı döşeme" ve "tuğla-i şeşhane" olarak belirtilmektedir [55].



Şekil 2.25 : Harman tuğlası (duvarlar için) [64].

Bayraktar A.'ya göre geleneksel ocaklarda pişirilen ya da yeni tekniklerle üretilen tuğlaların mutlaka puzolanik özellikte olup olmadığı kontrol edilmeli, puzolan özelliğe sahip olmayan tuğlalar tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmamalıdır. Puzolanik olmayan tuğlaların yapıları dayanıklı değildir Eski yapı yıkıntılarından çıkartılan yapay taşlar, deneylerle puzolan yapıda iseler onarım veya güçlendirmede kullanılabilir [65,66].

Tuğla'nın mekanik özellikleri ile ilgili olarak Ö. Dabanlı'nın çalışmasına göre "tuğlanın elastisite modülü yüksek değildir. Tekrarlı yükleme ve boşaltmalardan oluşan yüklemede şekil değiştirmelerin elastik olduğu görülmektedir (Şekil 2.25). En büyük gerilme değerinden sonra elastisite modülünde azalmalar görülürken ilerleyen çatlaklarla mukavemet düşmeye başlar. Tuğla da taş gibi yapıda ancak basınç altında çalışabilir. Çekme mukavemeti oldukça düşüktür. Aşağıdaki tabloda tuğlalar için yaklaşık değerler verilmiştir" (Çizelge 2.5) [50].



Şekil 2.26 : Silindirik tuğlanın çevrimli basınç deneyi ve tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi [50,67].

Çizelge 2.5 : Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri [50].

Basınç Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Elastisite Modülü MPa
3-10	0,2-0,5	1000-5000

Bir başka çalışmaya göre ise tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa dan 30 MPa'ya kadar değiştiği ifade edilmiştir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olduğu, genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadar olduğu belirtilmektedir. Aynı çalışmada Çok rastlanan bazı tuğla cinslerinin ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 2.6'da gösterilmiştir [66,68].

Çizelge 2.5 : Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri [68].

Basınç Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kayma Dayanımı MPa
10-30	2,70-5,00	10-20

Bayülke'nin çalışmasına göre ise horasan tuğlalar üzerinde yapılan deneylerden basınç dayanımının 5.5 MPa, birim hacim ağırlığının 17600 N/m3 olduğu bulunmuştur. Çekme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık 10% u mertebesinde (0.55 MPa) belirlenmiştir [69].

2.3.4 Ahşap

Süleymaniye, Sultanahmet, Nur-u Osmaniye ve Ayazma Camisi inşaat defteri kayıtlarında, inşaatın başlangıcında fazla miktarda ahşap kaydına rastlanmaktadır. Bu ahşabın inşaat başladığında temellerde, iskelelerde ve örtü kalıplarında kullanıldığı anlaşılmaktadır [55].

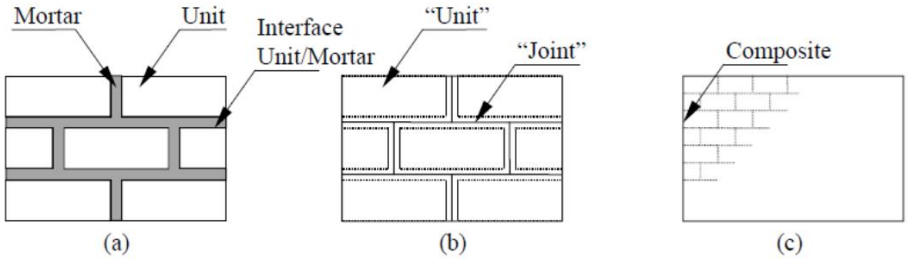
2.3.5 Demir ve kurşun

16. yüzyıldan bu yana Osmanlı'da demir kullanımının önem taşıdığı görülmektedir. Demir kenet ve zıvanalarda ve yine demir kenet ve zıvanaların eğri uçlarının taşa tutturulmasında deliklerin içine kurşun dökülmesi uygulaması sırasında kullanılan demir ve kurşun miktarı diğer kısımlarda kullanılanlardan oldukça fazladır. Ayrıca Demirin kenet ve zıvana olarak kullanımının yanında gergi ve kiriş olarak kullanımı önem taşımaktadır. Gergiler yapılarda açıklık ve duvar gergileri olarak yer almaktadır. Örneğin Beyazıt Camisi'nde (1500-1505) i hem avlu revakları hem de iç mekandaki tüm ayakların birbirine ve duvara bağlandıkları görülmektedir. G. Tanyeli İstanbul Beyazıt Camisi gergileri için, demir kullanımı açısından çağı için bir doruk olduğu kanısındadır. Kurşun kullanımı ise demirin kullanımı ile orantılı olarak artmakta fakat özellikle örtü kaplaması olarak 16. yüzyıldan başlayarak arttığı anlaşılmıştır [10,39,55].

3. MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Modelleme Yöntemleri

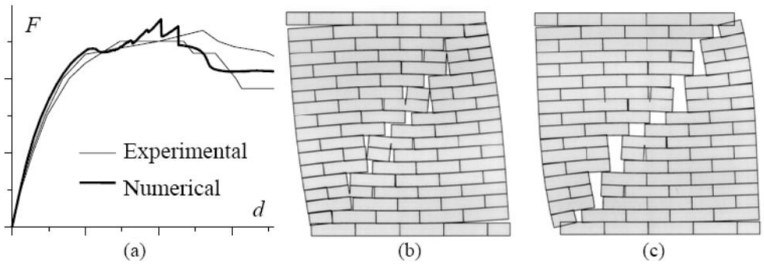
Yığma yapıların modellenmesinde, mikro modelleme ve makro modelleme şeklinde iki temel yaklaşım vardır (Şekil 3.1). Mikro modellemede yapının belirli bir parçası ve bu parçayı olusturan malzemeler ayrı ayrı modellenir. Örneğin mikro modelleme tekniğinde, bağlayıcıyı temsil eden harç ile taş veya tuğla ayrı ayrı modellenir. Makro modellemede ise yapının tümü modellenerek ele alınır. Malzemeler ayrı ayrı değil, genel bir ilişki içerisinde tek malzeme gibi modellenmektedir [50,67,70].



Şekil 3.1 : Model yaklaşımları. a) detaylı mikro b) basit mikto c) makro modelleme [67].

3.1.1 Mikro Modelleme Yöntemi

Mikro modelleme tekniğinde derzleri oluşturan harç ile tuğla veya taştan oluşan yığma birimler ayrı ayrı modellenerek davranış farklılığı dikkate alınır. Mikro modelleme tekniğinde derzdeki harcın zayıf olması sebebiyle, derzlere yoğunlaşılmaktadır. Bu teknikte yaklaşımında yığma yapı birimleriyle bağlayıcıların mekanik özellikleri tam olarak bilinmelidir. Büyük ölçekli yapının bütününü değerlendiren çalışmalarda bir hesap yüküyle karşılaşıldığı için genellikle tercih edilmemektedir. Uygulamalar ise sonlu elemanlar, ayrık elemanlar ve limit analiz kullanılarak gerçekleştirilebilir. (Şekil 3.2) [50,67].



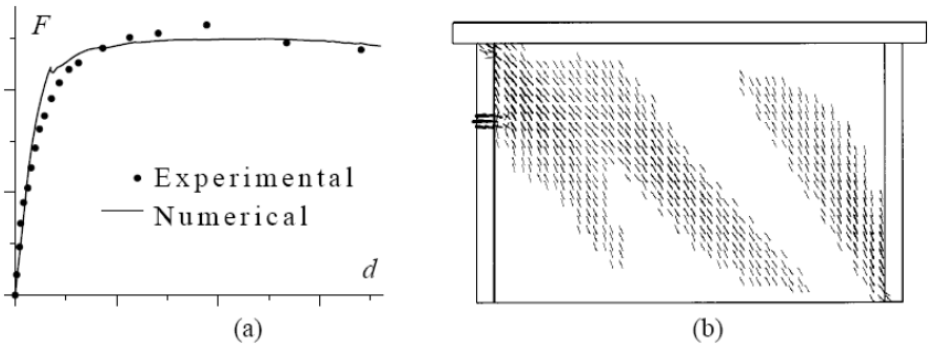
Şekil 3.2 : Yığma duvarın mikro model analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme diyagramı b,c) Maksimum ve nihai yüklerdeki deformasyonlar [67].

Yığma duvar mikro model analizi a) kuvvet-yer değiştirme diyagramı b,c) maksimum ve nihai yüklerdeki deformasyonlar [67].

3.1.2 Makro Modelleme Yöntemi

İzotrop olmayan malzeme davranışındaki karmaşıklık ve yeteri kadar deneysel verinin bulunmayışı sebebiyle makro modelin uygulanmasında zorluklarla karşılaşılmaktadır. anizotrop malzeme davranışı ve plastisite kavramı kullanıldığı bazı çalışmalarda ise, farklı yönlerde farklı sertleşme/yumuşama özelliği gösteren uygulamalar oldukça iyi sonuçlar vermiştir [20,67].

Malzeme tanımları makro modellemede model ve analizin doğruluğunu belirleyen en önemli kriterdir. Aşağıda (Şekil 3.3) makro model analizi görülen yığma bir duvarın, deney ile sayısal sonuçlar çok iyi bir benzerlik göstermiştir. Ayrık eleman metodu ile mikro modellenen aynı duvarın analiz edilmesinden benzer sonuçlar çıkmıştır. Burada uygun kabuller ve sınır şartları sağlandığında makro modelin kolay ve hız kazandıran bir teknik olduğu anlaşılmaktadır [20].



Şekil 3.3 : Yığma duvar makro model analizi a) kuvvet-yer değiştirme diyagramı b) nihai yükte deformasyon şekli [67].

3.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Yapıların üç boyutlu dogrusal ve dogrusal olmayan, statik ve dinamik analizlerinin yapılabildigi sayısal bir yöntemdir. Sonuçlar sayısal ve grafik ortamda elde edilebilmektedir [71,72, 73].

İlk kullanımı 1950'li yıllarda İnşaat Mühendisliği'nde olan sonlu elemanlar yöntemi orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem akışkanlarmekaniği, zeminmekaniği, uçak mühendisliği nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.4, Şekil3.5) [71].

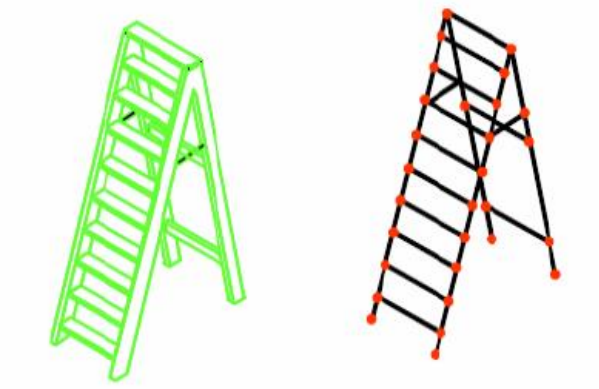
Bu yöntemin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- SEY fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir [71].

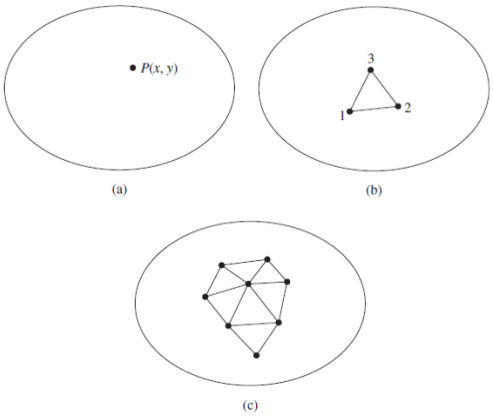
- Bitisik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Bu özellik bir kaç malzemenin birlestirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir.

- Eleman boyutları kullanıcı tarafından değistirilebilir. Böylece önemli değisiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diger bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir [72,73].

- SEY düzensiz ve karmaşık geometriye sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar [71].



Şekil 3.4 : SE Modelinin oluşturulması [71].



Şekil 3.5 : SEY - Temel kavramlar a) genel bir P(x,y) değişkeni b) üçgen sonlu eleman c) üçgen sonlu eleman ağı [50,74].

SEY ile yapı sistemlerinin analizinden önce izlenmesi gereken yol genel olarak şöyle sıralanabilir:

• Kullanılacak olan sonlu eleman tipleri belirlenir.

• Malzeme karakteristikleri tanımlanır.

• Sonlu elemanların en, boy, yükseklik ve alan gibi geometrik büyüklükleri belirlenir. Birleşim bölgeleri gibi kritik bölgelerde daha sık eleman koyulur. Global rijitlik matrisinin boyutu artacağı ve çözüm süresinin uzayacağı için gerekli görülmeyen bölgelerde bu sıklaştırmadan kaçınılmalıdır. Şekil fonksiyonları seçilir.

• Sınır şartları ve yükler tanımlanır

• Elemanter bazda dikkate alınan kütle, yük ve rijitlik matrisleri yardımıyla sisteme ait global matrisi oluşturulur.

• Sistemin rijtlik bağıntısı çözülür [50,72,75].

3.3 Doğrusal Analiz

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yer değiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır [75].

Doğrusal davranışla yapının limit durumları analiz edilebilir. Ayrıca, yapıda meydana gelen hasar çatlakların incelenmesiyle kullanılabilirlik sınırları da elde edilebilmektedir. Çatlamış elemanların rijitliklerinde azaltmalar yaparak gerilmelerin yeniden dağılımı yardımıyla limit yük analizi de yapılmaktadır [50].

3.4 Doğrusal Olmayan Analiz

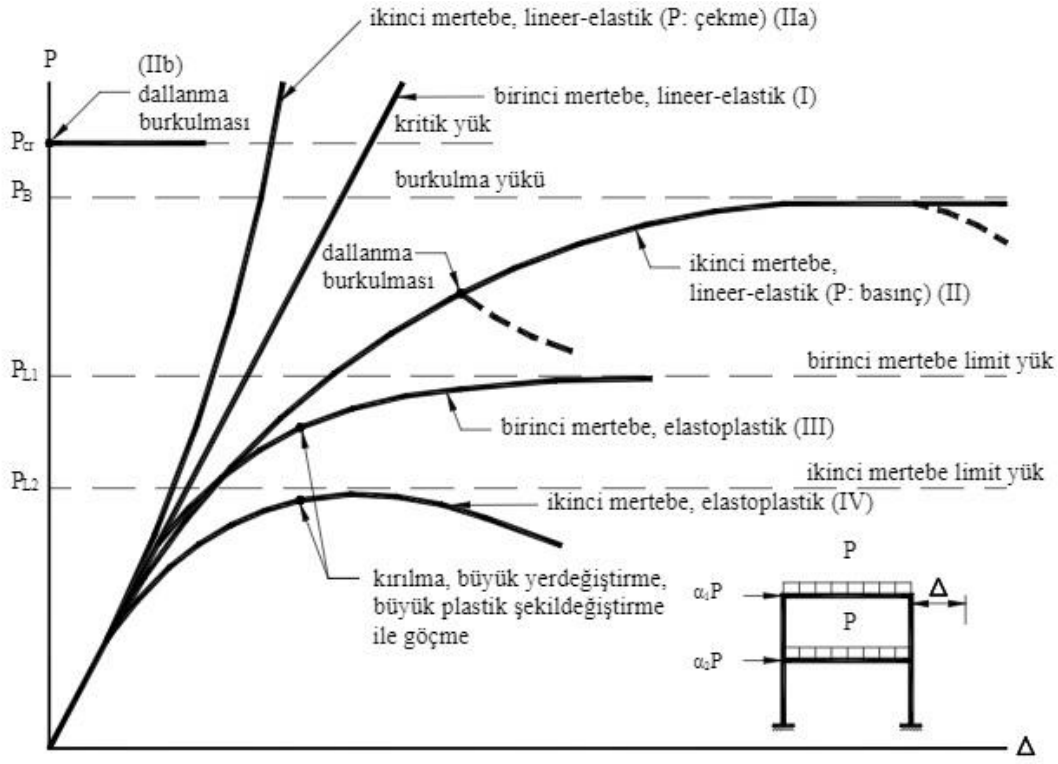
Dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yer değiştirmeler çok küçük kabul edilmeyecek değerler almaktadır [76].

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.

2- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması (Şekil 3.6) [76].

Doğrusal olmayan analizle, yapıda başlangıçtan itibaren limit duruma kadar meydana gelen tüm tepkiler ve hasarlar incelenebilir. Doğrusal olmayan analiz hem kullanılabilirlik analizlerinde limit, hem de yük analizinde uygulanabilir [50].



Şekil 3.6 : Analiz seviyeleri [77]

4. YAPI TİTREŞİMLERİNİN İZLENMESİ

4.1 Deneysel ve Operasyonal Modal Analiz

Deneysel ve Operasyonal Modal Analiz yöntemleri, yapıların mevcut dinamik davranışlarını yansıtan ve doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak adlandırılan dinamik özelliklerin deneysel ölçüm metotlarına bağlı olarak belirlenmesinde başlıca iki yöntem olarak kullanılmaktadır. Operasyonel Model Analiz yönteminde yapı; yay hareketi, taşıt ya da rüzgar yükü gibi bilinen bir etki ile uyarılmakta ve yapının bu etkilere verdiği tepki ölçülmekte, Deneysel Modal Analiz yönteminde ise yapı bilinen bir etki ile uyarılmakta ve yapının bu etkiye verdiği tepki ölçülmektedir [77].

4.1.1 Teorik Modal Analiz

Yapıya ait aşağıda verilen sönümsüz dinamik hareket denklemi kullanılarak doğal frekanslar ve mod şekilleri teorik modal analizde belirlenmektedir.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\} \tag{4.1}$$

Burada $\{\ddot{x}(t)\}$ ve $\{x(t)\}$ zamana bağlı ivme ve yerdeğiştirme vektörlerini, [M] ve [K], kütle rijitlik matirslerini göstermektedir. Bu denklemin çözümünden sistemin serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısal frekans elde edilir. Her ($\omega 1$, $\omega 2$, $\omega 3$,……, ωn) bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve temel frekansa karşılık gelen mod şekli birinci mod şekli olarak adlandırılır [77,78].

4.1.2 Operasyonal Modal Analiz

Operasyonal Model Analiz yönteminde yapının çevresel Tepkilerin ölçülüp değerlendirilmesinde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; zaman ortamında Stokastik Altalan Belirleme (Stochastic Subspace Identificitaion-SSI) ve frekans ortamında Piklerin Seçilmesi (Peak Peaking-PP) yöntemleridir [77].

Piklerin seçilmesi (PP) yöntemi frekans ortamına dayalı bir yöntemdir. Frekans ortamlı yöntemler işlem hızları, altyapı ve basitlikleri gibi nedenlerden dolayı daha çok tercih edilmektedirler. Ancak bu yöntemler geçici bilginin ortalamasını içerdiklerinden detaylar çoğunlukla ihmal edilmektedir. Piklerin seçilmesi yönteminin teorik olarak bazı dezavantjları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar;

- Sönüm tahminleri güvenilir değildir,
- Piklerin seçilmesi her zaman subjektif bir konudur,
- Mod şekilleri yerine operasyonel deflekşın şekilleri elde edilir,
- Sadece orantılı sönümlü yapıların gerçek modları elde edilebilir,

şeklinde sıralanabilir [77,79].

Bütün dezavantajlarına rağmen bu yöntem işlem hızı ve uygulama basitliği nedeniyle çevresel titreşim testlerine dayalı inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Piklerin seçilmesi yöntemi ile ilgili olarak aşağıdaki bağıntıda [80];

$$\left[G_{yy}(\omega)\right] = \left[H(\omega)\right]^{*}\left[G_{xx}(\omega)\right]\left[H(\omega)\right]^{T} \tag{4.2}$$

$[H(\omega)]^T$ Frekans Davranış Fonksiyonu'nu, $[G_{yy}(\omega)]$ tepki sinyaline ait Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu'nu ve $[G_{xx}(\omega)]$ etki sinyaline ait Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu'nu göstermektedir. Denklemdeki * ve T sırasıyla fonksiyonun eşleniğini ve transpozesini göstermektedir.

Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) yöntemi Piklerin Seçilmesi yönteminin geliştirilmiş hali olarak bilinir. Piklerin Seçilmesi yönteminin, sönüm oranlarının bulunması, birbirine yakın modların ayrıştırılması, frekansların tespitindeki çözünürlük etkisi noktalarında eksiklikleri vardır [85].

Ö. Özçelik ve diğ. EFDD hakkında şu bilgileri paylaşmaktadır [84,86];

> "*EFDD yönteminde çıktı verileri kullanılarak hesaplanan güç spektral yoğunluk matrisi (kesikli frekans değerlerinde) tekil değer dekompozisyonu (SVD) ile ayrıştırılmaktadır. Tahrik fonksiyonunun geniş bantlı, modların ortogonal ve dinamik sistemin düşük sönümlü olması durumunda SVD ile bulunan her bir oto-spektral yoğunluk fonksiyonu dinamik sistemin tek bir titreşim moduna karşılık gelmektedir. Mod şekilleri tekil vektörler kullanılarak bulunabilmektedir. Bahsi geçen şartların sağlanamaması durumunda ise sonuçlar yine de yeterli düzeyde doğru olmaktadır. EFDD'de doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları*

ters Fourier dönüşümü ile zaman tanım alanına dönüştürülen tek serbestlik dereceli sistemlerin güç spektral yoğunluk fonksiyonları kullanılarak elde edilmektedir. Güç spektral yoğunluk fonksiyonlarında oluşan spektral matris ise Welch-Bartlett yöntemi kullanılarak bulunabilmektedir".

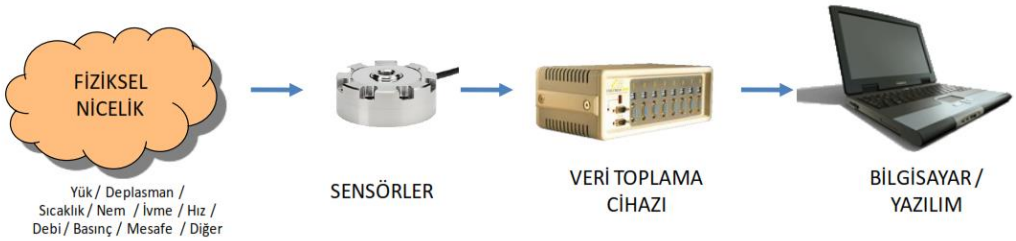
Stokastik Alan Belirleme (SSI) yöntemi ise zaman ortamına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem zaman verileri ile hiçbir korelasyon veya spektra dönüşümüne gerek kalmaksızın direkt olarak çalışır. Bu yöntemde dikkate alınan formülasyon ve bağıntılar literatürde detaylı olarak yer almaktadır. Bu bağıntılar [81];

$$[M]\{\ddot{x}(t)\}+[C]\{\dot{x}(t)\}+[K]\{x(t)\}=\{F(t)\} \tag{4.3}$$

hareket denkleminden elde edilmektedir. Burada [K], [C] ,[M] rijitlik, sönüm, ve kütle matrislerini, $\{\ddot{x}(t)\},\{\dot{x}(t)\},\{x(t)\}$ ve $\{F(t)\}$ zamana bağlı ivme, hız, yerdeğiştirme ve dış kuvvet vektörlerini göstermektedir [77,81].

4.2 Veri Toplama

İngilizce'de genelde "Data Acquistion" olarak adlandırılan bu işlem, bazı kimyasal ya da fiziksel niceliklerin sensörler aracılığı ile elektriksel olarak tespit edilip, olabildiğince yüksek hassasiyette sayısal değerlere dönüştürülüp örneklenerek, kaydedilmesi işlemidir. Aktarım, bilgisayarların anlayabileceği, örneğin Matlab ya da Excel gibi bilgisayar programlarıyla, işlenebilecek bir veri formatında olur ve genelde sonrasında karmaşık ya da basit analizler uygulanarak belli sonuçlara varılması hedeflenir [82].



Şekil 4.1 : Veri toplamanın aşamaları [82].

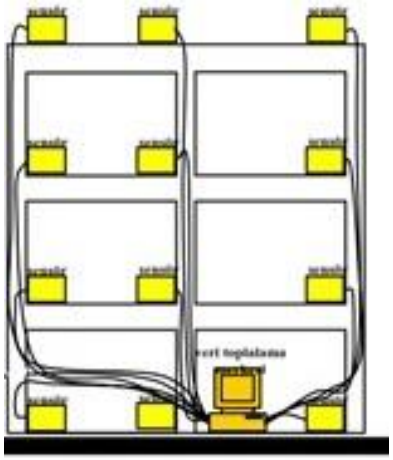
4.3 Sensörler

Veri toplama uygun bir sensör ile başlar. Ölçülmek istenen fiziksel büyük uygun sensor ile elektronik sinyale dönüştürülür. Örneğin yük hücreleri yük/kuvvet ölçerler

Üzerlerine mekanik olan uygulanan kuvvetle orantılı bir voltaj üretirler. Bunun yanında bazı sismometreler ya da ivmeölçerler bir sarkacın eylemsizliğine dayalı oluşan manyetik alan değişimi ve bu alanın sürekli olarak dengede tutulmasına dayalı bir mekanik düzenekten meydana gelirler. Yapıları ne olursa olsun sensörler fiziksel bir nicelik değiştikçe bunun karşılığında elektriksel bir değeri değiştirmeye yönelik olarak geliştirilirler [82].

Veri toplama ekipmanları ve titreşim ölçen sensörler teknolojinin çok hızlı geliştiği son çeyrek yüzyılda büyük değişimler yaşamışlardır. Konvansiyonel sensör-kayıt sistemleri, ağır, büyük boyutlu, kablolu bağlantı, alım ve bakım maliyetlerinin yüksekliğinin alternatifi olarak günümüzde küçük boyut, ucuz, kablosuz iletişim ve az enerji tüketiminin beraberinde sağlandığı örneğin mikro elektro-mekanikal sistemler (MEMS) izleme ağlarının beklentisini yüksek performansıyla karşılamaktadır [83].

Kablolu iletme ve aktarma ağı yapı sağlığı/tanı çalışmalarında yüksek yapılara, çok açıklıklı viyadüklere ve karmaşık geometriye sahip tarihi yapılara uygulanması hem zaman almakta hem de zorluklar içermektedir. Kablolu sistemin laboratuvar ortamında yer tutmasının yanısıra düzenli saklanması, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi sahada yapı üzerinde kurulması, bakımı ve toplanması testlerde önemli bir zaman alan bedenle çalışmayı da gerektiren bir iştir [83].



Şekil 4.2 : Kablolu bina ağı [83]

Beyen ve diğ. günümüz teknolojisinin sunduğu ivmeye yüksek duyarlı sensörlerin içinde olması gereken temel parçaları şu şekilde sıralamıştır [83];

> "Analog alınan sinyalleri bir zaman sayacı içinden geçirerek sayısal veriye dönüştüren sayısallaştırıcı, sayısal verileri depolama birimleri, veri iletme protokollerini uygulayacak modülasyon kartları, verinin süzülmesi, entegrasyon, türev gibi temel işlem kartları,

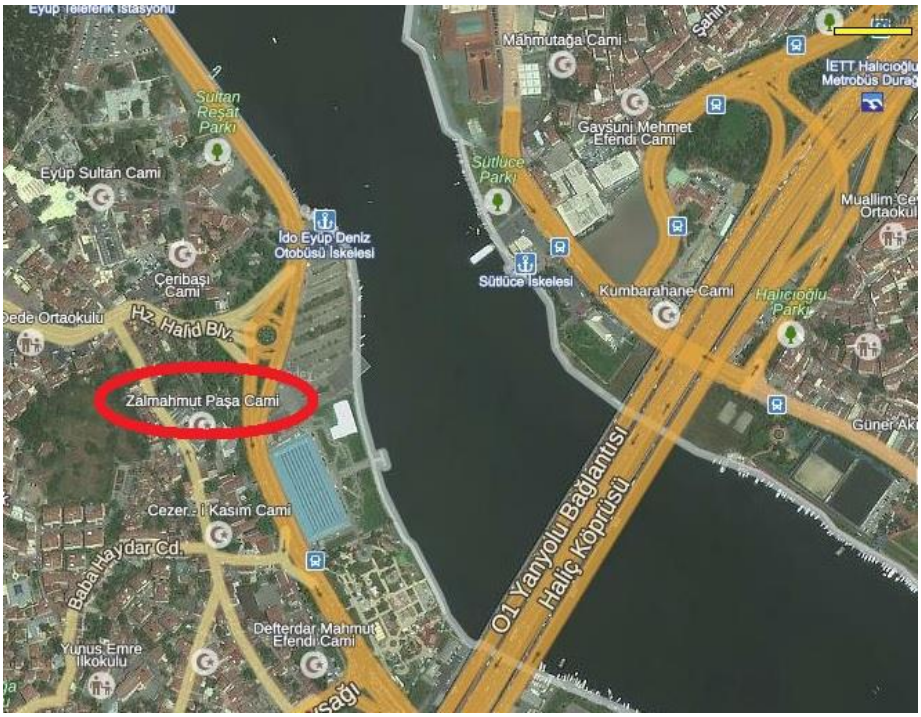
şartlandırıcılar ve hesaplayıcıları içinde tutacak bir çok birimi üstünde barındıran elektronik devrelerin yanısıra güç kaynağı ve ilgili destek kartlarıdır. Bunların yanısıra, GPS desteği, cihazların eşzamanlı çalışmasını sağlayacak senkronize zaman kontrol algoritmaları, kablolu veya kablosuz veri aktarma ortamları, verilerin monitör edilmesini, cihaz parametrelerinin kullanıcı tercihine göre yeniden tanımlanabilmesine imkan sağlayacak ara yüzey yazılımlar aranan standard özelliklerdir".

5. ÖRNEK ÇALIŞMA: ZAL MAHMUT PAŞA CAMİİ

5.1 Genel Bilgiler

5.1.1 Zal Mahmut Paşa Külliye'sinin tarihçesi

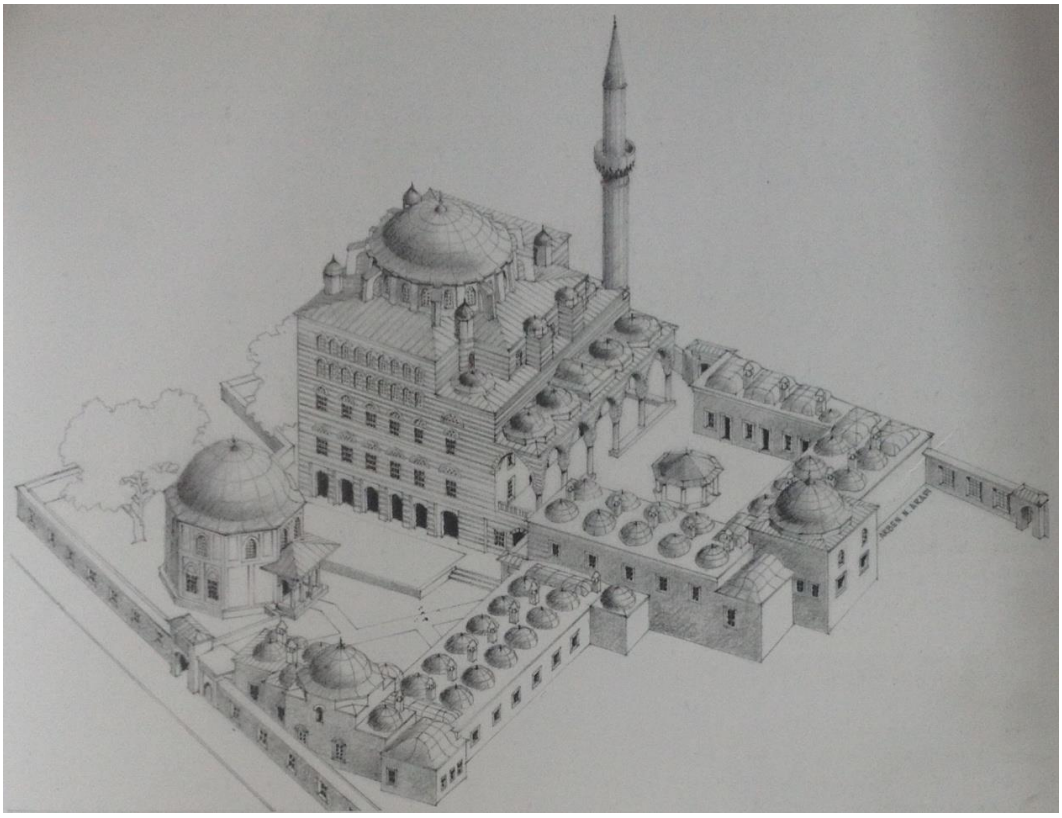
İstanbul ili, Eyüp ilçesi, Defterdar Caddesi ile Zal Paşa Caddesi arasında bulunan Zal Mahmud Paşa külliyesi, cami, çifte medrese, türbe ve çeşmeden oluşmaktadır. II. Selim'in vezirlerinden Zal Mahmut Paşa ve eşi, sultanın kızı, Şah Sultan tarafından yaptırılan külliye, eğimli bir arazide ve iki ayrı düzeyde ustaca planlanmıştır. Cami ile önündeki şadırvan avlusunu saran medrese üst düzeyde, türbe ile önündeki avluyu iki yönde kuşatan ikinci medrese alt düzeyde düzenlenmiş; düz bir merdivenle birbirine bağlanan avlulardan üsttekinin kapısı Zal Paşa caddesine, alttakininki Defterdar Caddesi'ne açılmış, çeşme alt avlu kapısının hemen sağına konulmuştur. Türbenin içinde Zal Mahmud Paşa'nın, karısı Şah Sultan'ın ve bir başka kişinin sade sandukaları vardır (Şekil 5.1, Şekil 5.2) [88,89,97].



Şekil 5.1 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin konumu.

Defterdar Caddesi üzerindeki çeşme külliyenin yapım tarihine ışık tutması bakımından önemlidir; çünkü külliyedeki tek tarih kitabesi bu çeşmede bulunur. Kitabe Hicri 998 tarihlidir; fakat ortadaki 9'un bacağı aşındığından Hicri 958 gibi okunması sonucu çeşme 1589-90 yerine 1551 yılına tarihlenmiştir [91]. Bu da sanat tarihçilerini yanıltarak caminin 1551 tarihli olduğu tezine yol açmıştır [88,92,93]. Bu tarihi, üslup açısından erken bulan bazıları ise caminin 1560-1566 yılları arasında yapıldığı görüşünü öne sürmüşlerdir [88,94,95,96]. Mimarlık tarihçisi Aptullah Kuran'a göre ise kapı kitabesi bulunmayan caminin yapımına büyük olasılıkla 1585'de başlandığını ve cami ile türbenin 1580-1(H.988) yılında tamamlandığı kanısındadır. Sebep olarak da Kanuni Sultan Süleyman'ın son yıllarında Anadolu Beylerbeyi olan Zal Mahmud Paşa'nın 1566'dan önce İstanbul'da büyük bir cami yaptırma olanağı olmadığını ayrıca cami ve külliyesini 1572'de II. Selim'in kızı Şah Sultan'la evlendikten ve 1574'de 5. vezirliğe atandıktan sonra yaptırabileceğini göstermektedir [88].

Külliyenin tarihlendirilmesiyle ilgili bir diğer önemli kayıt ise Zal Mahmut Paşa Medresesi'ne Kethüda Mustafa Efendi adlı bir müderrisin 1579'da (H.987) 50 kuruş yevmiye ile atanmış olduğuna dair belgedir [97].



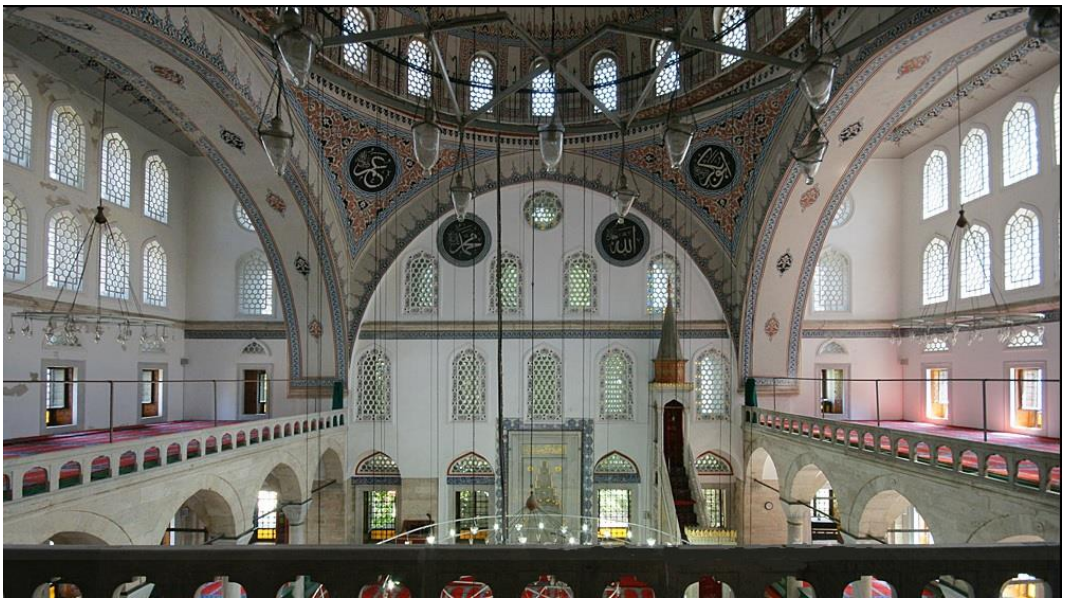
Şekil 5.2 : Zal Mahmut Paşa Külliyesi aksonometrik persfpektif çizimi [90].

Sai Mustafa Çelebi tarafından kaleme alınan Tuhfet ül-Mi'marin, Tezkiret ül-Ebniye, Tezkiret-ül Bünyan adlı yazmalarda kayıtlı Zal Mahmut Paşa caminin ve türbesinin Mimar Sinan eseri olduğu kesin ise de Tezkiret ül-Bünyan ve Tezkiret ül Ebniye'de adları geçmeyen medresleri Sinan'a bağlamak güçtür [88].

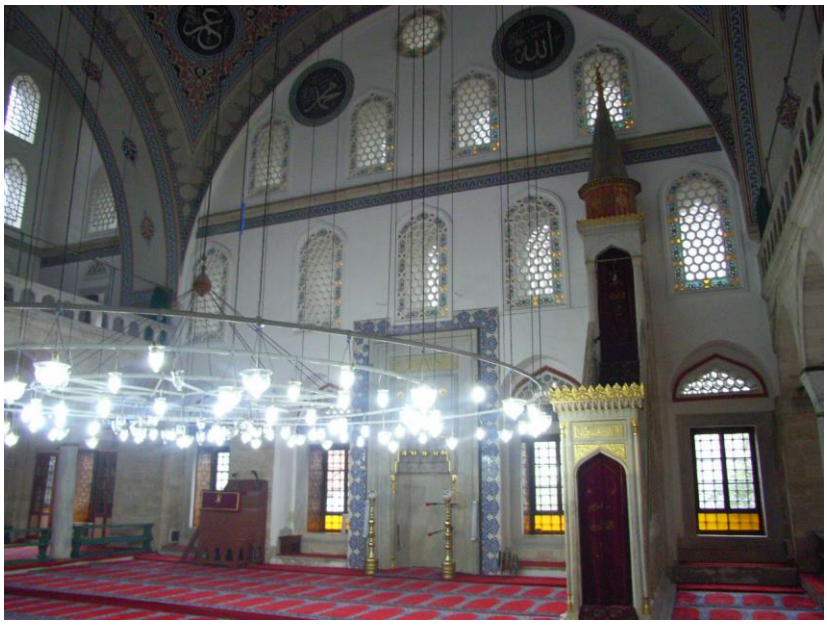
5.1.2 Caminin mimari özellikleri

Zal Mahmut Paşa camisi tek kubbeli bir vezir camisidir. Tek kubbeyle örtülü orta mekanı, Osmanlı klasik mimarisinin merkezi mekan ilkesine uygundur. Büyük kubbesi kıble yönünde beden duvarının içinde kalan kare kesitli, kuzeyde ortada serbest duran yuvarlak filayaklarına basan kemerlere oturur. Kubbeye geçişte ise pandantif kullanılmıştır (Şekil 5.3, Şekil 5.4) [88].

Zal Mahmut Paşa Camsi'nde dört büyük kemerle oluşan karenin ve dört pandantifin oluşturduğu dairevi kaide üzerinde oturan kubbe, üç cephedeki dış duvarladan tamamen ayrı, bağımsız bir strüktürel mimari unsurlar bütünlüğü oluşturur. Dış duvarın merkezî kubbeyi taşıyan mihrap duvarı, iki ayak ve üç büyük kemerden bütünüyle bağımsız olarak tasarlanması, konstrüksiyonun unsurlarının ferdiyetlerini son sınırına kadar geliştirmek anlamına gelmektedir ve bu Mimar Sinan'ın önemli çözümlemelerinden biridir [98]. Sinan, bu camisiyle alışılmış cami tasarımına zıt etkileri denemiştir [89]. Dış duvar ile taşıyıcı sistemi birbirinden ayıran Le Corbusier de 20. yüzyılda aynı çözüme ulaşmıştır [98].

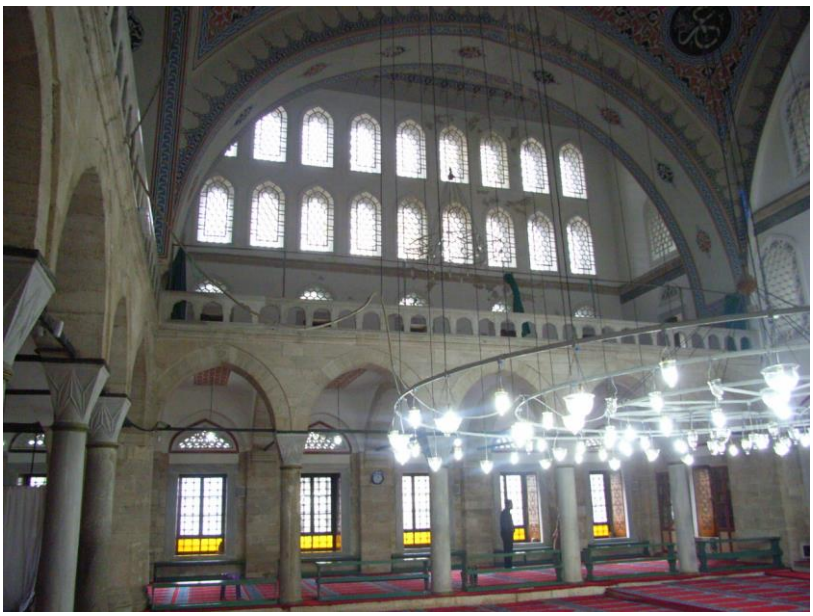


Şekil 5.3 : Zal Mahmut Paşa Camisi'nin içten görünüşü.



Şekil 5.4 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin kıble duvarı.

Üç yanda yer alan mahfiller, kubbeyi taşıyan ana kemerlere kadar yayılırlar (Şekil 5.5). Mimar Sinan'ın bütün camilerinde ana kemerler ya pencereli bir duvarla ya da bir yarım kubbe ile biterken burada kıble duvarı hariç kemerlerin içi boş olup mahfillere doğru açılırlar. Böylece kubbe etkisi zayıflar mekan üç yana doğru genişler. Pencere duvarlarıyla saklanmayan kemer kalınlıkları ortaya çıkar. Mahfiller, hem kemer hizasına kadar genişlediğinden hem de kemer üzengilerine kadar uzandığından, kubbe yükseklik etkisini kaybeder [89].



Şekil 5.5 : Zal Mahmut Paşa Camii ana kemerlerinden biri.

Mimar Sinan, Zal Mahmut Paşa Camii'nde, kıble istikametinin iki yanındaki büyük kemerlerin boşluğunu, Süleymaniye'de olduğu gibi pencerelerle veya Rüstem Paşa'da olduğu gibi delikli cam duvarlarla örebilir, kadınlar mahfeli için daha az yüksek bir döşeme ve bir tavan öngörebilirdi. Kadınlar mahfelinin büyük tutulmasının sebebi, Eyüp Sultan'ı ziyarete gelen kadın ve erkek sayısının birbirine yakın olmasıdır [98].

Mahfiller, orta kubbenin yapı sisteminden koparak, kendi üst yapı sistemine sahip birimlere dönüşür. Mahfil pencerelerinin, kubbeyi taşıyan kemerlere bağlı kalmadıkları için ön ve yan cephelerde bir uçtan ötekine sıralanarak, Zal Mahmut Paşa camisine alışılagelmişin dışında bir görünüm sağlamasının nedeni budur [88].

Zal Mahmut Paşa camiinin kubbeli orta mekânını doğu, batı ve kuzeyde saran derin mahfiller üç cephede de dörder sütuna binen beş kemere otururlar (Şekil5.6). Yüzleri camiin içine bakan kemerler sivri, sütunları beden duvarlarına bağlayanlar basıktır ve basık kemerlerin arası iki köşede çapraz tonoz, öbür bölümlerde düz tavan ile kapatılmıştır [88].

Mahfilleri taşıyan oniki sütunun başlıkları baklavalı, gövdeleri taş ya da ak mermerdir. Son cemaat revakının sütunları da benzer biçimde taş ve mermerden yapılmıştır. Klasik üslupta olmakla birlikte minaresi XVI. yüzyıla inmez, 1894 depreminden sonra yenilenmiştir.



Şekil 5.6 : Mahfilin altındaki kemerler ve sütunlar.

Zemin seviyesinde iri, yüksek, dikdörtgen mermer süveli pencereler basık armudi kemerlerle korunurken, kemer boşluğu Sinan'ın ilk defa Rüstem Paşa Camii'nde kullandığı fil gözü alçı pencerelerle içi dışa bağlayan delikli bir cam duvarla doldurulmuş olup ikinci sıradaki pencereler aynen birinci sıradakiler gibi, ancak daha küçük ölçülü düzenlenmiştir. Alt kat pencereler cami zemin seviyesine, ikinci kat pencereler de kadınlar mahfeli seviyesine hizmet eder. Buna karşılık en üstteki dar, yüksek ve sivri armudi kemerlerle örtülü iki pencere dizisi, zemin ve kadınlar mahfeli pencerelerinin aralarına birer pencere daha eklenmek suretiyle yoğun pencereler dokusu oluşturmaktadır. Bu iki kat pencere, Zal Mahmut Paşa'da aydınlatma amacına yöneliktir [98]. Kütlenin ağırlığını azaltmak üzere özellikle yan cephelere bir sarayı andırırcasına birçok pencere açılmıştır (Şekil 5.7) [89].



Şekil 5.7 : Zal Mahmut Paşa Camii

Zal Mahmut Paşa camisinin kıble kapısı köşeleri gömme sütunceli, tepesi stalaktili bir niş içerisinde bulunur. Kapının kitabe yeri boştur. Kitabe yuvasıyla stalaktitli kuşak arasında üç rozet görülür. Bunlardan ortadakinin içine bir mühr-ü Süleyman işlenmiştir [88].

Caminin içi baştan ayağı süslüdür. Büyük kubbede kırmızı ve siyah, pandantiflerde mavi bordürlü yine aynı renk nakışlar görülür. Mahfillerin tavanında ve kemer içlerinde mavi, kırmızı, siyah renkli tığlı çerçeveler ve madalyonlar, mahfil

altlarındaki düz tavanlarda kırmızı zemine beyazla işlenmiş geometrik desenler vardır [88].

5.1.3 Caminin geometrik özellikleri

Zal Mahmutpaşa Camisi plan ölçüleri yaklaşık olarak 24.90mx26.30m'dir Yapı kısmi bodrum kat, zemin kat ve birinci kat olmak üzere toplam üç katlıdır. Temiz kat yükseklikleri kısmi katta 3.46 m, zemin katta 4.24 m, üst katta 8.98 m'dir. Kubbe üst kotu ile zemin kat arasında olan yükseklik 21.06 m'dir. Taşıyıcı duvarların kalınlıkları yaklaşık 110~235 cm aralığındadır. Çapı yaklaşık D=14m, kalınlığı t=0.75m olan kubbenin altındaki ana kemerler 2m genişliğindedir. Filayaklarından dikdörtgen sütunların kenar ölçüleri 1.70mx2.40m, dairesel sütunların çağı ise 1.70m civarındadır [99].

Camiinin ön cephesinde, revak içerisinde altlı üstlü dört pencere, revakın çatısı üstünde de üç ikili grup halinde altı pencere yer alır. Yan cephelerde ise üç yerine dört sıra pencere açılmıştır. Alt sırada doğuda altı, batıda beş (altıncısının yerinde kapı bulunur); mahfil düzeyinde her iki cephede altışar, dahayukarıda dokuzardan iki sıra pencere vardır. Arka cephede pencereler daha seyrek düzenlenmiştir. Alt sırada, mihrabın sağında ve solunda üçerden altı, onun üstünde yedi, daha yukarıda altı, en tepede üç yuvarlak pencere bulunur. Yuvarlak kemerli yirmi pencere de büyük kubbenin kasnağına konulmuştur [88].

Son cemaat yeri kubbelerinin çapları 4.75m yine buradaki sütunların çapları ise 55cm'dir. Cami tek şerefeli ve tek minarelidir, minare yüksekliği yaklaşık 37.00m, dış çapı 2.45m'dir [99].

5.1.4 Caminin taşıyıcı sistemi ve malzeme özellikleri

Zal Mahmutpaşa Camisi yığma kargir taş+ tuğla almaşık duvar taşıyıcılı, orta kubbeli bir yapıdır [99]. Klasik dönem vezir camileri içinde kesme taş kaplama ile yapılmayan tek cami de budur [97]. Yapı taşıyıcı sisteminin düşey elemanları çevrede taşıyıcı ana beden duvarları ile orta mekanda birbirine yakın aralıklarla düzenlenen sütunlarla oluşturulmuştur. Kargir bir kubbe ile örtülmüş olup kubbe ana askı kemerlerine mesnetlenmektedir; geçiş öğesi olarak pandantif kullanılmış, yükler kemerler ve pandantiflerle ikisi mihrap tarafında dikdörtgen enkesitli, diğer ikisi giriş tarafında büyük dairesel enkesitli sütunlara aktarılmaktadır [99].

Cephe duvarlarının pencereler arasında kalan bölümlerinde ve binanın köşe noktalarında duvar kesitleri genişletilmiştir.

Zemin kat tavanı (kadınlar mahfili döşemesi) taşıyıcı sistemi yapı köşelerinde çapraz tonozlar, ara bölmelerde kenarları pahlı düz döşeme, 40 cm çaplı sütunlar ya/ya da sütunlar-beden duvarları arasında oluşturulan kemerler, sütunlar ya/ya da sütunlar-duvarlar arasında oluşturulan demir gergilerden meydana gelmektedir.Demir gergiler orta bölümlerde tek, köşe noktalarda çift olarak her iki doğrultuda düzenlenmiştir. Kadınlar mahfili tavanı döşemesi gibi çoğunlukla kenarları pahlı düz tavan görünümündedir.

Ana askı kemerleri, ana sütunlardan dairesel olanlara kadınlar mahfili katı döşemesi kotuna çok yakın bir yerde mesnetlenmekte, diğer bir deyişle, birinci kat döşemesi ile kemerin üzengi seviyesi arasında kalan sütunun boyu çağına göre çok kısa olmaktadır. Kubbe eteğinde, pencere boşlukları kotunda iki sıra gergi bulunmaktadır. Son cemaat yeri kubbeler ile bunları taşıyan demir gergili kemerler ve sütunlardan oluşmaktadır [99].

5.1.5 Zemin özellikleri

Temel zemininin durumunu belirlemek amacıyla hazırlanan bir Zemin İnceleme Raporu bulunmamakla birlikte, Haliç kıyılarında gevşek zemin birimlerin yer aldığı bilinmektedir. Bu bağlamda Yerel Zemin Sınıfının z3~z4, Zemin Gurubu C~D, Spektrum Karakteristik Periyodları Ta=0.15~0.20sn, Tb=0.60~0.90 sn aralığında olmalıdır.

İnceleme alanı Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren ‘’ Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’’ eki deprme bölgeleri haritasına göre 1. derece deprem bölgesinde olup Etkin Yer İvmesi Katsayısının Ao=0.40 alınması önerilmektedir [99].

5.2 Taşıyıcı Sistem Müdahaleleri

5.2.1 20. yüzyıl öncesi yapıya etki eden depremler

5.2.1.1 1766 İstanbul depremi

İstanbul’da 22 Mayıs 1766 Perşembe (12 Zilhicce 1979) gün doğumundan yaklaşık yarım saat sonra çok şiddetli bir deprem meydana gelmiştir [100]. Merkezi Marmara Denizi’nin doğusunda olan bu depremin yalnız İstanbul’da değil, komşu bölgelerde de

çok sayıda yapıda çeşitli derecelerde hasar meydana getirdiği bilinmektedir [101,102]. Çok geçmeden, 5 Ağustos Salı günü (28 Safer 1180), merkezi bu kez Marmara Denizi'nin batısında olan ikinci bir büyük sarsıntının yaşanması hasarları daha ciddi hale getirmiştir [100]. Dönemin tarihçisi Şemdanizade Süleyman Efendi yaşanmış olan felaketin "Küçük Kıyamet" diye anılan 1509 depreminden bile şiddetli olduğunu iddia etmektedir. Süleyman Efendi'ye göre yetmiş ben gün sonra yaşanan 5 Ağustos 1766 depreminin büyüklüğü de ilk depreme yaklaşmış, Galata, İzmit ve Yalova'da büyük hasar meydana gelmiştir [103]. Ayrıca bu ikinci depremin minarelerde, camilerde ve kârgir mahallerde yıkıma yol açtığı kaydedilmiştir [104]. Tarihçi Hâkim, seksen saat boyunca, gece gündüz sürdüğünü söylediği sarsıntılar sonunda "bina altında 4-5 bin adam" kaldığını bildirmektedir [104]. Depremle ilgili canlı tanığın kaleme aldığı İtalyanca bir raporda ise Ayasofya Camii, Valide Hanı ve Büyük Han dışında depremden etkilenmemiş hiçbir taş yapı kalmadığı belirtilmektedir. Rapora göre, depremin bir tatil gününde sabah namazının ardından camiler boşaldıktan sonra olduğu için toplu ölümler nispeten azalmıştır. Depremin neden olduğu maddi zararın 11.000.000 kuruşu bulduğu yolundaki tahmin felâketin ciddiyetini kanıtlamaktadır [105].

Kaynaklarda Zal Mahmut Paşa Cami'si ile ilgili herhangi bir hasar kaydına rastlanmamaktadır. Ancak çevresinde Eyüp Sultan ve Şah Sultan gibi camilerin "çok ağır hasarlı" olması [106,107] Zal Mahmut Paşa Cami'sinin de depremden etkilenmiş olabileceği ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

5.2.1.2 1894 İstanbul depremi

10 Temmuz 1894 Salı günü öğle vakti 12:24'te İstanbul ve çevresinde hasar yapan, Yanya, Bükreş, Girit, Yunanistan, Konya ve Anadolu'nun büyük kısmında hissedilen ve literatürde '1894 İstanbul Depremi' olarak yer alan deprem, İstanbul il sınırı içinde 474 kişinin ölümüne, 482 kişinin yaralanmasına, 387 dayanıklı yapı ile 1087 ev ve 299 dükkanın önemli ölçüde hasar görmesine yol açmıştır. Depremden sonra dönemin Osmanlı Hükümeti tarafından haberlere uygulanan sansür gerçek ölü ve yaralı sayısının bilinmesine olanak tanımadığı varsayılsa dahi ölü sayısının 1000'i aşması mümkün görülmemektedir [108].

Depremin merkezi Marmara Denizi içerisindedir. Ancak, yırtılmanın Marmara Denizi içerisindeki kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu sağ yanal atılımlı faylarda mı yoksa

deniz içerisindeki eğim atılımlı normal faylarda mı başladığı açığa kavuşturulmamıştır. Depremin aletsel büyüklüğünün 6.5-7.0 arasında olduğu ve bu büyüklüğün 7.0'yi hiçbir şekilde aşmadığı kesindir.Depremin maksimum şiddetinin ise bazı semtlerde IX MSK'ye ulaştığı, ancak İstanbul içerisinde özellikle Boğazlar, Beyoğlu, Şişli ve Anadolu yakasının pek çok yerinde yerel zemin koşulları ve mesafeye bağlı olarak hemen azaldığı ve VI-VII MSK düzeylerinde kaldığı anlaşılmaktadır. Kaynaklarda Zal Mahmut Paşa Cami'nin esas duvarının çatlayıp, harap olduğu [109,110] minaresinin de yıkıldığı yazmaktadır [111].

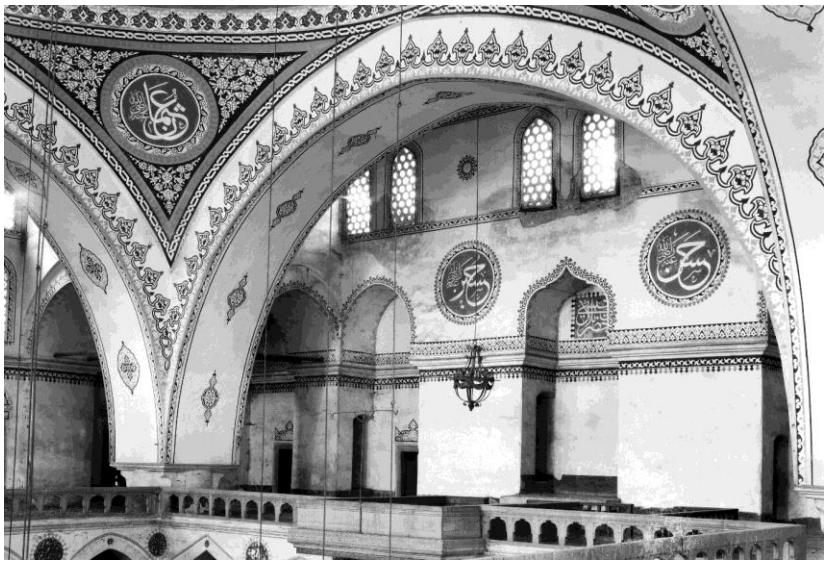
5.2.2 1957-1963 müdahaleleri

Elimizdeki kaynaklardan edinilen bilgilere göre yapıyla ilgili en kapsamlı müdahale Vakıflar idaresince 1957-1963 yılları arasında gerçekleşmiştir.

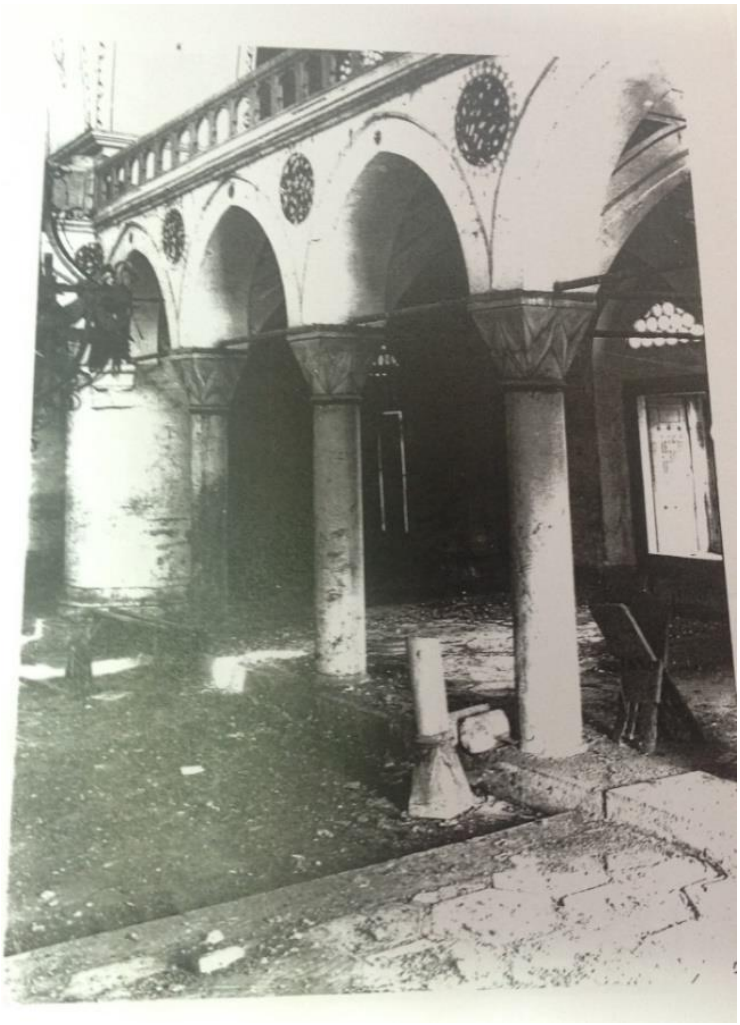
Yapının 1957 yılı öncesi durumunu gözden geçirecek olursak; II. Mahmud döneminde (1808-1839) caminin ve külliyenin harap, Ramazan 1825'ten sonra, padişahın emriyle cami ve türbenin cami vakfının gelirleriyle tamir edildiği ve mahfel-i hümayuna bir hela yaptırıldığı anlaşılmaktadır. 1894 depreminden sonra ise çok harap olan yapının minaresi de yıkılmıştır. Bu minare yeniden yapılmışsa da, 1930'lu yıllarda külliye bakımsız bir durumdaydı [97]. 1940'lu yıllarda çekilen İstanbul Arkeoloji Müzesi'nden elde ettiğimiz fotoğraflarda da caminin harap bir durumda olduğu, cemaate kapalı olduğu görülmektedir (Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14) [112].



Şekil 5.8 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen mahfil fotoğrafı [112].



Şekil 5.9 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen mahfil katı fotoğrafı [112].



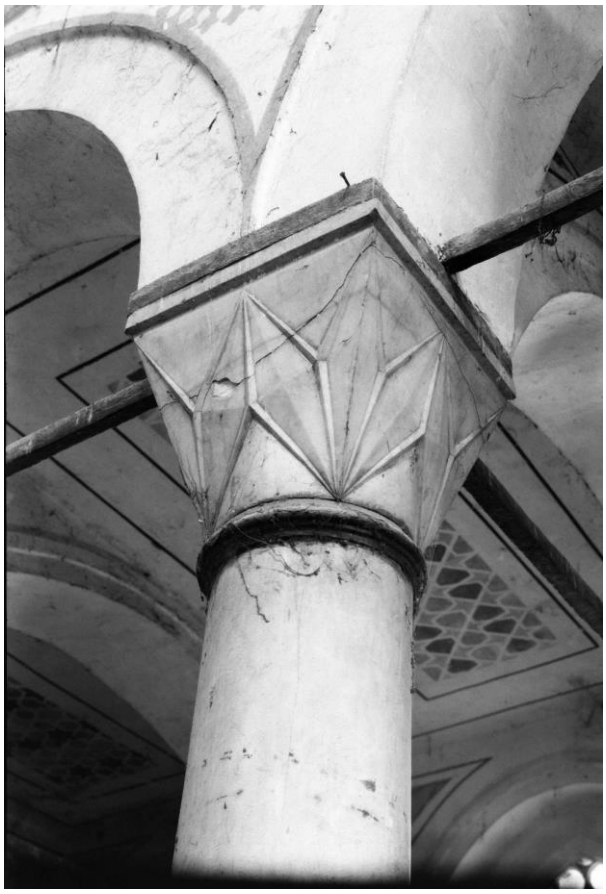
Şekil 5.10 : Zal Mahmut Paşa Cami, 1940'lı yıllarda çekilen zemin katı fotoğrafı [112].



Şekil 5.11 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen fil ayağı ve ana kemer birleşimini gösteren fotoğraf [112].



Şekil 5.12 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen fil ayağını gösteren fotoğraf [112].



Şekil 5.13 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen sütun başlığını gösteren fotoğraf [112].

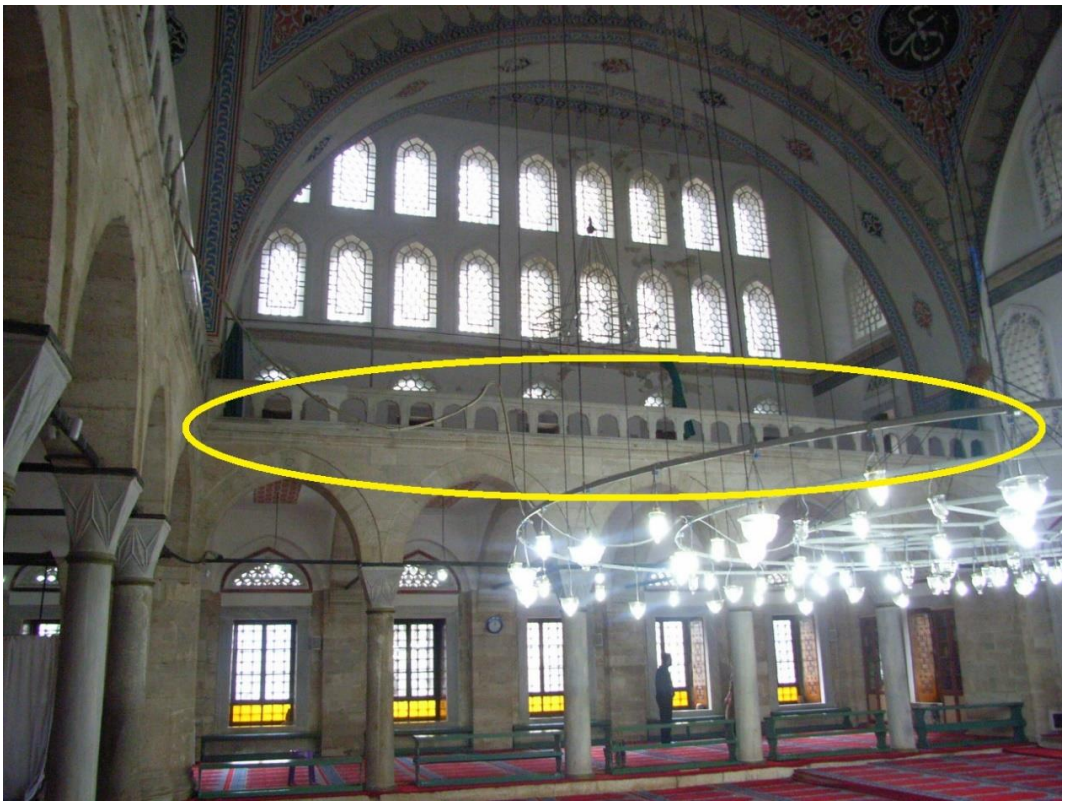


Şekil 5.14 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1940'lı yıllarda çekilen avluiçindeki şadırvanı gösteren fotoğraf [112].

İstanbul II Numaralı Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü ve Vakıflar Genel Müdürlüğü İstanbul Bölge Müdürlüğü arşivlerinde 1955-1963 yılları arasında yapılan çalışmalarla ilgili belgeler tespit edilmiştir.

Örneğin 1956 yılında yazılan belgeden kubbe üzerinden sökülen kurşunun tamamının 3969 kg geldiği anlaşılmaktadır (Şekil B.1) [113].

1959 yılında yapının kontrol mimarı tarafından yapıda tespit edilen hasarlar, kontrol mimarı tarafından hazırlanan Şekil B.2'deki rapor ile belirtilmiştir. Raporda özetle, kubbenin mesnetlendiği kemelerde çatlak olduğu ve bu kemerlerden birinin (Şekil 5.15) 25 cm sehim yaptığı, sehim yapan kemerin gergi demirinin koptuğu ve bu gergi demirinin 6 cm aralandığı yazmaktadır. Ayrıca en çok kıble duvarı olmakla birlikte diğer beden duvarlarının da şakulünden kaydığı 13 cm'e kadar kaydığı, beden duvarlarında yukarıdan aşağı doğru olan bazı çatlak genişliklerinin ortalama 7 cm civarında olduğu yazmaktadır [114].



Şekil 5.15 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1950'li yıllarda kırılan gerginin bulunduğu bölge.

Yapılan bu hasar tespiti sonrasında İstanbul Teknik Üniversitesi Profesörlerinden Ord. Prof. Feridun Arısan'ın ana hatlarıyla hazırladığı yapıya müdahale raporunda; kırılan gerginin yeniden tesisi, harap durumda olan tonoz döşemenin yerine betornarme

döşeme ve bu döşemenin içinde saklı beden duvarlarını birbirine bağlayan ikinci bir gergi sistemi imalatı, kıble duvarı ayağındaki deformasyonlar sebebiyle de kıble duvarına yapılacak betorname kaplama imalatına değinilmektedir. Kıble duvarındaki betonarme kaplamalar, günümüzde caminin kıble duvarında yer alan taş kaplamalı payandalardır (Şekil B.3, Şekil5.7, Şekil 5.16) [114].



Şekil 5.16 : Zal Mahmut Paşa Camii,dışı taş kaplı betonarme payanda.

Ord. Prof. Feridun Arısan'ın ana hatlarıyla hazırladığı raporla ilgili T.C Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun endişelerini içeren yazı Şekil B.2'deki gibidir [114].

Son olarak Ord. Prof. Dr. Feridun Arısan (Şekil 5.17) tarafından kaleme alınan yazıda da görüleceği üzere Arısan, yaptığı çalışmalar ve gözlemleri sonucunda Mimar Sinan tarafından yapılan gergi ankrajlarının kendini çok iyi muhafaza ettiğine karar vererek var olan gergi sisteminin kaldırılıp yeniden tesis edilmesinden vazgeçmiştir. Gergiyi tamir ederek, döşeme içerisine saklayacağı ikinci bir gergi sistemi ile yapıyı güçlendirmek istemektedir (Şekil B.7, Şekil B.8, Şekil B.9) [114].



Şekil 5.17 : İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi hocalarından Ord. Prof. Dr. Feridun ARISAN (1907-1984).

Koruma Kurulu arşivinde bulunan, Ord. Prof. Dr. Feridun Arısan'ın güçlendirme önerileri ile birlikte idareye sunduğu takviye hesapları ve çizimlerinin bir kısmı aşağıdaki gibidir (Şekil B.8, Şekil B.9, Şekil B.10, Şekil B.11, Şekil B.12, Şekil B.13, Şekil B.14, Şekil B.15) [114].

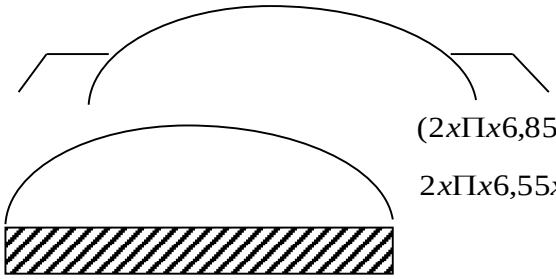
Yükler

Kubbeden:

Kurşun Kaplama: $2x\Pi x\overline{6,85^2}x0,050=14,750$

Kubbe Ağırlığı : $\frac{2}{3}x\prod x(\overline{6,85^3}-\overline{6,40^3})x1,80=226,00$

Pencereler : $2x\Pi x0,55x1,80x20=-39,60$



$(2x\Pi x6,85-20x1,20)x2,70x0,50x1,80=46,20$

$2x\Pi x6,55x0,72x0,60x1,8=32,00$

$14,750^t+(226,00^t-39,60^t)+46,20^t+32,00^t=279,35^t$

$$q=\frac{279,35}{4x14,20}=4,92^{\frac{t}{m}}$$

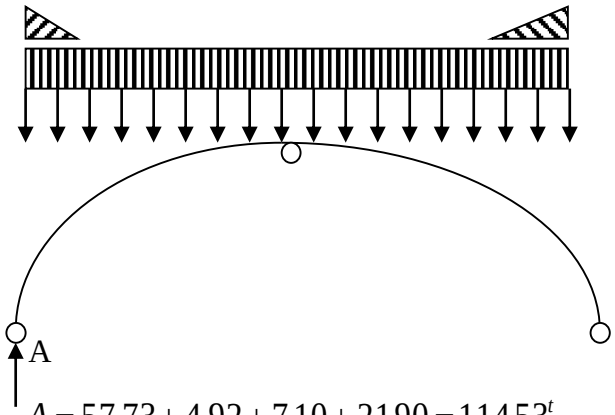
Pandantifden: ($78m^2$)

$2x\Pi x(10,05x7,40)=468 \quad -2[2x\Pi x10,06x2,95]=-390$

$468-390=78 \quad 78x0,80x2,80=175^t \quad \frac{175}{8}=21,9^t$

Kar+Rüzgar: $\frac{0{,}10x\overline{7{,}10^2}}{7{,}10} = 0{,}71^{\frac{t}{m}}$

1.Uç Mafsallı Kemer Hali:



$$A = 57{,}73 + 4{,}92 + 7{,}10 + 21{,}90 = 114{,}53^t$$

$$H = \frac{1}{8x20}(114{,}53x7{,}10 - 4{,}45x7{,}05 - 10{,}00x6{,}87 - 7{,}86x6{,}49 - 6{,}44x5{,}89$$

$$- 6{,}44x5{,}09 - 6{,}44x4{,}07 - 6{,}44x2{,}79 - 6{,}44x1{,}41 - \frac{4{,}92x\overline{7{,}10^2}}{2} - 21{,}9x(7{,}10 - 1{,}50)) = 35{,}49^t$$

$$\sum H = 35{,}4^t + \frac{1{,}26x7{,}10}{8{,}20} = 36{,}49^t$$

Kar ve Rüzgardan

1959 tarihli başka bir belgede ise cami minaresinin bir kısmı ya da tamamının yıktırılmış olabileceği ve yine minare imalatının bir kısmı için 63m^3 küfeki taşının taş ocağından nakliye edildiği bilgileri verilmektedir (Şekil B.16) [113].

Son olarak kontrol mimarının 1963 yılında yazdığı resmi yazıdan caminin 1957-1963 yılları arasında cemaate kapalı olduğu ve 1963 yılında onarımının tamamlandığı bilgisine ulaşmaktayız (Şekil B.15) [114].

5.2.3 2008 yılı teknik raporu

2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından hazırlanan teknik raporda camideki en önemli yapısal hasarlarla ilgili şu cümleler yer almaktadır: “Kadınlar mahfili katında büyük dairesel sütunların boylarının çaplarına oranla oldukça kısa/rijit olduğu belirtilmişti. Buna ek olarak bu sütunların beden duvarlarına bağlayan kemerlerin açıklıkları da oldukça kısa, enkesitleri büyüktür. Bu

tür bölümler aşırı rijitlikleri nedeniyle özellikle deprem yükleri altında aşırı yük alıp çatlamaktadır; camide de beklendiği üzere bu durum oluşmuş, sütunda eğik kesme çatlağı izleri, kemerlerde de her iki asal doğrultuda kilit noktalarında çatlaklar gözlenmiştir" [99].

Bu rapordan da anlaşılacağı üzere yapıda, 1957 ve 1963 yılında yapılan müdahalelerden sonra 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinde ciddi bir hasar meydana gelmemiştir.

5.3 Yapının Mevcut Durumu

Zal Mahmut Paşa Külliyesi'nde 2012-2015 yılları arasında restorasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında camiye yapısal bir müdahalede bulunulmamıştır (Şekil 5.18).

1959-1960 yılları arasında Ord. Prof. Feridun Arısan tarafından hazırlanan projede de görüleceği üzere, tamiri yapılan gergi kontrol amacıyla açıkta bırakılmıştı (Şekil B.9). 2015 yılı Nisan ayında yapıya tarafımızca yapılan ziyaret sırasında, restorasyounu gerçekleştiren firmanında önemli desteği ile birlikte tamiri yapılan gergi bulunmuş ve firma tarafından bakımı yapılmıştır (Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22). Yapıda gerçekleşen çalışma sebebiyle tarafımızca sınırlı sayıda fotoğraf çekilebilmiştir.



Şekil 5.18 : Zal Mahmut Paşa Camii, Nisan 2015'te restorasyon sırasında çekilen bir fotoğraf.



Şekil 5.19 : Zal Mahmut Paşa Camii, onarılan gerginin bulunduğu kadınlar mahfili döşemesi.



Şekil 5.20 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda tamir edildikten sonra bakımı yapılması için açıkta bırakılan gergi demirinin günümüzde ilk tespit edildiği an.



Şekil 5.21 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda onarılan gergi demiri.

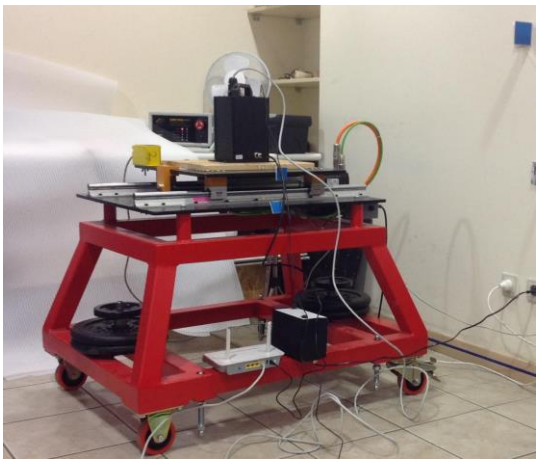


Şekil 5.22 : Zal Mahmut Paşa Camii, 1960'lı yıllarda onarılan gergi demirinin bakımı yapıldıktan sonraki hali.

5.4 Çevresel Titreşim Testi

5.4.1 Kalibrasyon Çalışması

Yapıda sensörlerle doğal titreşim verileri almaya başlamadan önce, sensörlerden elde edilecek verilerin birbirleriyle uyum içerisinde olabilimesi ve verilerin güvenirliliğini sağlayabilmek amacıyla ivmeölçerlerin bir kısmı üzerinde kalibrasyon testi yapıldı (Şekil 5.23). Test 'masaüstü sarsma tablası' üzerinde yapıldı. Test sırasında ivmeölçerler çizelge 5.1'de görülen frekans, deplasman ve devir değerlerinde sarsıldı. Test sırasında kayıt edilen datalar kontrol edilerek kalibrasyon yapıldı.



Şekil 5.23 : Sarsma tablası üzerinde test edilen ivmeölçer.

Çizelge 5.1 : Sensör NO: 101 için kalibrasyon çalışması ölçüm düzeneği.

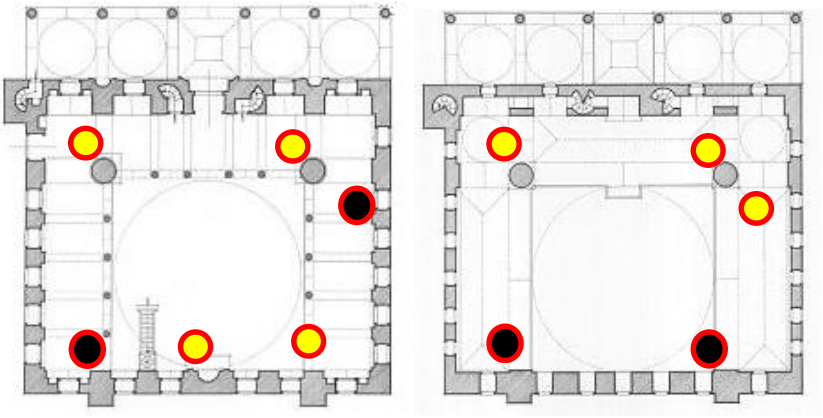
Frekans (Hz)	Deplasman (-/+ mm)	Devir
0,05	10	1
0,10	10	1
0,15	10	1
0,20	10	1
0,30	10	2
0,50	10	2
1,00	10	5
3,00	10	20
5,00	10	40

5.4.2 Sensörlerin yerleşimi ve ölçümler

Tarihi yığma Zal Mahmut Paşa Camisi'nin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde 'Operasyonel Model Analiz' yöntemi kullanılmıştır. Caminin doğal frekanslarını ve titreşim modlarını elde edebilmek amacıyla 20 farklı noktadan üç eksenli (Şekil 5.24) ivmeölçerler kullanılarak titreşim verileri toplanmıştır. Ölçüm işleminde Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilen ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Kıble duvarındaki deformasyon ve gergi demirinin kopması sebebiyle, her kata gergi demirinin doğrultusunda kıble duvarına sensor yerleştirilmiştir. 20 sensörden 1 tanesi alt avludaki zemine, 1 tanesi bodrum kata, 5 tanesi giriş kata, 4 tanesi kadınlar mahifili katına ve 6 tanesi kubbeye yerleştirilmiştir. Ancak GPS modüllerindeki arızadan dolayı 5 adet ivmeölçerden kayıt alınamamıştır. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'teki sarı renkli yuvarlak şekiller veri alınabilen, siyah renkli olanlar very alınamayanları göstermektedir. Ayrıca çevresel titreşim testi sırasında ivmeöelçerleri ve yerleşim yerlerini gösteren fotoğraflar Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da görülmektedir.

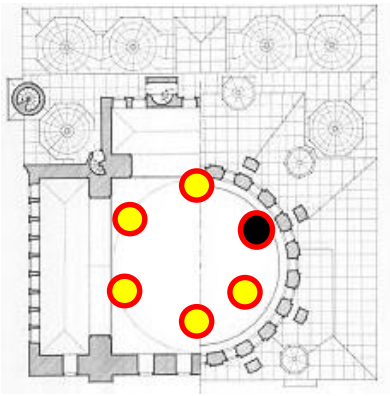
ADC Çözünürlüğü	24 Bit
Senkronizasyon	GPS senkronizasyonu / Eş zamanlı örnekleme - Kanal başına bağımsız ADC
Sensör Eksen(Bileşen) Sayısı	1 / 2 / 3
İvme Gürültü Seviyesi (RMS)	140 nano-g/Kök-Hz
İvme Ölçüm Aralığı	± 2 g
Örnekleme Hızı	1 kHz, 500 Hz, 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz, 20Hz, 10 Hz, 5 Hz, 1 Hz (2kHz, 4kHz, opsiyonel)
Frekans Bandı	0.1-120 Hz
Mekanik Şok Dayanımı	2000 g
Analog Filtre	Anti-aliasing / Alçak geçirgen
DSP	Oversampling / Downsampling / Decimation / Sayısal Filtre
İşletim Sistemi	Gömülü Linux
Bilgisayar Bağlantı Arayüzü	Ethernet (TCP/IP)
Uzaktan Bağlantı	TCP/IP - FTP sunucu (Seedlink sunucu, Web sunucu opsiyonel)
GPS Çözünürlüğü	
GPS Fonksiyonları	Zaman ve konum bilgisi / GPS sinyali kaybında kesintisiz RTC desteği ile kayda devam
Depolama	USB - Flash Memory
Yıldırım Koruması	Her kanal için koruma
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C - +65 °C
Güç Girişi	12 VDC / 220V / Maks. 40 Watt

Şekil 5.24 : Kablosuz üç eksenli ivmeölçerin teknik özellikleri [87].



A B

Şekil 5.25 : İvmeölçer yerleşim planı, a) cami giriş katı b) cami kadınlar mahfili katı



Şekil 5.26 : İvmeölçer yerleşim planı, cami kubbesi.



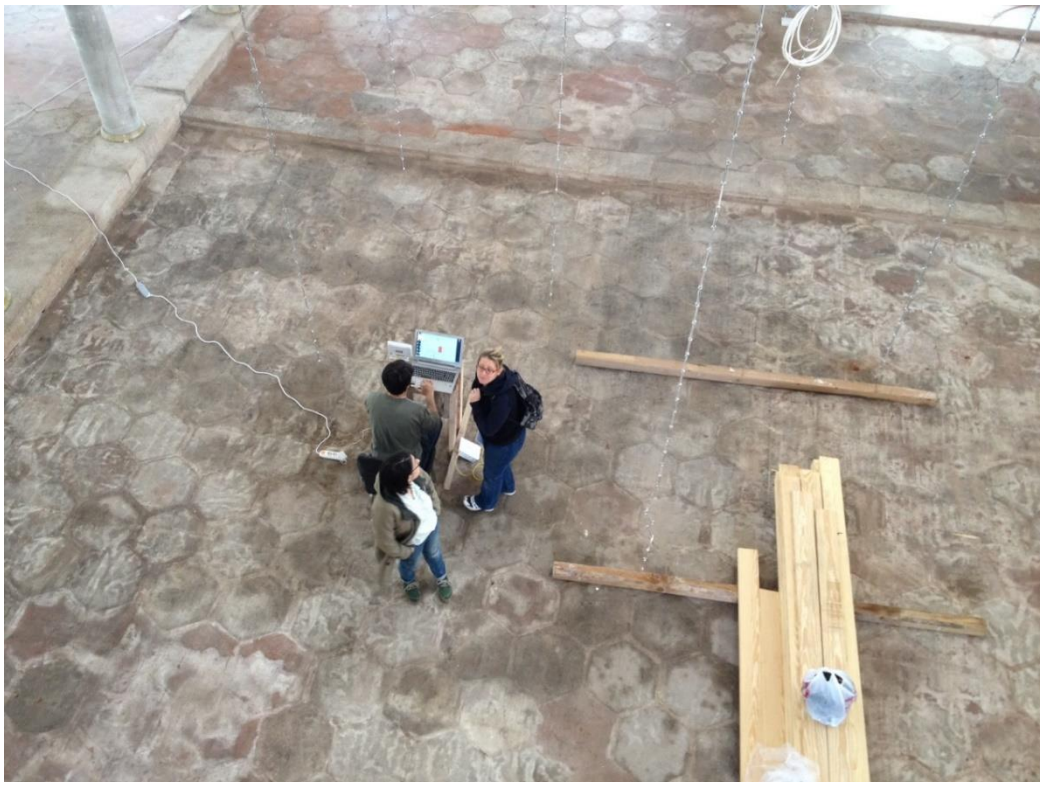
Şekil 5.27 : Ölçümde sırasında kullanılan ivmeölçer, aküleri, wifi üniteleri**,** Gps aparatı ve kabloları.



Şekil 5.28 : Kubbeye yerleştirilen ivmeölçerlerden bazıları.



Şekil 5.29 : Fil ayağının yanına yerleştirilen ivmeölçer ve aparatları.



Şekil 5.30 : Ölçüm sırasında, caminin giriş katının ortasında kullanılan bir bilgisayarda ivmeölçerlerden alınan veriler toplanmaktadır.

Caminin dinamik karakteristikleri, titreşim testlerinden elde edilen verilen EFDD yöntemi kullanılarak B.Güneş'in çalışması ile elde edilmiştir [115]. Yapının Güney-

Kuzey ve Doğu-Batı doğrultuları için B.Güneş'in çalışmasındaki frekans değerleri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'deki gibidir [115].

Çizelge 5.2 : Kuzey-Güney yönü için frekans değerleri ve sönüm oranları [115].

f (Hz)	ξ (%)	MPCW
1,76	13,74	99,98
6,75	1,14	87,85
8,30	2,53	77,45
13,96	5,18	88,90
15,43	3,55	91,73
17,68	4,48	88,15
23,83	2,33	84,11
34,90	1,70	91,70

Çizelge 5.3 : Doğu-Batı yönü için frekans değerleri ve sönüm oranları [115].

f (Hz)	ξ (%)	MPCW
4,07	3,70	44,39
5,57	1,25	88,99
6,74	1,32	14,05
8,40	1,09	50,26
9,47	2,81	43,00
10,06	6,82	77,84
15,63	4,08	44,30
18,16	3,80	66,20

B. Güneş'in çalışmasına ek olarak kubbeye yerleştirilen ivmeölçerlerden alınan titreşim verileri Artemis programına aktarılmış ve EFDD yöntemi kullanılarak yapının dinamik karakteristikleri belirlenmiştir (Şekil 5.31). Artemis programında EFDD yöntemi kullanılarak elde edilen spektral yoğunluk matrisi tekil değerleri grafiği şekilde gösterilmiştir. Elde edilen titreşim kayıtları yardımı ile spektral yoğunluk matrisi kullanılarak bulunan doğal frekans ve sönüm oranları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

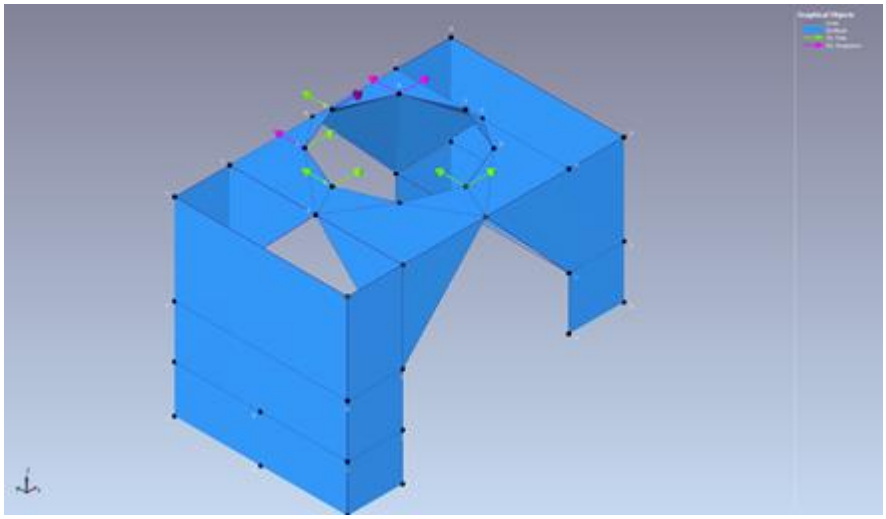


Şekil 5.31 : Spektral yoğunluk matrisi tekil değerleri grafiği.

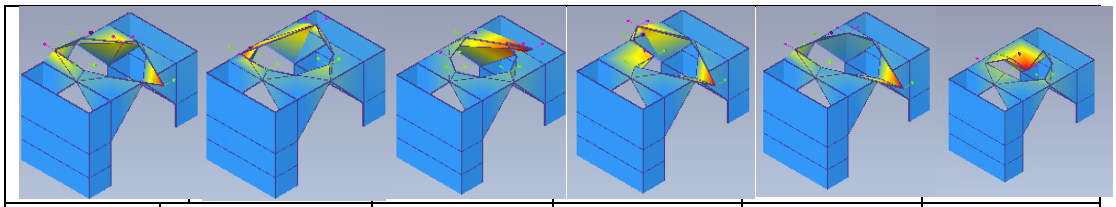
Çizelge 5.4 : Frekans değerleri ve sönüm oranları [115]

f (Hz)	ξ (%)
3,52	1,81
4,06	1,35
5,58	1,61
6,79	1,08
10,18	2,59
15,51	1,14
23,83	2,33
34,90	1,70

Artemis programında oluşturulan yapının basitleştirilmiş modeli ve EFDD analizi ile elde edilen mod şekilleri Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'deki gibidir.



Şekil 5.32 : Zal Mahmut Paşa Camii, Artemis programı basitleştirilmiş modeli.

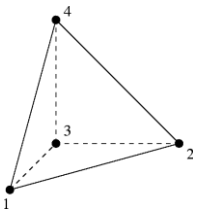


Şekil 5.33 : Zal Mahmut Paşa Camii, Artemis programında bulunan mod şekilleri

5.5 Yapının Sonlu Elemanlar Modeli

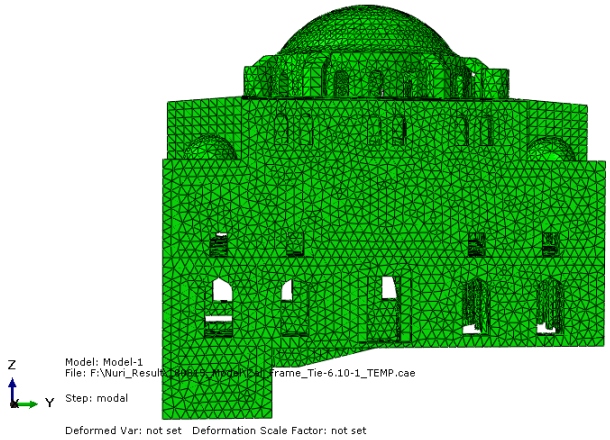
Yapının sonlu elemanlar modeli Abaqus sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle AutoCAD yazılımında üç boyutlu olarak çizimi tamamlanan camii, sonrasında yapının bütün elemanları katı (solid) eleman olarak Abaqus yazılımına aktarılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde dört yüzlü lineer tetrahedral elemanlar (C3D4) kullanılmıştr (Şekil 5.34). Tetrahedral elemanın bir kenarının en

büyük uzunluğu 50 cm olarak tasarlanmıştır. Modelde 204884 adet eleman kullanılmıştır. Ayrıca 49777 düğüm noktası vardır.

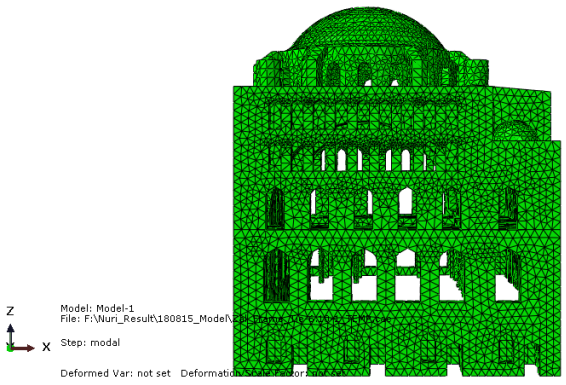


Şekil 5.34 : Tetrahedral eleman.

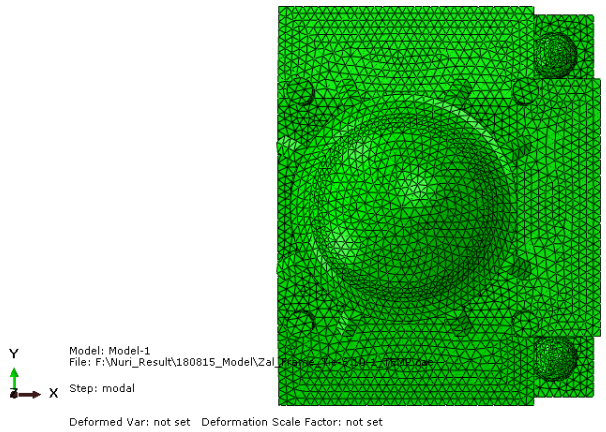
Makro modelleme yöntemi esas alınarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Yapıdaki harç-tuğla, harç-taş ya da tuğla-taş malzemelerinden meydana yapı elemanları homojen kabul edilerek tek bir malzeme değeri esas alınmıştır. Malzeme lineer elastik kabul edilip 2000 kg/m^3 yoğunluğunda, elastisite modülü 3,5 GPa, poisson oranı ise 0,2 olarak tanımlamıştır. Yapının temel derinliği bilinmediği için yapı zemine mafsallı (pin connection) olarak bağlanmıştır. Yapının hazırlanan sonlu elemanlar modeli Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37'de gösterilmiştir.



Şekil 5.35 : Sonlu elemanlar modeli güney (giriş) cephesi görünüşü.



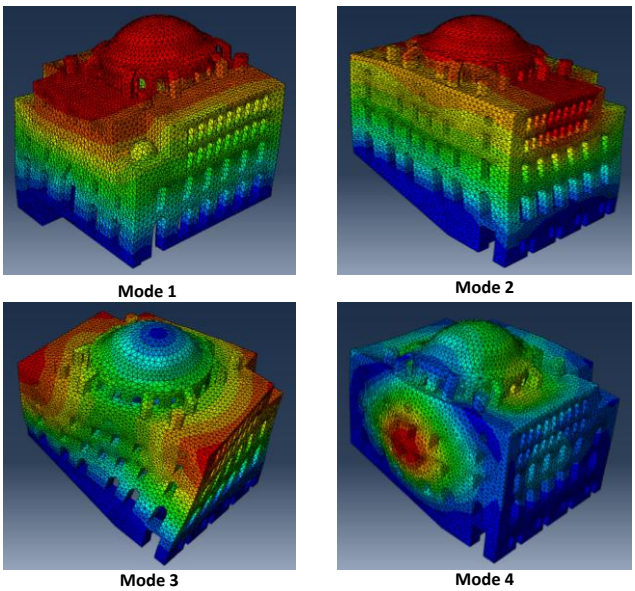
Şekil 5.36 : Sonlu elemanlar modeli doğu cephesi görünüşü.



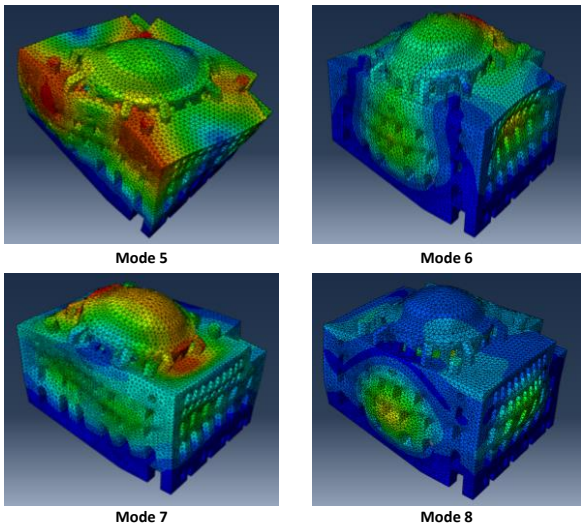
Şekil 5.37 : Sonlu elemanlar modeli plan görünüşü.

5.5.1 Modal analiz

Özdeğer analiz, eigen-value ya da modal analiz olarak bilinen, yapının mod şekilleri ve serbest titreşim periyotlarını belirlemek maksadıyla kullanılan bir araçtır. Yapı sisteminin rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak modları ve serbest titreşim periyotları belirlenmektedir. Yapının sonlu elemanlar programında elde edilen ilk 8 modunun mod şekilleri ve frekans değerleri aşağıda yer almaktadır. (Şekil 5.38, Şekil5.39 ve Çizelge 5.5)



Şekil 5.38 : Yapının ilk 4 mod şekli.



Şekil 5.39 : Yapının 5,6,7 ve 8. Mod şekilleri.

Çizelge 5.5 : İlk 8 modunun frekans değerleri.

Mod	f (Hz)
1	3,52
2	5,05
3	6,46
4	8,75
5	9,21
6	9,84
7	11,59
8	12,10

5.5.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

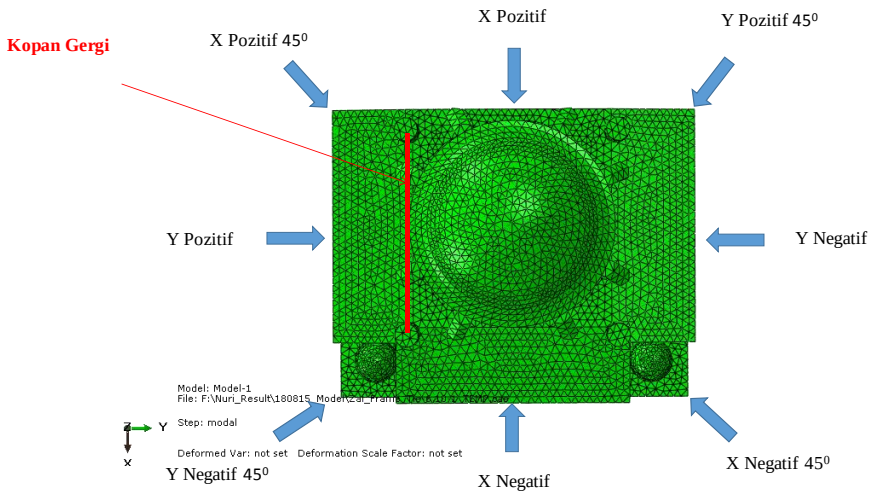
Çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiye toplam eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t, Denklem (5.1)'de gösterilmektedir. Denklem (5.2)'de ise spektral ivme katsayısının formülü verilmiştir.

I bina önem katsayısı, A_0 etkin yer ivmesi katsayısı, S(T) spektrum katsayısını göstermektedir. [116]

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \tag{5.1}$$

$$A(T) = A_0 IS(T) \tag{5.2}$$

2007 Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak, I bina önem katsayısı 1.2, A_0 0.4 ve S(T) 2.5 olarak alınmıştır. R deprem yükü azaltma katsayısı 1 olarak alınmıştır. V_t Şekil 5.40'da gösterilen doğrultularda yapıya etki ettirilmiştir.



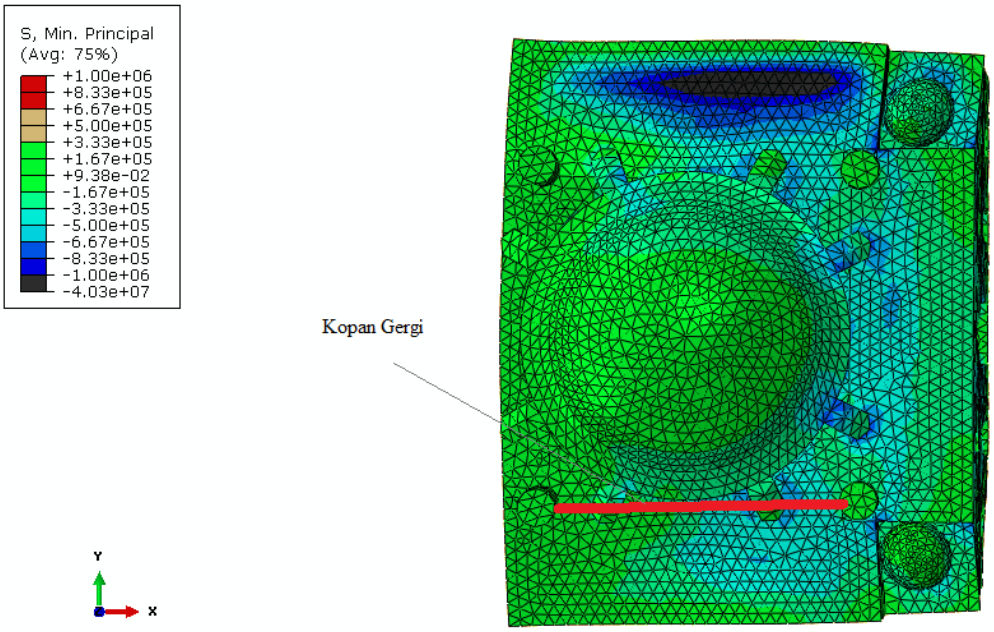
Şekil 5.40 : Hesaplarda göze alınan deprem doğrultuları.

Deprem doğrultuları göz önünde bulundurularak sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan lineer elastik çözümde kritik bölgeler için elde edilen basınç gerilmesi değerleri Çizelge 5.6'daki gibidir.

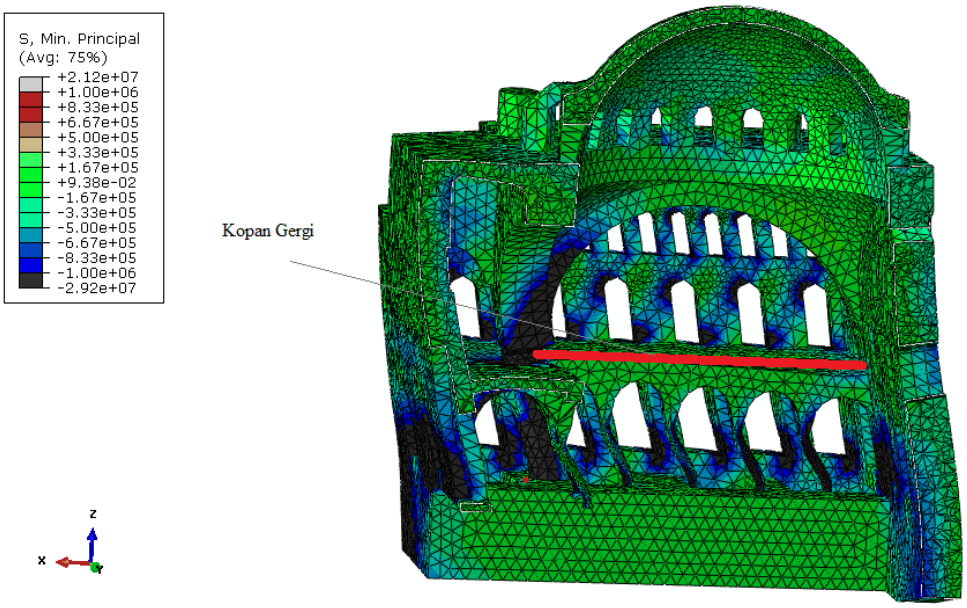
Çizelge 5.6 : Basınç gerilme değerlerini gösteren tablo.

YÜKLEME	Smin- Basınç MPa	Smin-Basınç MPa	Smin-Basınç MPa	Smin-Basınç MPa	Smin-Basınç MPa
X Pozitif	1,06 (Çatı-Batı)	2,20 (Kuzey Cephesi Duvar Ayakları)	2,13 (Rijit Fil Ayağı Mahfil Katı, Kırılan Gergi Yanı)	3,78 (Fil Ayağı Giriş Kat)	1,27 (Kopan Gergi Ana Kemeri)
X Negatif	1,30	1,78 (Kıble Cephesi Duvar Ayakları)	1,19	1,83	1,91
Y Pozitif	0,42	2,14 (Batı Cephesi Duvar Ayakları)	0,94	2,36	0,70
Y Negatif	0,54	1,44 (Doğu Cephesi Duvar Ayakları)	1,40	2,95	0,49
X Pozitif (45^0)	0,44	2,50 (Batı Cephesi Duvar Ayakları)	1,92	3,06	1,41
X Negatif (45^0)	1,02	2,10 (Kıble Cephesi Duvar Ayakları)	1,78	3,78	1,65
Y Pozitif (45^0)	0,94	1,87 (Kıble Cephesi Duvar Ayakları)	2,46	2,66	1,71
Y Negatif (45^0)	0,89	2,70 (Kıble Cephesi Duvar Ayakları)	1,80	3,34	1,52

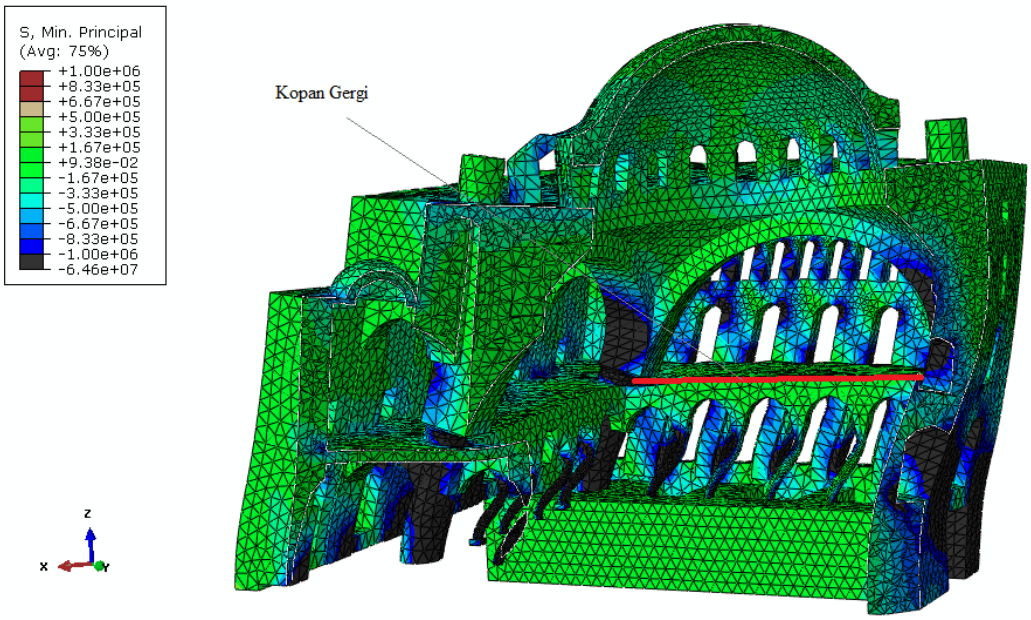
Çizelgede 5.6'daki basınç gerilme değerlerinin oluştuğu kritik bölgeler Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45'de gösterilmektedir



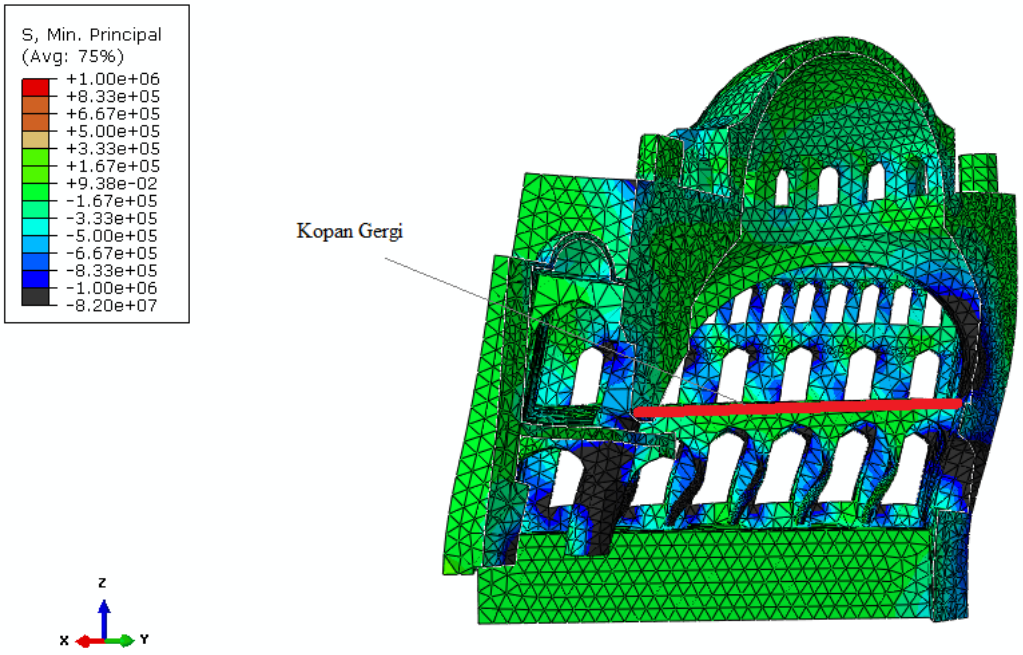
Şekil 5.41 : (G-EX) Batı cephesi çatıda meydana gelen 1,30 değerindeki MPa basınç gerilmesi.



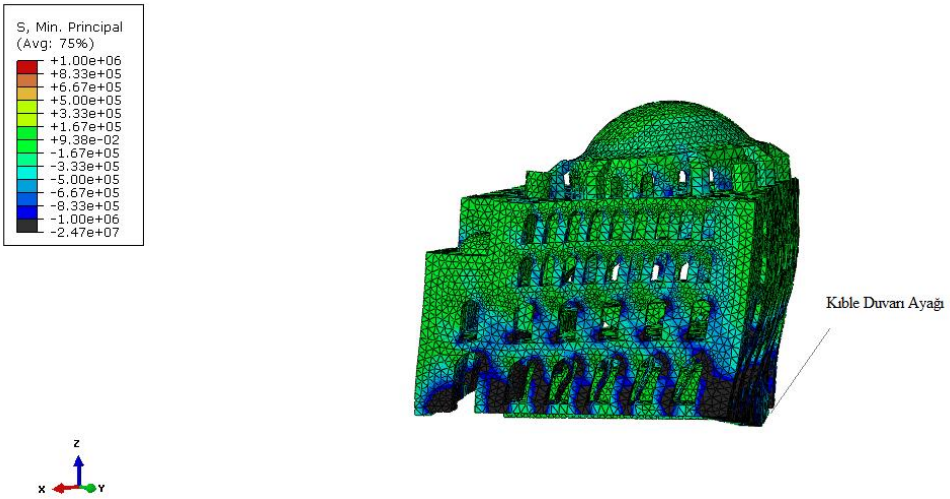
Şekil 5.42 : (G+EX) Giriş katında fil ayağında meydana gelen 3,78 MPa değerindeki basınç gerilmesi.



Şekil 5.43 : (G+EY45^0) Mahfil katındaki rijit fil ayağında meydana gelen 2,46 MPa değerindeki basınç gerilmesi.



Şekil 5.44 : (G+EY45^0) Kopan gerginin bulunduğu ana kemerde meydana gelen 1,65 Mpa değerindeki basınç gerilmesi.



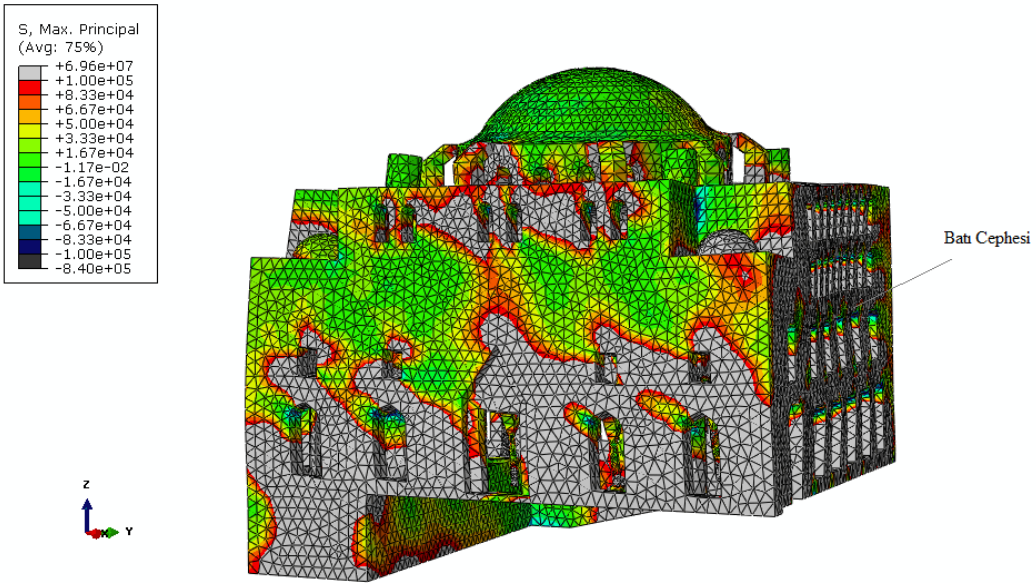
Şekil 5.45 : (G-EY45^0) Kıble duvarı ayaklarında meydana gelen 2,7 Mpa değerindeki basınç gerilmesi.

Aynı yöntemle kritik bölgeler için elde edilen çekme gerilmesi ve deplasman değerleri Çizelge 5.7'deki gibidir.

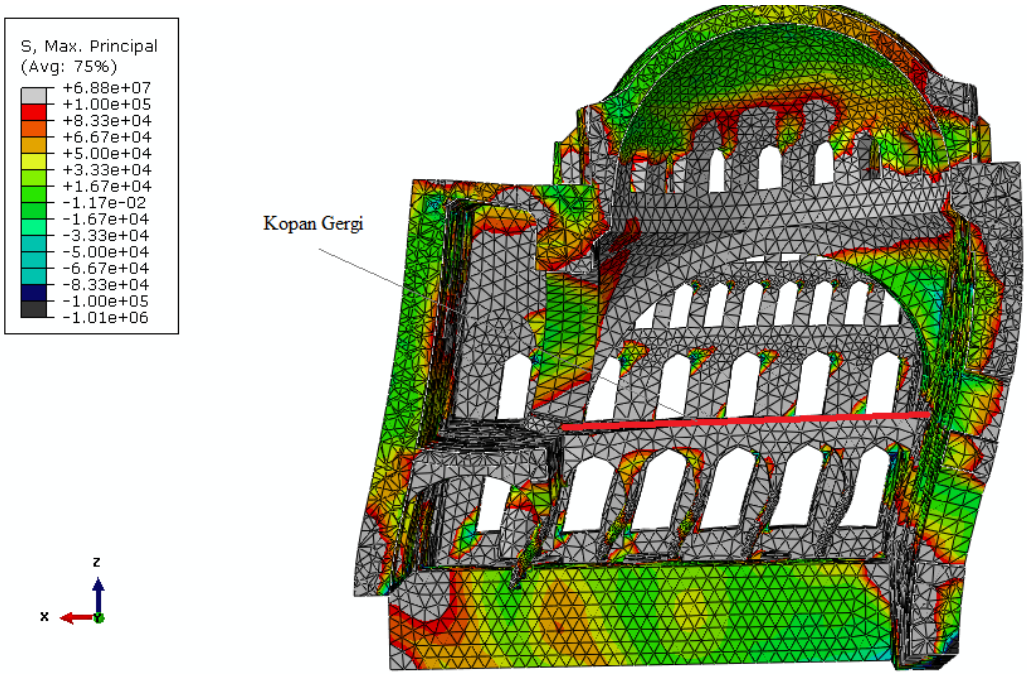
Çizelge 5.7: Gerilme ve deplasman değerlerini gösteren tablo.

YÜKLEME	Smax Çekme (Mpa)	Smax-Çekme (Mpa)	Deplasman (m)	Deplasman (m)
Xpozitif	0,60 (Kuzey Cephesi)	0,28 (Kopan Gergi Ana Kemeri)	0,011 (Kuzey Cephesi Üst Orta Nokta)	0,010 (Kopan Gergi Ana Kemeri)
Xnegatif	0,61 (Kıble Cephesi)	0,85	0,013 (Kıble Cephesi Üst Orta)	0,012
Ypozitif	0,60 (Batı Cephesi)	0,57	0,005 (Batı Cephesi Üst Orta Nokta)	0,0053
Ynegatif	0,25 (Kuzey Cephesi)	0,19	0,0074 (Doğu Cephesi Üst Orta Nokta)	0,0063
Xpozitif (^{0} (45))	1,44 (Batı Cephesi)	0,30	0,009 (Kubbe Cephesi Üst Orta Nokta)	0,0080
Xnegatif (^{0} (45))	0,79 (Kıble Cephesi)	0,45	0,010 (Kıble Cephesi Üst Orta Nokta)	0,008
Ypozitif (^{0} (45))	1,78 (Batı Cephesi)	0,63	0,010 (Kuzey Cephesi Üst Orta Nokta)	0,007
Ynegatif (^{0} (45))	0,67 (Kıble Cephesi)	0,66	0,001 (Kıble Cephesi Üst Orta)	0,01

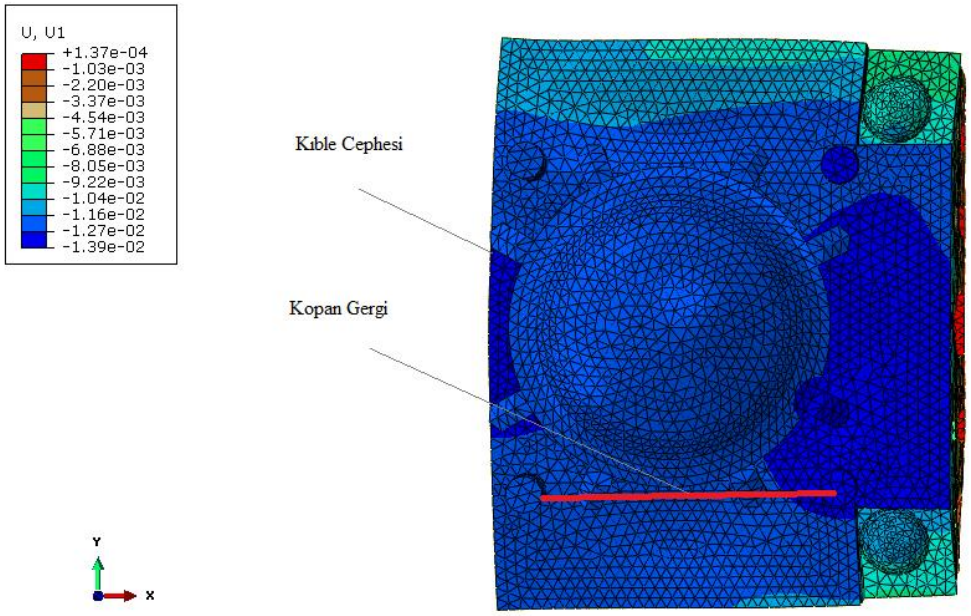
Çizelgede 5.7'deki çekme gerilmesi ve deplasman değerlerinin oluştuğu kritik bölgeler Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48 ve Şekil 5.49'da gösterilmektedir.



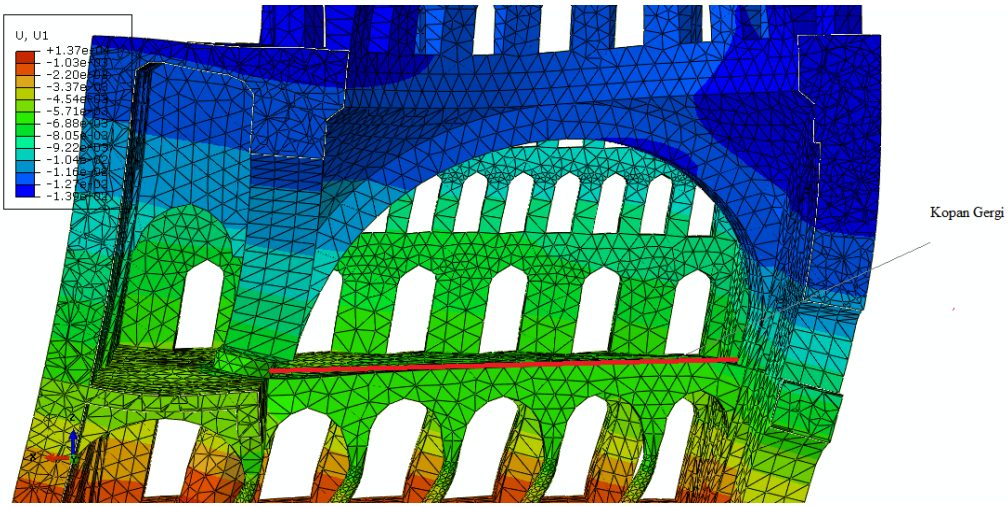
Şekil 5.46 : (G+EY45^0) Batı cephesinde meydana gelen 1,78 MPa değerindeki çekme gerilmesi.



Şekil 5.47 : (G-EX) Kopan gerginin bulunduğu ana kemerde meydana gelen 1,78 MPa değerindeki çekme gerilmesi.



Şekil 5.48 : (G-EX) Kıble duvarı tepe orta noktasında meydana gelen 0,0013m değerindeki yer değiştirme.



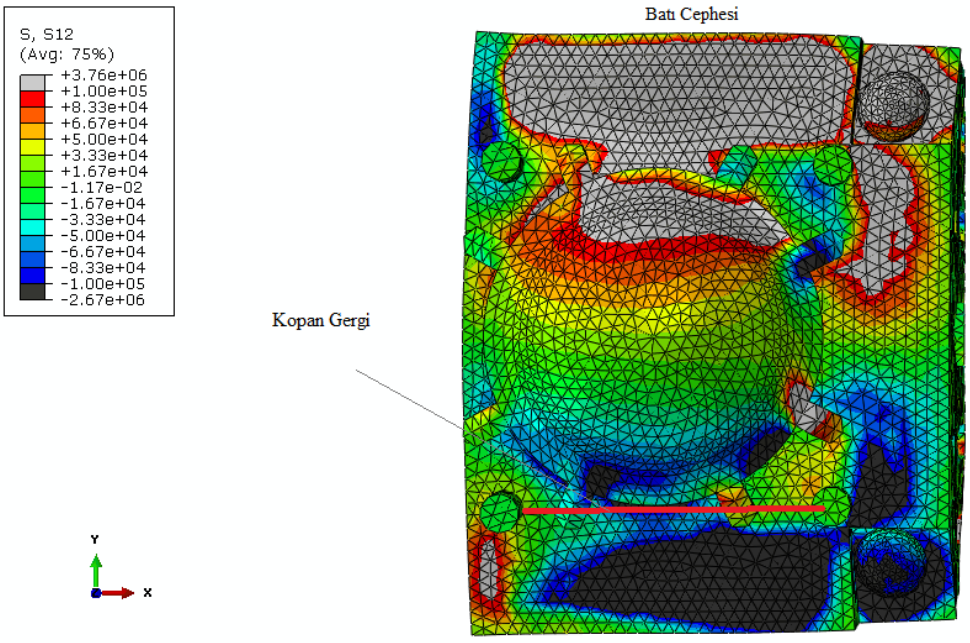
Şekil 5.49 : (G-EX) Kopan gerginin ana kemerinde meydana gelen 0,0012m değerindeki yer değiştirme.

Aynı yöntemle kritik bölgeler için elde edilen kayma gerilmesi değerleri Çizelge 5.8'deki gibidir.

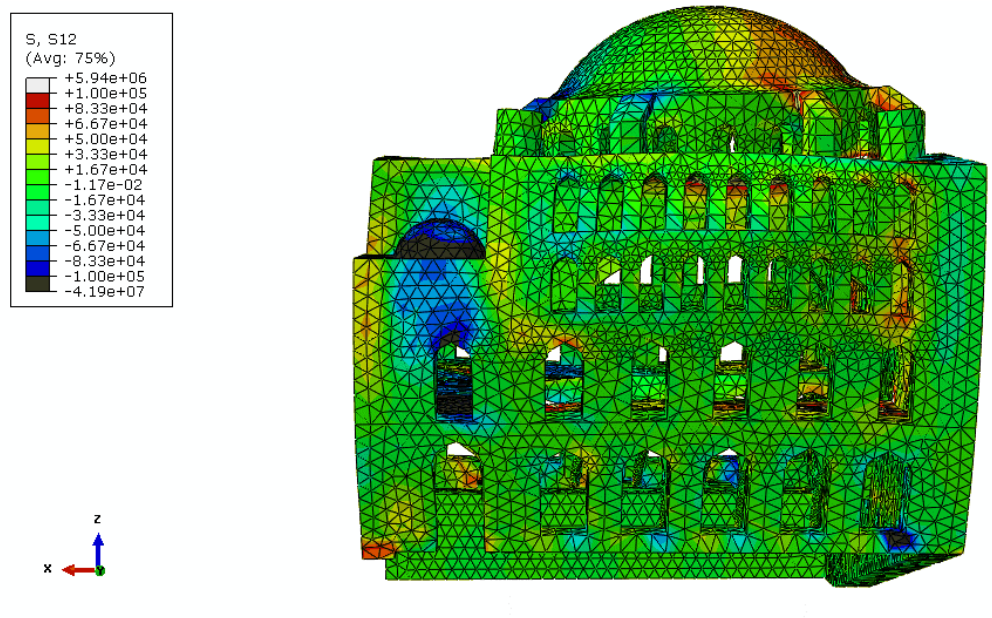
Çizelge 5.8: Kayma gerilme değerlerini gösteren tablo.

YÜKLEME	S12 (Mpa)	S12 (Mpa)	S12 (MPa)
Xpozitif	0,90 (Doğu Cephe Çatı)	0,060 (Güney Cephesi)	0,24 (Rijit fil ayağı, kırılan gergi yanı)
Xnegatif	1,03 (Batı Cephe Çatı)	0,13 (Doğu Cephesi)	0,084
Ypozitif	0,30 (Kuzey Cephe Çatı)	0,85 (Batı cephesi)	0,38
Ynegatif	0,20 (Batı Cephe Çatı)	0,12 (Doğu Cephe)	0,18
Xpozitif (45^0)	0,15 (Doğu Cephe Çatı)	0,30 (Batı Cephe)	0,080
Xnegatif (45^0)	0,15 (Kuzey Cephe Çatı)	0,28 (Batı Cephe)	0,018
Ypozitif (45^0)	0,17 (Batı Cephe Çatı)	0,26 (Doğu Cephe)	0,10
Ynegatif (45^0)	0,17 (Kuzey Cephe Çatı)	0,42 (Batı Cephe)	0,30

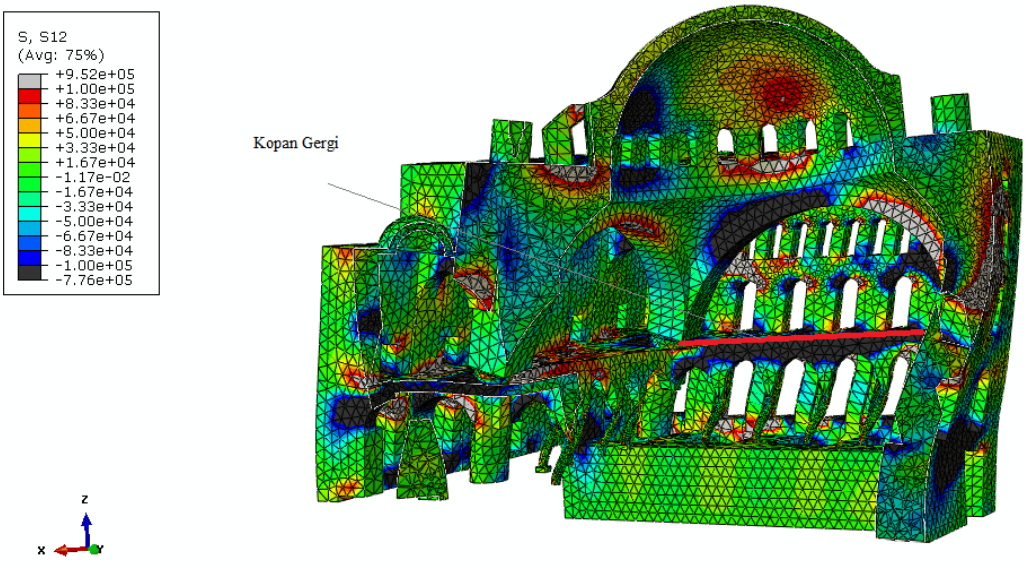
Çizelgede 5.8'deki çekme gerilmesi ve deplasman değerlerinin oluştuğu kritik bölgeler Şekil 5.50, Şekil 5.51 ve Şekil 5.52'de gösterilmektedir.



Şekil 5.50 : (G-EX) Batı cephesi çatıda meydana gelen 1,03 MPa değerindeki kayma gerilmesi.



Şekil 5.51 : (G+EY) Batı cephesi meydana gelen 0,85 MPa değerindeki kayma gerilmesi.



Şekil 5.52 : (G+EY) Kopan gerginin yanındaki rijit kolonda meydana gelen 0,30 MPa değerindeki kayma gerilmesi.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Detaylı bir arşiv çalışmasının ardından, çevresel titreşim testleri yapılan ve sonlu elemanlar modeli hazırlanan yapı ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

1- 1766 İstanbul Depremi sonrasında yapı hakkında bilgi bulunmamakla birlikte, 1894 İstanbul Depremi sonrasında yapının harap durumda olduğu bilgisine ulaşılmıştır. 1959 yılında yapıda tespit edilen hasarlar ile 1894 İstanbul Depremi'nin ilişkisi üzerine çalışma yapılmalıdır.

2- 1959 yılındaki raporda yapıda ana kemerlerden birinin 25 cm sehim yaptığı, aynı kemerin gerginin orta yerinden koptuğu ve 6 cm boşluk olduğu, kıble duvarının 13 cm deplasman yaptığı tespit edilmiştir. Kopan gerginin mesnetine ait tireşim modlarında ve sonlu elemanlar analizlerinde bu husus, kısmen de olsa tespit edilebilmektedir. Yapının lineer olmayan analizinin yapılarak ilgili hasarlar hakkında daha doğru sonuçlara ulaşılacaktır.

Kopan gergi ile ilgili olarak, caminin eğimli bir araziye oturması ve dolayısıyla gerginin bağlı olduğu fil ayaklarından birinin yapı içerisindeki en uzun fil ayağı olması sebebiyle bu fil ayağının rijitliğinin %40 daha az olduğu tespit edilmiştir. Rijitliği daha az olan fil ayağının deprem etkisi altında daha fazla yer değiştime yapması gergi üzerindeki çekme kuvvetini arttırarak kopmasına sebebiyet vermiş olabilir.

3- Çizelge 6.1'de yapının sonlu elemanlar modal analizinden bulunan frekans değerleri ile çevresel titreşim değerlerinin Artemis yazılımı kullanılarak elde edilen frekans değerleri karşılaştırılmıştır. Özellikle ilk modlarda değerler birbirine yakın gözükmektedir. Ancak çeveresel titreşim verilerinden bulunan frekans değerleri temel alınarak, yapının sonlu elemanlar modeli güncellenmelidir. Bu güncelleme sırasında kullanılan malzeme parametreleri gözden geçirilmelidir.

Çizelge 6.1: Frekans değerleri karşılaştırması.

Mod	Sonlu Elemanlar f (Hz)	Çevresel Titreşim Artemis f (Hz)	Hata Yüzdesi %
1	3,52	3,52	0,00
2	5,05	4,06	-19,00
3	6,46	5,58	-14,00
4	8,75	6,76	-23,00
5	9,21	10,18	10,00
6	9,84	15,51	58,00

4- Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak çözümü yapılan sonlu elemanlar modelinin basınç gerilmeleri incelendiğinde, kopan gerginin bağlığı olduğu fil ayağında; mahfil katında G+EY45^0 yüklemesinden meydaana gelen basınç gerilmesi 2,46 MPa, giriş katında ise G+EX yüklemesinden meydana basınç gerilmesinin ise 3,78 MPa civarında oluştuğu tespit edilmiştir. Yine kopan gergi üzerindeki ana kemerde ise G-EX yüklemesiyle 1,91 MPa'a civarında basınç gerilmesi oluşmaktadır. Aynı kemerde G-EX yüklemesinden meydana gelen çekme gerilmesi 0,85 MPa mertebesindedir

KAYNAKLAR

[1] **Küçükdoğan, B., Sevgili, G., Karaesmen, E.** (2007) Yapısal güçlendirme yoluyla korumacılık uygulamalarının aşamaları.

[2] **Çelen, Kuter** (2011) Evrensel İnan Mimar Sinan, Kastaş Yayınları.

[3] **Kortan, Enis** (1990) Sinan'ın eserlerinin kent bütünü içindeki rolleri ve kent estetiğine olan katkıları, Yapı Dergisi, 104, İstanbul.

[4] **Kuban, Doğan** (1967) Mimar Sinan ve Türk Mimarisi, *Mimarlık*, 49, İstanbul

[5] **Varol Aksoy, Zeynep** (2001) Klasik Osmanlı Dönemi Sinan Camilerinin Biçim Grameri Açısından İrdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] **Ahunbay, Zeynep** (1988) Mimar Sinan Yapılarında Kullanılan Yapım Teknikleri ve Malzeme. Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri, İstanbul.

[7] **Crane, H** (1987) Risale-i Mi'mariyye: An Early-Seventeeth-Century Ottoman Treatisevon Architecture, Supplements to Muqarnas, Volume I. Leiden and New York, E.J, Brill.

[8] **Arseven, C** (1994) Sanat Ansiklopedisi, 5 Cilt, M.E.B Yayını, İstanbul.

[9] **Çelebi, Sai** (1988) Tezkiret'ül Bünyan, Tezkiret'ül Ebniye, Tuhfet'ül Mimarin ve Adsız Risale, Süleymaniye Kütüphanesi, Hacı Mahmut Kitapları Yazma No: 4911. (16. yüzyıl Kopyası). Naklen, Zeki Sönmez, Mimar Sinan ile İlgili Tarihi Yazmalar Belgeler, M.S.Ü, İstanbul.

[10] **Akıncı, Şirin** (1998) İstanbul'un Fethinden Lale Devrine Kadar Osmanlı Kargir Mimarisinde Yapım Teknikleri 1453-1730, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[11] **Aksoy, İ. H.** (1976) Süleymaniye-Unkapanı- Yemiş Bölgesinin Geoteknik Etüdü ve Süleymaniye Camisi Temel İncelemesi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, Geoteknik Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi

[12] **Öz, T** (1962-1965) İstanbul Camileri, Cilt I, Ankara, Cilt II, İstanbul.

[13] **Egemen A,** (1993) İstanbul Çeşme ve Sebilleri,

[14] İstanbul. Sur Çevresi Kültürel Varlıkları Koruma Envanteri, (1987) İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[15] **Selanikli Mustafa Efendi**, Tarih-i Selaniki.

[16] **Peynircioğlu, H. Toğrol, E. Aksoy İ., H,** (1981) İstanbul'da Osmanlı Döneminde İnşa Edilen Camilerin Temelleri, I. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi

[17] **Ülgen, A.S** Yeni Camii, Vakıflar Dergisi, Sayı 2.

[18] **Kuban, Doğan** (1981) Notes on Building Technology of the 18th Century Istanbul, According to 'Tarih-i Camii Şerif-i Nur-u Osmani' (18. yüzyılda Osmanlı Yapı Tarihi Üzerine Notlar 'Tarih-i Camii Şerif-i Nur-u Osmani'ye göre Osmaniye Cami'nin Yapımı) I. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, Cilt V.

[19] **Kuban, Doğan** (1992) Mimarlık Kavramları, YEM Yayınları, İstanbul.

[20] **Şimşek, Hüseyin** (2010) Erken Osmanlı Mimarisinde Kubbeye Geçiş Sistemlerinden Üçgenler Kuşağı, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat Tarihi Anabilim Dalı Genel Sanat Tarihi Bilim Dalı, Van.

[21] **Mainstone, R.J** (1972) Developments in Sturacturals Form, Londra.

[22] **Rosintal, Josef** (1928) Pendantifs, Trompes et Stalactites, Paris.

[23] **Tuncer, Orhan Cezmi** (1980) Anadolu Selçuklu Yapılarında Açıklıkların Örtülmesi ve Sorunları, Hacettepe Üniversitesi Sosyal ve İdari Bilimler Fakültesi, Beşeri Bilimler Dergisi, Özel Sayı, Ankara.

[24] **Ögel, Semra** Osmanlı Camilerinde Kubbe Teşekkülü, Yapı Dergisi 58.

[25] **Yerasimos, Stephane** (1988) Sinan and His Patrons' Programme and Location, Enviromental Design: Mimar Sinan The Urban Vision, Carucci Editore, Roma.

[26] **Macaulay, D** (2003). Mosque, Houghton Mifflin Company, Boston.

[27] **Batur, Atife** (1974) Osmanlı Camilerinde Kemer- Strüktür- Biçim İlişkisi Üzerine Bir Deneme (1300-1730), İstanbul.

[28] **Kuban, Doğan** (1968) An Ottoman Building Complex Of Sixteenth Century: The Sokollu Mosque and its Dependencies in İstanbul, Ars Orientalis, VII.

[29] **Kuban, Doğan** (1973) Mimarlık Kavramları, İTÜ Matbaası, İstanbul.

[30] **Gönülal, Özand** (1997) Erken Osmanlı Döneminde Edilen Çok İşlevli CamilerdeKubbeye GeçiÇ Elemanları, Ankara.

[31] **Hasol, Doğan** (1988) Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, İstanbul.

[32] **Özcan, Ayşe** (2008)14. ve 15. Yüzyıl Bursa Cami ve Mescitlerinde Kubbeye GeçiÇ Elemanları, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

[33] **Ersen A, Güleç A** (1991) Geleneksel Harçlar Konusunda Bir Araştırma 'Tahtakale Hamamı', Taç Vakfı Yıllığı I., İstanbul.

[34] **Akman S. M** (1986) The History and Properties of Khorosan Mortar and Concrete, II. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İstanbul.

[35] **Gurlitt, Cornelius** (1907) Die Baukunst Konstantinopoles

[36] **Nayır, Z.** (1975) Osmanlı Mimarlığında Sultan Ahmet Külliyesi ve Sonrası (1609-1690) İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[37] **Merey L**., Osmanlı Mimarisinde Kurşun Kaplama Tekniği, Teksir Ders Notu

[38] **Yücel Y** (1992) Es'ar Defteri (1640 tarihli) Osmanlı Ekonomi Kültür-Uygarlık Tarihine Dair Bir Kaynak, Ankara.

[39] **Tanyeli, G** (1990) Osmanlı Mimarlığında Demirin Strüktürel Kullanımı (15-18. yüzyıl) İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[40] **Ahmet Efendi** (1916-1918) Tarih-i Cami-i Şerif-i Nur-u Osmani Dersaadet (İstanbul) 1335-37, Tarih-i Osmani Encümeni Mecmuası İlavesi

[41] **Barkan,Ö.L** (1979) Süleymaniye Camii ve İmareti İnşaatı (1556-1557) Cilt 2, T.T.K.B, Ankara.

[42] **Kuban, Doğan** (1970) 100 Soruda Türkiye Sanat Tarihi, Gerçek Yayınevi, İstanbul.

[43] **Ülgen, Aygün** (1996) Klasik Devir Osmanlı Minareleri: Osmanlı Cami Planında Minarenin Konumu, Alfa Yayınları, İstanbul.

[45] **Naunman, R.** (1985) Eski Anadolu Mimarlığı, Çev. B. Madra, T.T.K.B, Ankara.

[47] **Url-1** <*www.istanbuldakicamiler.com*>, erişim tarihi 02.02.2015.

[48] **Satongar, Ş**., (1994) İstanbul şehir surları horasan harçları üzerine bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[49] **Özen, G.Ö.,** (2006) Comparison of elastic and inelastic behavior of historic masonry structures at the low load levels, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ, Ankara.

[50] **Dabanlı, Ö.,** (2008), Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, İstanbul.

[51] **Yılmaz, P**., (2006) Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

[52] **Saraç, M.M.**, (2003) Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.

[53] **Çamlıbel, N.,** (1998) Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, Doçentlik Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[54] **Koçak, A**., (1999)Tarihi yığma yapıların statik ve dinamik yükler altında lineer ve non-lineer analizi: Küçük Ayasofya Camii Örneği, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[55] **Barkan,Ö.L,** (1972) Süleymaniye Camii ve İmareti İnşaatı (1556-1557), Cilt 1, T.T.K.B,Ankara.

[56] **Erguvanlı, K., Sayar, M**. Türkiye Mermerleri ve Yapı Taşları, Ders Notları

[57] **Arıoğlu**, **N., Tuğrul, A., Zarif, İ.H., Girgin, Z.C., Arıoğlu, E**., (1999) Küfeki taşının dayanıklılık analizi: Şehzade Camisi örneği - 1, *Yapı Dergisi*, Sayı:214, İstanbul.

[58] **Kaya, S.M**., (1999) Determination of the earthquake performance of Suleymaniye Mosque, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi,İstanbul.

[59] **Arıoğlu,N., Arıoğlu, E.** Mimar Sinan'ın Seçtiği Taş: Küfeki ve Çekme Dayanımı, İ.T.Ü, İstanbul.

[60] **Şeker, B.Ş.,** (2011) Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

[61] **Çelebi, Cafer,** Risale-i Mimari'ye, Topkapı Sarayı Müzesi Kütüphanesi, Yeni Yazmalar, No:339

[62] **Karamanoğlu,Ç.** (1986) Tur-i Sina Kompleksi Restorasyon Projesi İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

[63] **Nayır, Z.** (1975) Osmanlı Mimarlığında Sultan Ahmet Külliyesi ve Sonrası (1609-1690) İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[64] **TS704 harman tuğlası (duvarlar için)**, (1979)

[65] **Bayraktar, A.,** (2006) Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi Ve Sismik Güçlendirme Metotları, Beta Yayınları, İstanbul.

[66]**Kara, H. G.,** (2009) Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi,İ.T.Ü, İstanbul.

[67] **Lourenço, P.B.,** (2000) Current experımental and numerical ıssues in masonry research, Universidade do Minho, Portugal.

[68] **Ünay, A.İ.,** (2002)Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara

[69] **Bayülke , N.,** (1992) Yığma Yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı- Afet İşleri

[70] **Bağbancı, M.B.** (2009) Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin Bursa Ördekli Hamamı Örneğinde İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

[71] **Fahjan, Y.** (2008) Sonlu Elemanlar Yönetimi 1. Genel Kavramlar, İnşaat Mühendisleri Odası, Gebze.

[72] **Yılmaz, P.** (2006) Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstititüsü, Sakarya.

[73] **Giardano A., Mele, E., Luca, D. A.,** (2002) "Modelling of Historical Masonry Structures: Comparison of Different Approaches Through a Case Study", İtalya.

[74] **Nath, B.,** (1993) "Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri, Çeviren: GÜNAY, D., Sakarya Üniversitesi.

[75] **Hutton, D.V**., (2004) Fundementals of The Finite Element Analysis, The McGraw Hill Companies, London.

[76] **Özer, E.** (2011) Yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi: Ders notları, İstanbul Teknik Üniversitesi

[77] **McGuire, W., Gallagher, R.H. and Ziemian, R.D,** (2000) Matrix structural analysis 2nd edition, John Wiley.

[77] **Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A.C, Türker, T**. (2007) Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Güvenliklerinin Operasyonal Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ankara.

[78] **Petyt, M.,** (1990) Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Pres, Cambridge.

[79] **Peeters, B.** (2000) System Identification and Damage Detection in Civil Engineering, PhD thesis, K.U Leuven, Belgium.

[80] **Brincker, R., Zhang, L., Andersen, P.** (2003) Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition, Proceedings 18th International Modal Analysis, 625-630, San Antonio, Texas, USA.

[81] **Ren, W. –X., Zhao, T., Harik, I.E.** (2004) Experimental and Analytical Modal Analysis of Steel Arch Bridge, Journal of Structural Engineering, ASCE, 130, 7, 1022-1031.

[82] Veri Toplamanın ABC'si, Teknik Not, Teknik Destek Grubu.

[83] **Beyen, K., Kutanis, M., Tanöz, H.Ö.,Başkan, D**. (2011), Yapı Sağlığı İzleme ve Yapı Tanı Çalışmaları İçin Akıllı Aktarma Protokollü Kablosuz Sensör Ağı, Yedinci Uluslararası Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

[84] **Özçelik, Ö., Mısır İ.S, Yücel, U.,** (2013) Model Bir Yapının Hasar Tanımlaması ve Model-Sarsıcı Etkileşiminin Azaltılması İçin Kullanılan Offline İterasyon Tekniği

[85] **Farrar, C., James, G.H. III**., (1997), System Identification From Ambient Vibraiton Measurments On a Bridge, Journal of Sound and Vibration 205:1, 1-8

[86] **Bendat, J.S., Piersol, A.G.** (1993). Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis (2), John Wiley&Sons, USA.

[87] **Url-2** <*http://www.testart.com.tr/U451,14,e-quake-acc-2x-ultra-hassas-sismik-ivme- kayit-cihazi-yapisal-saglik-takibi-oper-modal-anali-e-quake.htm*>, erişim tarihi 18.11.2015.

[88] **Kuran, Aptullah** (1986). Mimar Sinan, Hürriyet Vakfı Yayınları, İstanbul.

[89] **Günay,Reha** (2002). Mimar Sinan ve Eserleri, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.

[90] **Necıpoğlu, Gülru** (2005) The Age Of Sinan, Princeton University Press.4

[91] **Tanışık, İbrahim** (1943) İstanbul Çeşmeleri, T.C Maarif Vekilliği, Antikite ve Müzeler Müdürlüğü Yayınları, seri II. Sayı 3.

[92] **Gabriel, Albert** (1926) Les Mosquées De Constantinople Syria, Paris.

[93] **Ethem, Halil** (1933) Camilerimiz, İstanbul.

[94] **Egli, Ernst** (1954) Sinan Der Baumeister Osmanischer Glanzzeit, Zürich.

[95] **Kuban, Doğan** (1958) Osmanlı Dini Mimarisinde İç Mekan Teşekkülü, İTÜ, İstanbul.

[96] **Goodwin, Godfrey** (1971) A history of Ottoman architecture Thames&Hudson, London.

[97] **Vakıflar Genel Müdürlüğü** (2011) Zal Mahmut Paşa Külliyesi Tespit Raporu

[98] **Cansever, Turgut** (2005) Mimar Sinan, Albaraka Türk Yayınları, İstanbul

[99] **Çılı, F., Çelik, O.C, Sesigür, H.,** (2008) Zal Mahmut Paşa Külliyesi Röleve-Restitüsyon-Restorasyon Projesi Taşıyıcı Sistem Mevcut Durumu, Onarım ve Geüçlendiirme Önerileri Hakkında Teknik Rapor , İstanbul Teknik Üniversitesi

[100] **Mazlum, Deniz** (2011) 1766 İstanbul Depremi Belgeler Işığında Yapım Onarım Çalışmaları, İstanbul Araştırmaları Enstitüsü.

[101] **Ambraseys, N.N, Finkel, C.F** (1995) The Seismicity of Turkey and Adajent Areas: A Historical Review 1500-1800, İstanbul.

[102] **Ambraseys, N.N, Finkel, C.F** (1991) Long Term Seismicity of Istanbul and Marmara Sea Region, Terra Nova, Oxford.

[103] **Aktepe, M.M** (1978) Şem'dânî-zâden Fındıklılı Süleyman Efendi Târihi: Mür'i'it Tevârih, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları İstanbul.

[104] **Mehmed, Hâkim** Vekayi'nâme, Topkapı Sarayı Müzesi Kitaplığı

[105] **Danişmend, İ. H.** (1961) İzahlı Osmanlı Tarihi Kronolojisi, İstanbul.

[106] Başbakanlık Osmanli Arşivi Cevdet Tasnifi Evkaf 7402

[107] **Pamukciyan, Kevork** (2002) "Sarkis Sarraf–Hovhannesyan'a Göre İstanbul'un 1766 Büyük Depremi", İstanbul Yazıları (Ermeni Kaynaklarından Tarihe Katkılar, c.I), Aras Yayıncılık, İstanbul

[108] **Öztin, Feriha** (1994) 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi Raporu, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi.

[109] (1894, 11-15 Temmuz). Sabah Gazetesi.

[110] **Çalık, Sıkkdık** 1894 Yılında İstanbul'da Meydana Gelen Büyük Depreme Ait Anonim Bir Günlük, Üsküdar Belediye Başkanlığı Basın Yayın Halkla İlişkiler Müdürlüğü Yayın No: 11

[111] **Kuran, Aptullah** (1973) Boğaziçi Üniversitesi Dergisi Hümaniter Bilimler Vol-1, İstanbul.

[112] İstanbul Arkeoloji Müzesi Arşivi

[113] T.C Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi

[114] T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü İstanbul 2 Numaralı Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Müdürlüğü Arşivi

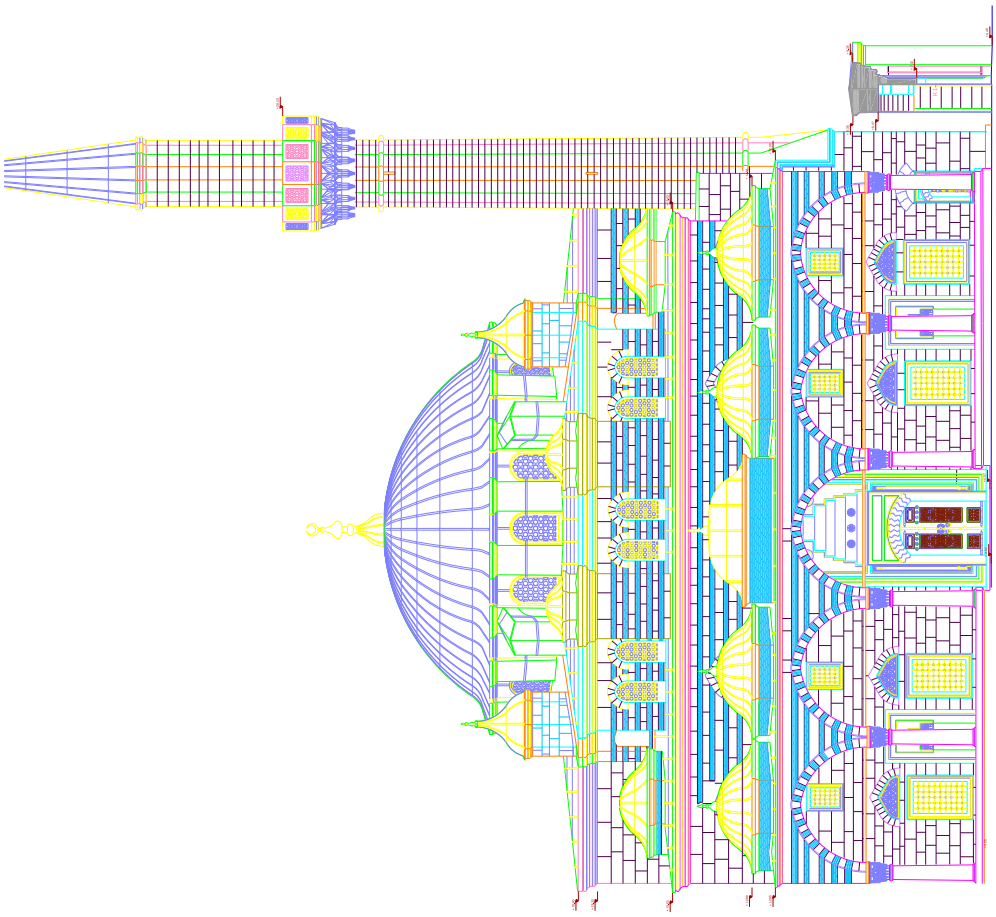
[115] **Güneş, B.,** (2015) Ambient Vibration Tests on Masonry Structures, İstanbul'daki Tarihi Yapılarda Afet Riskinin Azaltılmasına Yönelik İzleme, Değerlendirme ve Güçlendirme İçin Pilot Çalışmalar Çalıştayı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstabul.

[116] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)

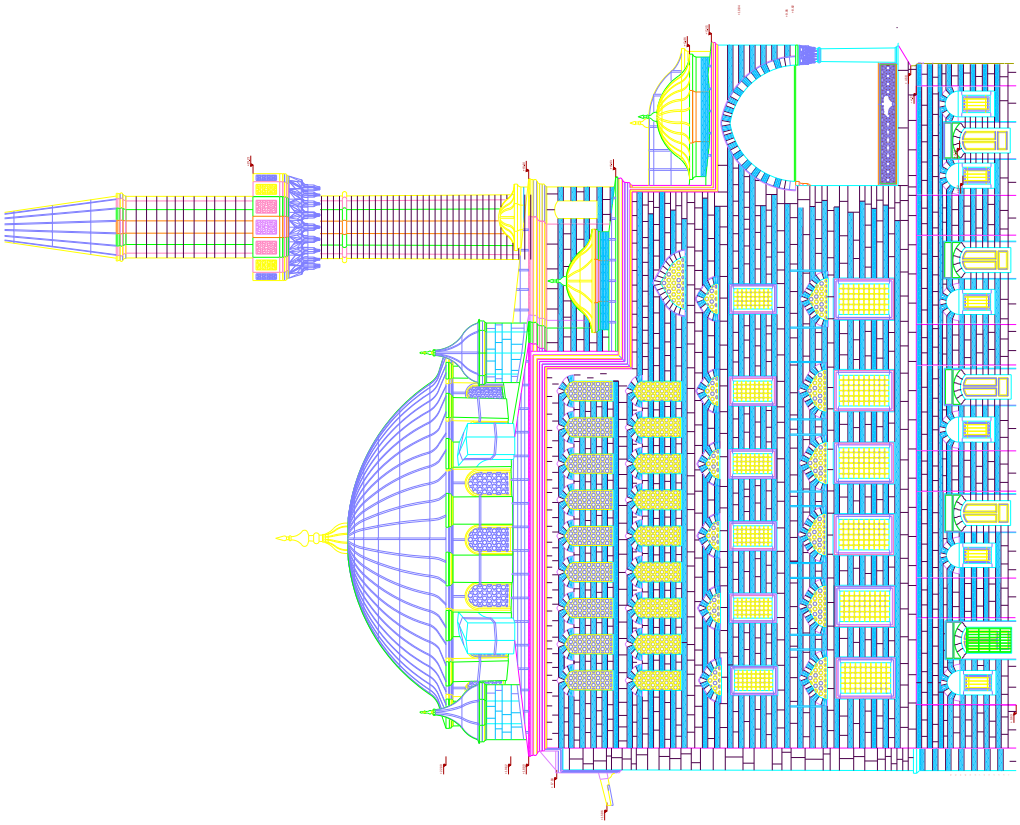
EKLER

EK A: Zal Mahmut Paşa Camii Rölöve Çizimleri
EK B: T.C Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü ve T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul 2 Numaralı Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü Zal Mahmut Paşa Camii Arşiv Belgeleri

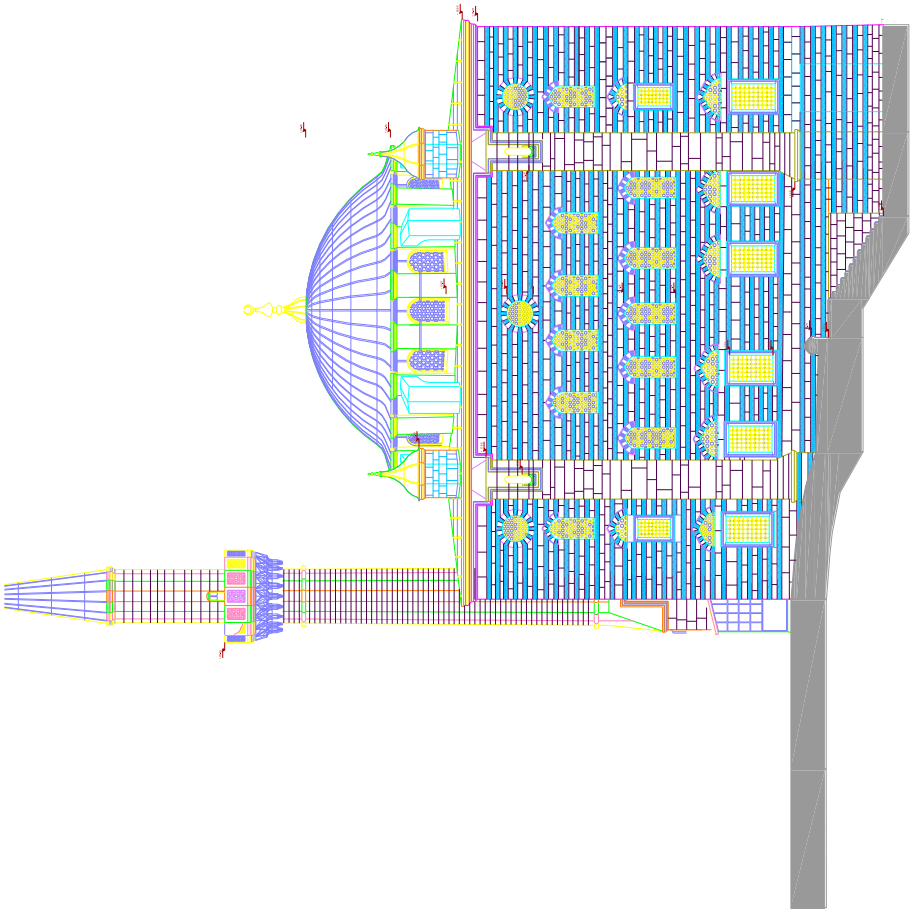
EK A



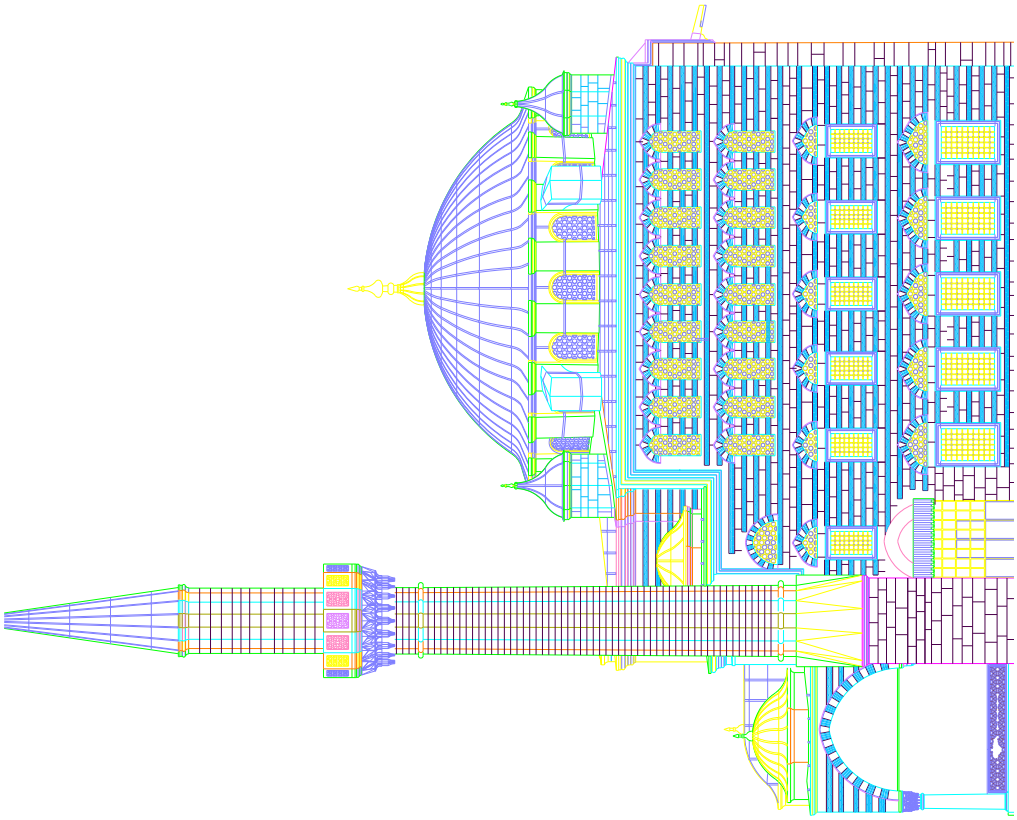
Şekil A.1 : Zal Mahmut Paşa Camii, kuzey cephesi rölevesi.



Şekil A.2 : Zal Mahmut Paşa Camii, doğu cephesi rölevesi.

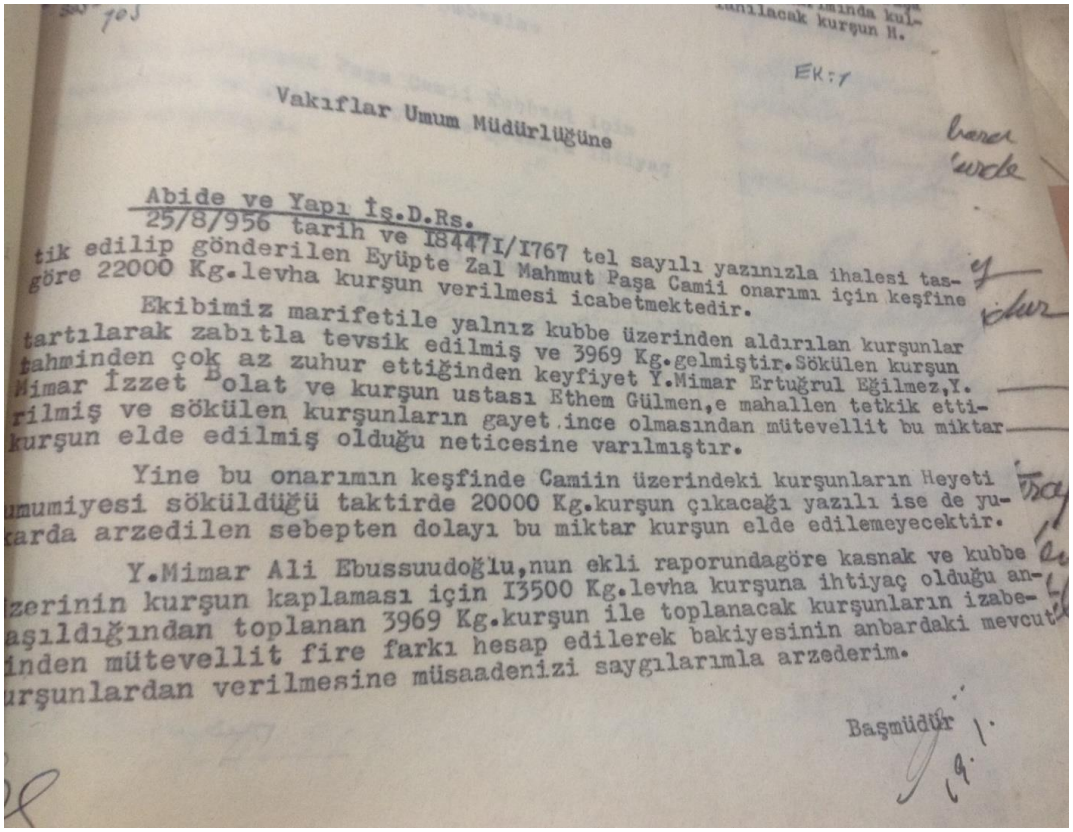


Şekil A.3 : Zal Mahmut Paşa Camii, güney cephesi rölevesi.



Şekil A.4 : Zal Mahmut Paşa Camii, batı cephesi rölevesi.

EK B



Vakıflar Umum Müdürlüğüne

Abide ve Yapı İş.D.Rs.
25/8/956 tarih ve 18447I/I767 tel sayılı yazınızla ihalesi tas-
tik edilip gönderilen Eyüpte Zal Mahmut Paşa Camii onarımı için keşfine
göre 22000 Kg.levha kurşun verilmesi icabetmektedir.

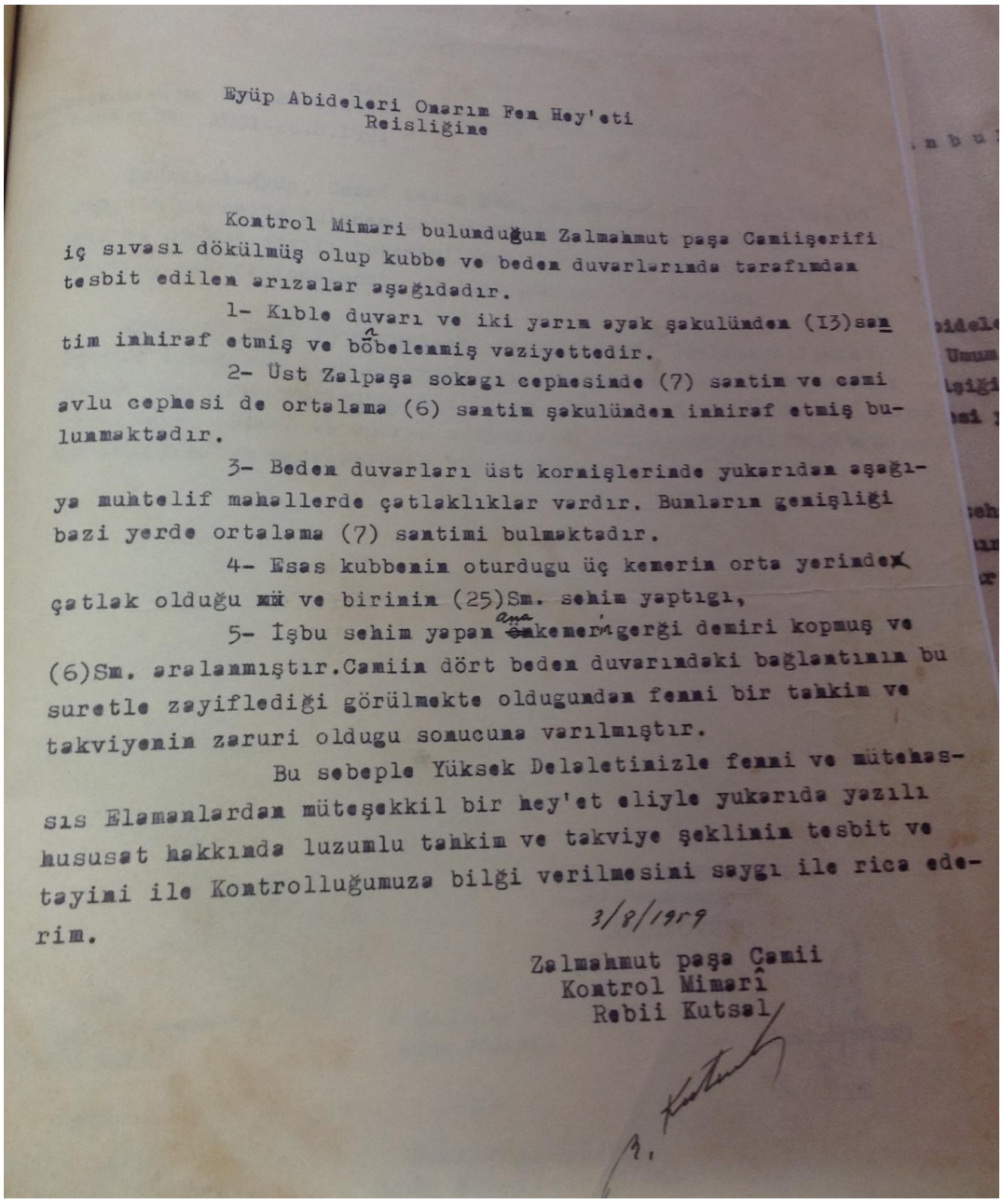
Ekibimiz marifetile yalnız kubbe üzerinden aldırılan kurşunlar
tartılarak zabıtla tevsik edilmiş ve 3969 Kg.gelmiştir.Sökülen kurşun
tahminden çok az zuhur ettiğinden keyfiyet Y.Mimar Ertuğrul Eğilmez,Y.
Mimar İzzet Bolat ve kurşun ustası Ethem Gülmen,e mahallen tetkik etti-
rilmiş ve sökülen kurşunların gayet ince olmasından mütevellit bu miktar
kurşun elde edilmiş olduğu neticesine varılmıştır.

Yine bu onarımın keşfinde Camiin üzerindeki kurşunların Heyeti
umumiyesi söküldüğü taktirde 20000 Kg.kurşun çıkacağı yazılı ise de yu-
karda arzedilen sebepten dolayı bu miktar kurşun elde edilemeyecektir.

Y.Mimar Ali Ebussuudoğlu,nun ekli raporundagöre kasnak ve kubbe
üzerinin kurşun kaplaması için I3500 Kg.levha kurşuna ihtiyaç olduğu an-
laşıldığından toplanan 3969 Kg.kurşun ile toplanacak kurşunların izabe-
sinden mütevellit fire farkı hesap edilerek bakiyesinin anbardaki mevcut
kurşunlardan verilmesine müsaadenizi saygılarımla arzederim.

Başmüdür

Şekil B.1 : Zal Mahmut Paşa Camii, Kubbe üzerindeki kurşun kaplaması ile ilgili yazı (1956) [113].



Eyüp Abideleri Onarım Fen Hey'eti
Reisliğine

Kontrol Mimari bulunduğum Zalmahmut paşa Camiişerifi iç sıvası dökülmüş olup kubbe ve beden duvarlarında tarafımdan tesbit edilen arızalar aşağıdadır.

1- Kıble duvarı ve iki yarım ayak şakulünden (13)santim inhiraf etmiş ve böbelenmiş vaziyettedir.

2- Üst Zalpaşa sokağı cephesinde (7) santim ve cami avlu cephesi de ortalama (6) santim şakulünden inhiraf etmiş bulunmaktadır.

3- Beden duvarları üst kornişlerinde yukarıdan aşağıya muhtelif mahallerde çatlaklıklar vardır. Bunların genişliği bazi yerde ortalama (7) santimi bulmaktadır.

4- Esas kubbenin oturduğu üç kemerin orta yerinde çatlak olduğu ve birinin (25)Sm. sehim yaptığı,

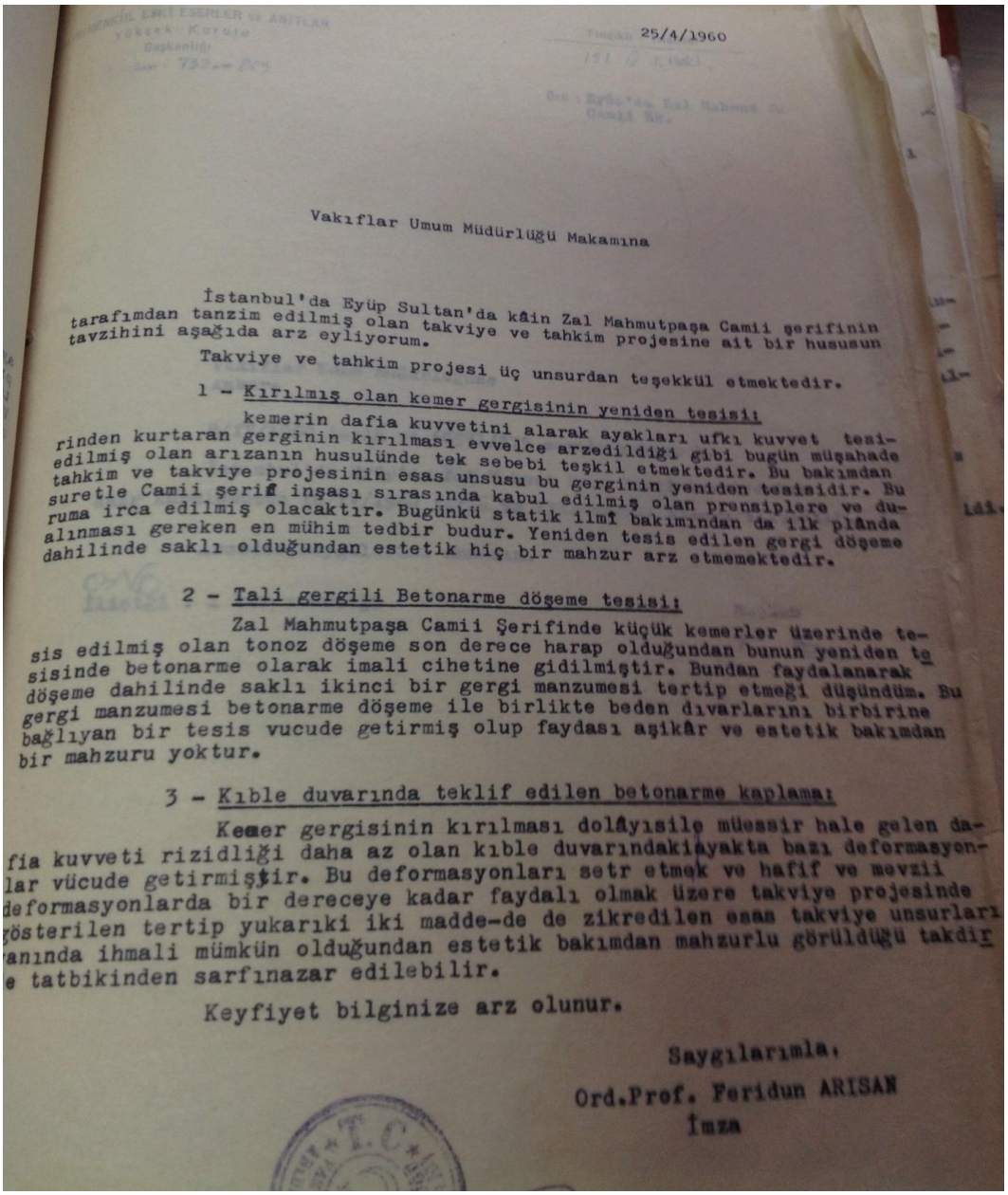
5- İşbu sehim yapan ana kemer gerği demiri kopmuş ve (6)Sm. aralanmıştır.Camiin dört beden duvarındaki bağlantının bu suretle zayiflediği görülmekte olduğundan fenni bir tahkim ve takviyenin zaruri olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu sebeple Yüksek Delaletimizle fenni ve mütehassıs Elemanlardan müteşekkil bir hey'et eliyle yukarıda yazılı hususat hakkında luzumlu tahkim ve takviye şeklinin tesbit ve tayini ile Kontrolluğumuza bilgi verilmesini saygı ile rica ederim.

3/8/1959

Zalmahmut paşa Camii
Kontrol Mimarî
Rebii Kutsal

Şekil B.2 : Zal Mahmut Paşa Camii, hasar tespit yazısı (1959) [114].



25/4/1960

Vakıflar Umum Müdürlüğü Makamına

İstanbul'da Eyüp Sultan'da kâin Zal Mahmutpaşa Camii şerifinin tarafımdan tanzim edilmiş olan takviye ve tahkim projesine ait bir hususun tavzihini aşağıda arz eyliyorum.

Takviye ve tahkim projesi üç unsurdan teşekkül etmektedir.

1 - Kırılmış olan kemer gergisinin yeniden tesisi:

kemerin dafia kuvvetini alarak ayakları ufkı kuvvet tesi- rinden kurtaran gerginin kırılması evvelce arzedildiği gibi bugün müşahade edilmiş olan arızanın husulünde tek sebebi teşkil etmektedir. Bu bakımdan tahkim ve takviye projesinin esas unsusu bu gerginin yeniden tesisidir. Bu suretle Camii şerif inşası sırasında kabul edilmiş olan prensiplere ve du- ruma irca edilmiş olacaktır. Bugünkü statik ilmî bakımından da ilk plânda alınması gereken en mühim tedbir budur. Yeniden tesis edilen gergi döşeme dahilinde saklı olduğundan estetik hiç bir mahzur arz etmemektedir.

2 - Tali gergili Betonarme döşeme tesisi:

Zal Mahmutpaşa Camii Şerifinde küçük kemerler üzerinde te- sis edilmiş olan tonoz döşeme son derece harap olduğundan bunun yeniden te sisinde betonarme olarak imali cihetine gidilmiştir. Bundan faydalanarak döşeme dahilinde saklı ikinci bir gergi manzumesi tertip etmeği düşündüm. Bu gergi manzumesi betonarme döşeme ile birlikte beden dıvarlarını birbirine bağlıyan bir tesis vucude getirmiş olup faydası aşikâr ve estetik bakımdan bir mahzuru yoktur.

3 - Kıble duvarında teklif edilen betonarme kaplama:

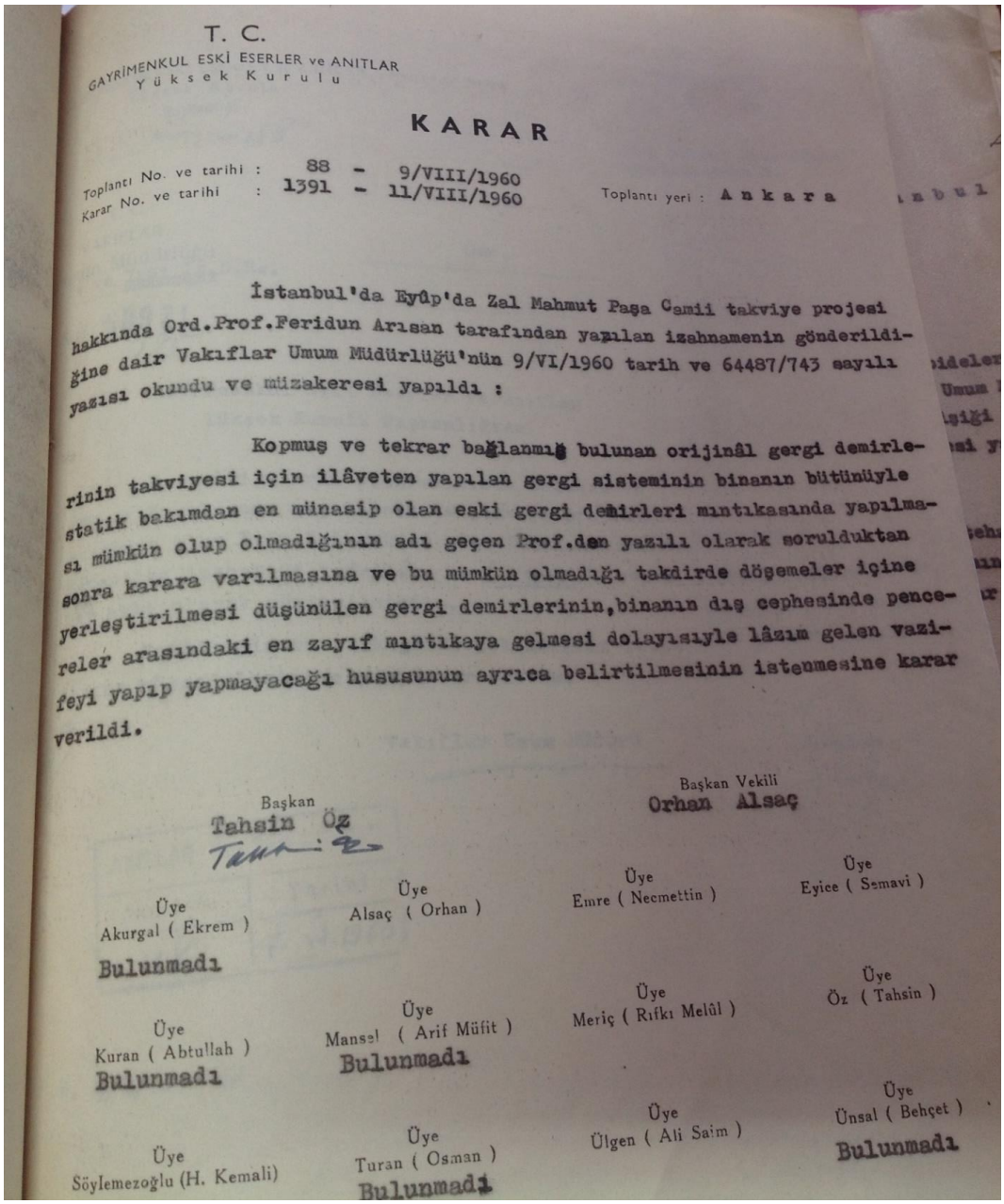
Kemer gergisinin kırılması dolâyısile müessir hale gelen da- fia kuvveti rizidliği daha az olan kıble duvarındakiayakta bazı deformasyon- lar vücude getirmiştir. Bu deformasyonları setr etmek ve hafif ve mevzii deformasyonlarda bir dereceye kadar faydalı olmak üzere takviye projesinde gösterilen tertip yukarıki iki madde-de de zikredilen esas takviye unsurları yanında ihmali mümkün olduğundan estetik bakımdan mahzurlu görüldüğü takdir e tatbikinden sarfınazar edilebilir.

Keyfiyet bilginize arz olunur.

Saygılarımla,

Ord.Prof. Feridun ARISAN
İmza

Şekil B.3 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye ve tahkim projesi yazısı (1960) [114].



T. C.
GAYRİMENKUL ESKİ ESERLER ve ANITLAR
Yüksek Kurulu

KARAR

Toplantı No. ve tarihi : 88 - 9/VIII/1960
Karar No. ve tarihi : 1391 - 11/VIII/1960 Toplantı yeri : Ankara

İstanbul'da Eyüp'da Zal Mahmut Paşa Camii takviye projesi hakkında Ord.Prof.Feridun Arısan tarafından yapılan izahnamenin gönderildiğine dair Vakıflar Umum Müdürlüğü'nün 9/VI/1960 tarih ve 64487/743 sayılı yazısı okundu ve müzakeresi yapıldı :

Kopmuş ve tekrar bağlanmış bulunan orijinâl gergi demirlerinin takviyesi için ilâveten yapılan gergi sisteminin binanın bütünüyle statik bakımdan en münasip olan eski gergi demirleri mıntıkasında yapılması mümkün olup olmadığının adı geçen Prof.den yazılı olarak sorulduktan sonra karara varılmasına ve bu mümkün olmadığı takdirde döşemeler içine yerleştirilmesi düşünülen gergi demirlerinin,binanın dış cephesinde pencereler arasındaki en zayıf mıntıkaya gelmesi dolayısıyle lâzım gelen vazifeyi yapıp yapmayacağı hususunun ayrıca belirtilmesinin istenmesine karar verildi.

Başkan
Tahsin Öz

Başkan Vekili
Orhan Alsaç

Üye
Akurgal (Ekrem)
Bulunmadı

Üye
Alsaç (Orhan)

Üye
Emre (Necmettin)

Üye
Eyice (Semavi)

Üye
Kuran (Abtullah)
Bulunmadı

Üye
Mansel (Arif Müfit)
Bulunmadı

Üye
Meriç (Rıfkı Melûl)

Üye
Öz (Tahsin)

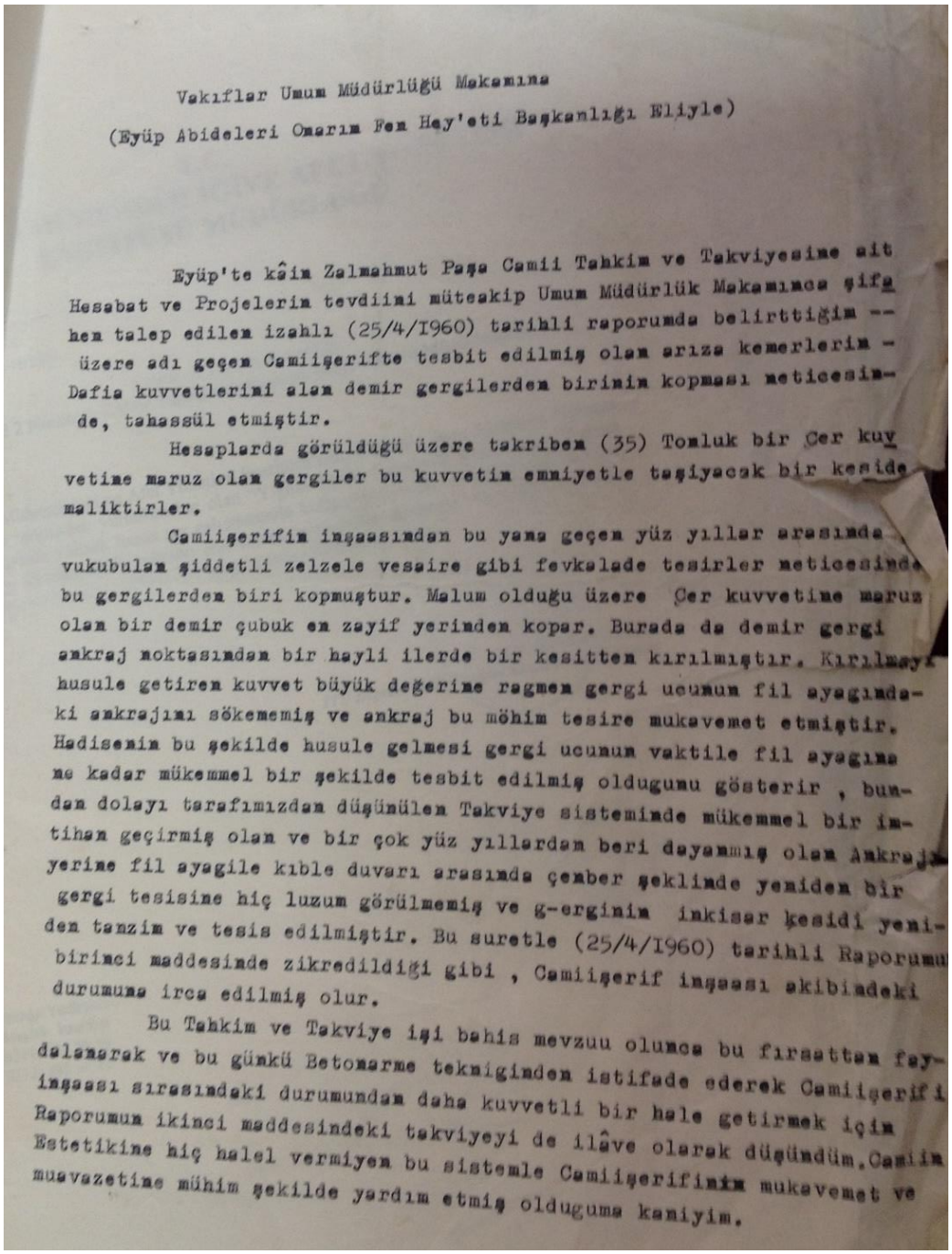
Üye
Söylemezoğlu (H. Kemali)

Üye
Turan (Osman)
Bulunmadı

Üye
Ülgen (Ali Saim)

Üye
Ünsal (Behçet)
Bulunmadı

Şekil B.4 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye ile ilgili karar yazısı (1960) [114].



Vakıflar Umum Müdürlüğü Makamına

(Eyüp Abideleri Onarım Fen Hey'eti Başkanlığı Eliyle)

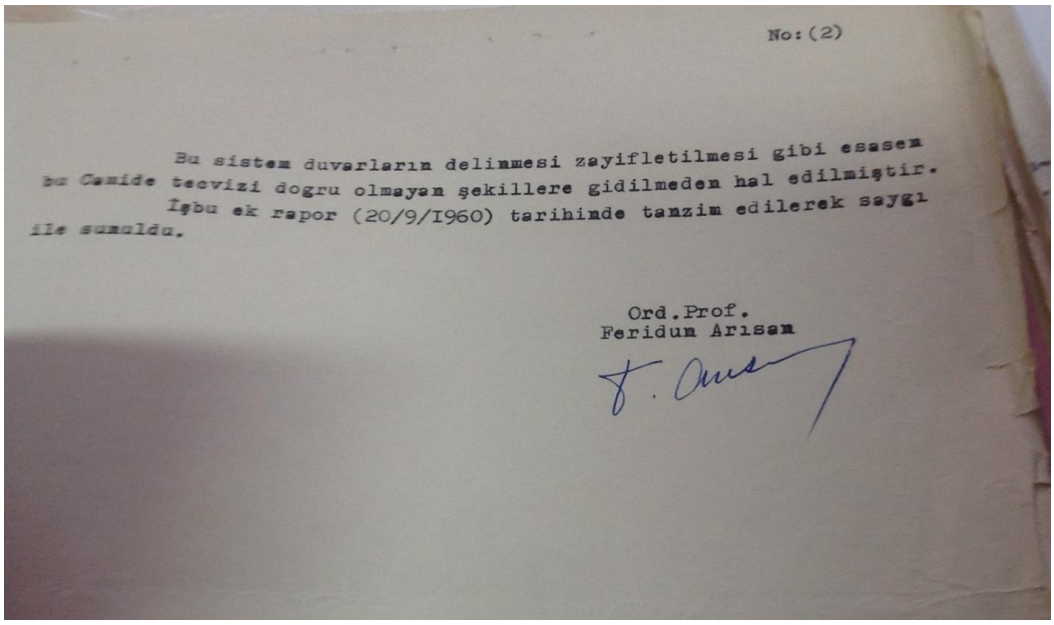
Eyüp'te kâin Zalmahmut Paşa Camii Tahkim ve Takviyesine ait Hesabat ve Projelerin tevdiini müteakip Umum Müdürlük Makamınca şifa hen talep edilen izahlı (25/4/I960) tarihli raporumda belirttiğim -- üzere adı geçen Camiişerifte tesbit edilmiş olan arıza kemerlerin - Dafia kuvvetlerini alan demir gergilerden birinin kopması neticesin- de, tahassül etmiştir.

Hesaplarda görüldüğü üzere takriben (35) Tonluk bir Çer kuv vetine maruz olan gergiler bu kuvvetin emniyetle taşiyacak bir kesite maliktirler.

Camiişerifin inşaasından bu yana geçen yüz yıllar arasında vukubulan şiddetli zelzele vesaire gibi fevkalade tesirler neticesinde bu gergilerden biri kopmuştur. Malum olduğu üzere Çer kuvvetine maruz olan bir demir çubuk en zayif yerinden kopar. Burada da demir gergi ankraj noktasından bir hayli ilerde bir kesitten kırılmıştır. Kırılmaya husule getiren kuvvet büyük değerine rağmen gergi ucunun fil ayağındaki ankrajını sökememiş ve ankraj bu mühim tesire mukavemet etmiştir. Hadisenin bu şekilde husule gelmesi gergi ucunun vaktile fil ayağına ne kadar mükemmel bir şekilde tesbit edilmiş olduğunu gösterir , bundan dolayı tarafımızdan düşünülen Takviye sistemimde mükemmel bir imtihan geçirmiş olan ve bir çok yüz yıllardan beri dayanmış olan Ankraj yerine fil ayağile kıble duvarı arasında çember şeklinde yeniden bir gergi tesisine hiç luzum görülmemiş ve g-erginin inkisar kesidi yeniden tanzim ve tesis edilmiştir. Bu suretle (25/4/I960) tarihli Raporumu birinci maddesinde zikredildiği gibi , Camiişerif inşaası akibindeki durumuna irca edilmiş olur.

Bu Tahkim ve Takviye işi bahis mevzuu olunca bu fırsattan faydalanarak ve bu günkü Betonarme tekniğinden istifade ederek Camiişerifi inşaası sırasındaki durumundan daha kuvvetli bir hale getirmek için Raporumun ikinci maddesindeki takviyeyi de ilâve olarak düşündüm.Camiin Estetikine hiç halel vermiyen bu sistemle Camiişerifinin mukavemet ve muavazetine mühim şekilde yardım etmiş olduğuna kaniyim.

Şekil B.5 : Zal Mahmut Paşa Camii, tahkim ve takviye projesi yazısı (1960) [114].

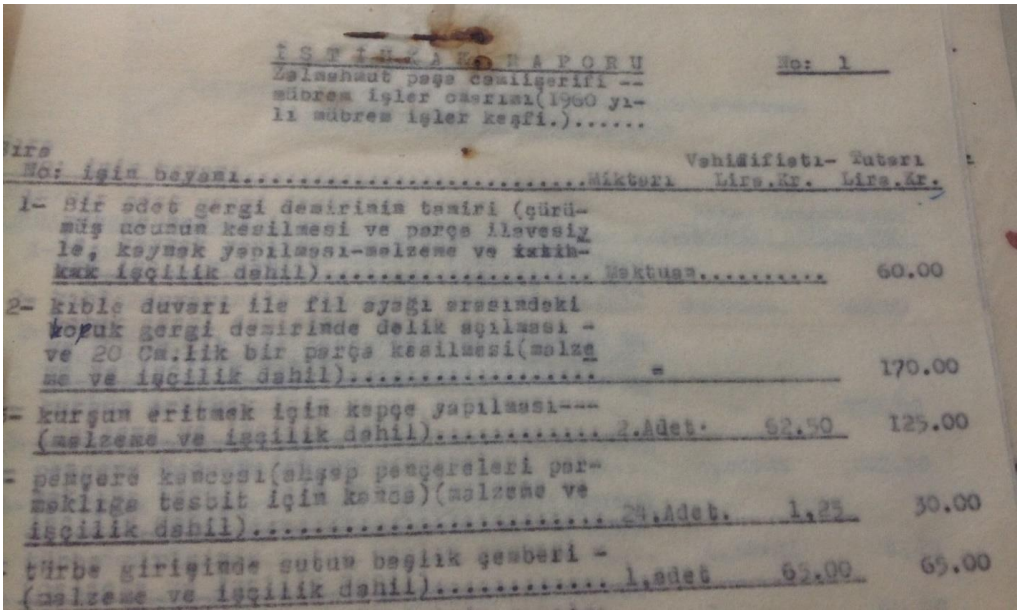


No: (2)

Bu sistem duvarların delinmesi zayifletilmesi gibi esasen bu Camide tecvizi dogru olmayan şekillere gidilmeden hal edilmiştir. İşbu ek rapor (20/9/1960) tarihinde tanzim edilerek saygı ile sunuldu.

Ord.Prof.
Feridun Arısan

Şekil B.6 : Zal Mahmut Paşa Camii, Şekil B.5'teki yazının devamı [114].

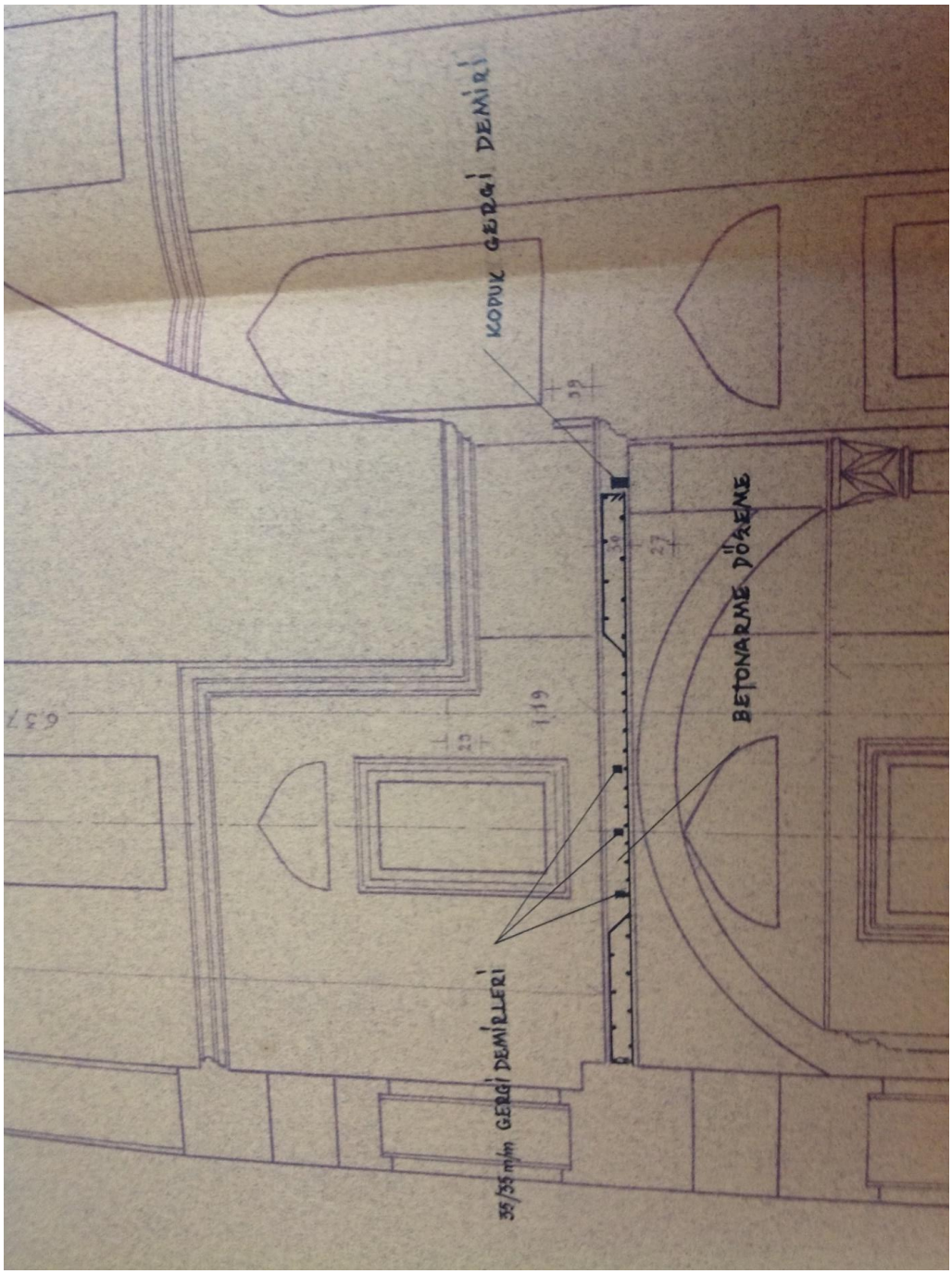


İSTİHKAK RAPORU No: 1

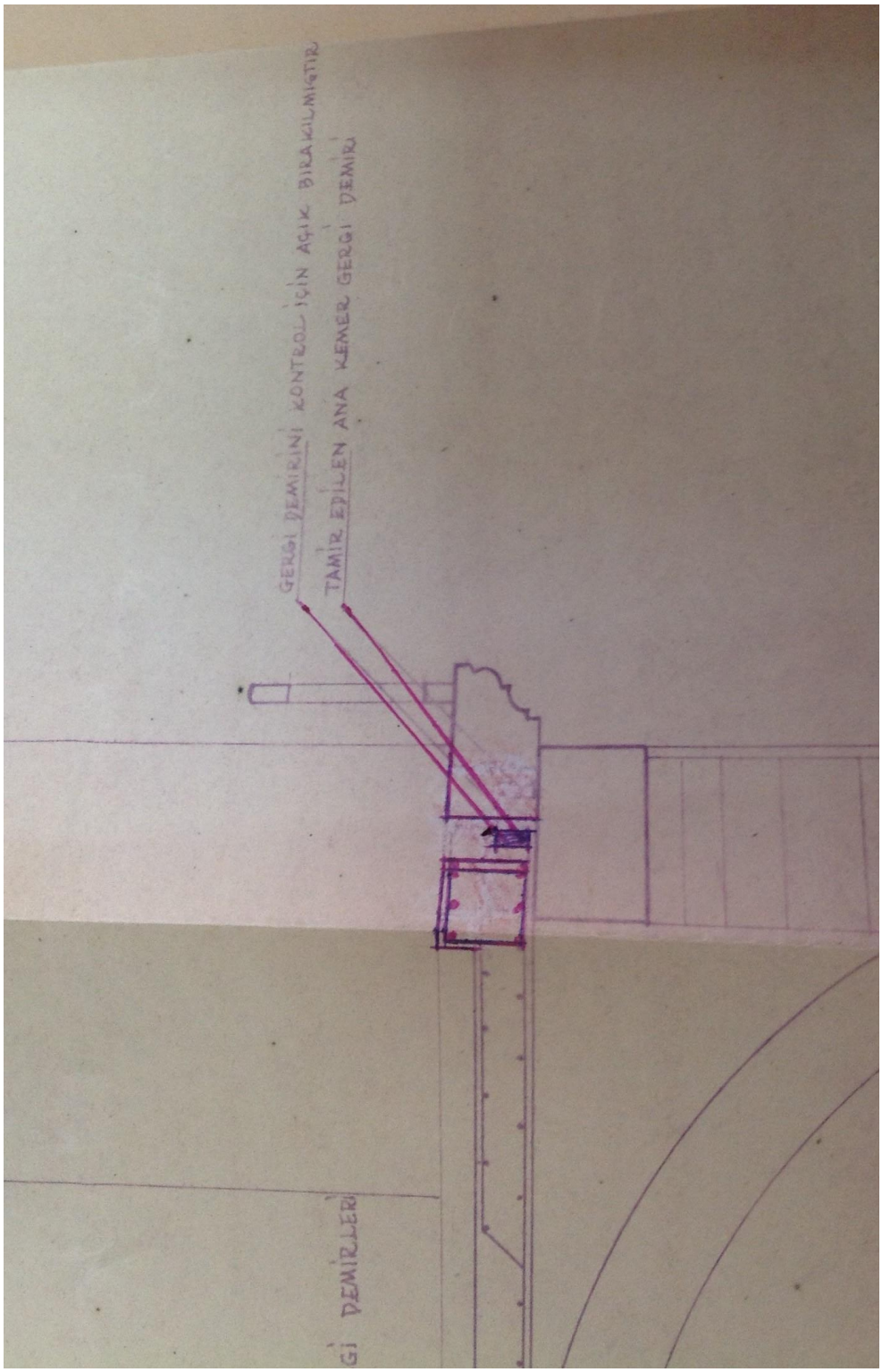
Zelmahmut paşa camiişerifi -- mübrem işler cüzüü(1960 yılı mübrem işler keşfi.).....

No: İşin beyanı	Miktarı	Vahidfiatı- Lira.Kr.	Tutarı Lira.Kr.
1- Bir adet gergi demirinin tamiri (çürümüş ucunun kesilmesi ve parça ilavesiyle, kaynak yapılması-malzeme ve ikhikkk işçilik dahil).....	Muktuan.....		60.00
2- kible duvarı ile fil ayağı arasındaki kopuk gergi demirinde delik açılması - ve 20 Cm.lik bir parça kesilmesi(malzeme ve işçilik dahil).....	-		170.00
3- kurşun eritmek için kepçe yapılması--- (malzeme ve işçilik dahil).....	2.Adet.	62.50	125.00
4- pençere kancası(alaşap pençereleri parmaklığa tesbit için kanca)(malzeme ve işçilik dahil).....	24.Adet.	1.25	30.00
5- türbe girişinde sutun bağlık çesberi - (malzeme ve işçilik dahil).....	1.adet	62.00	65.00

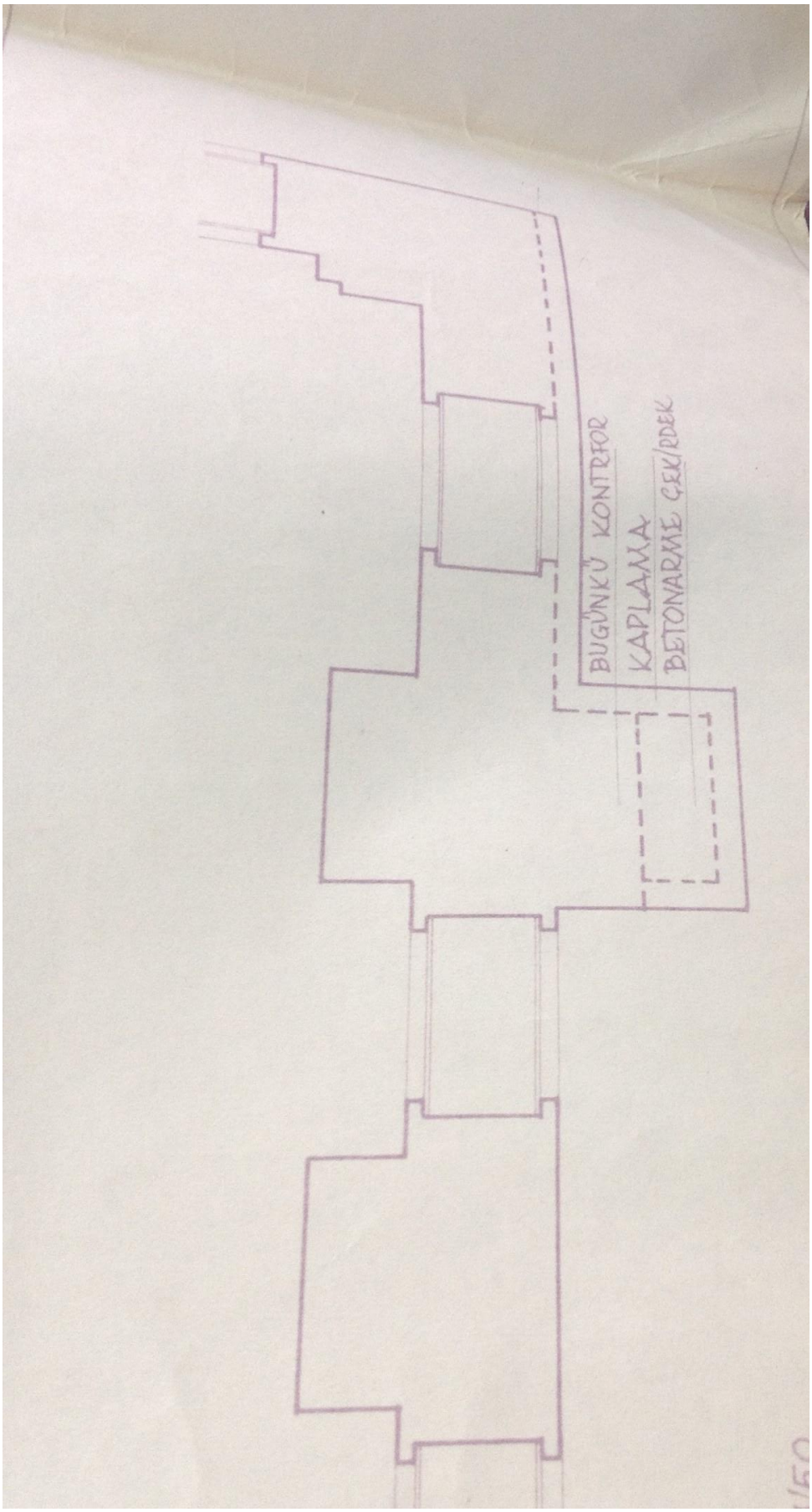
Şekil B.7 : Zal Mahmut Paşa Camii, istihkak raporu (1960) [113].



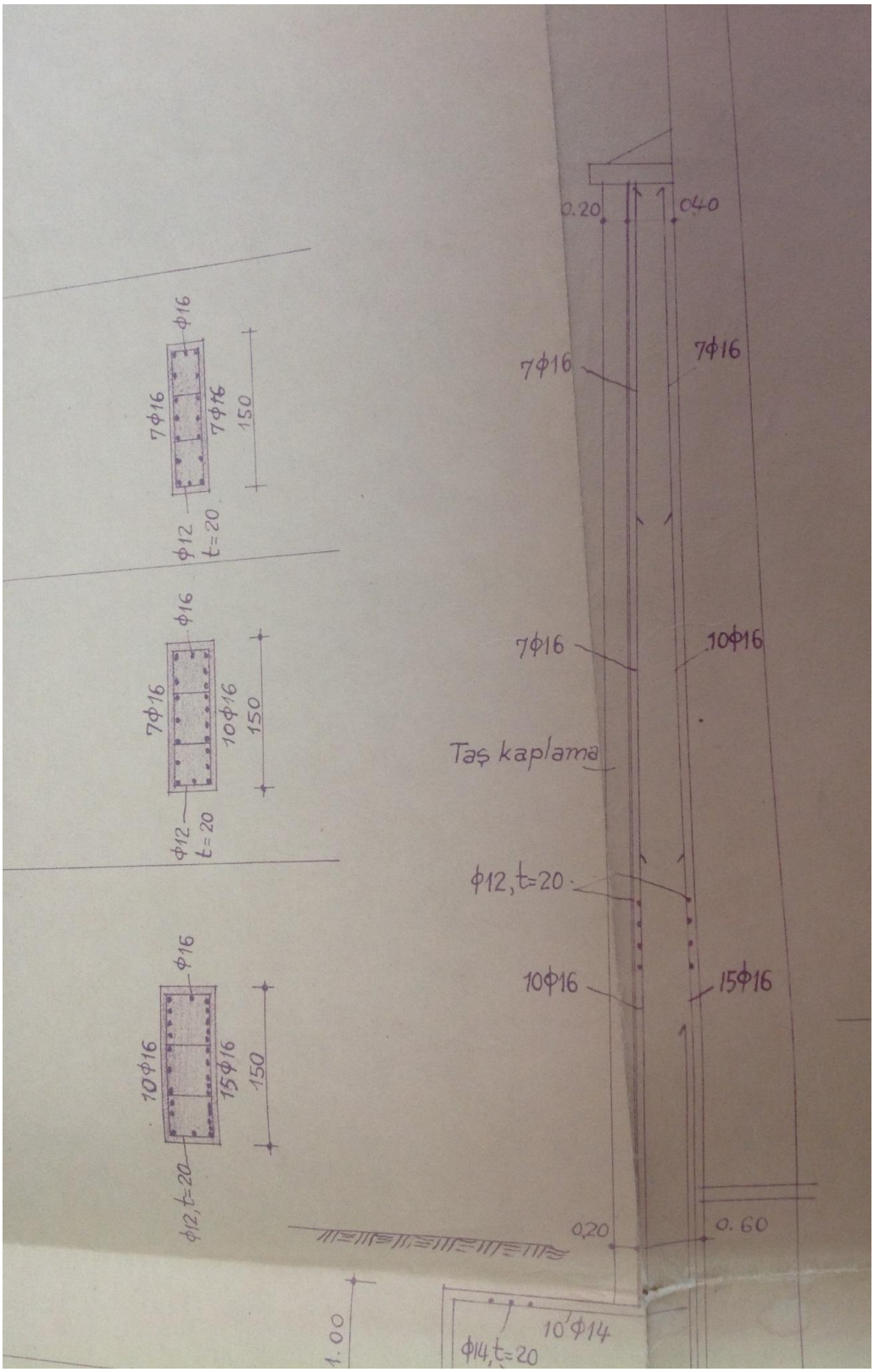
Şekil B.8 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi (1960) [114].



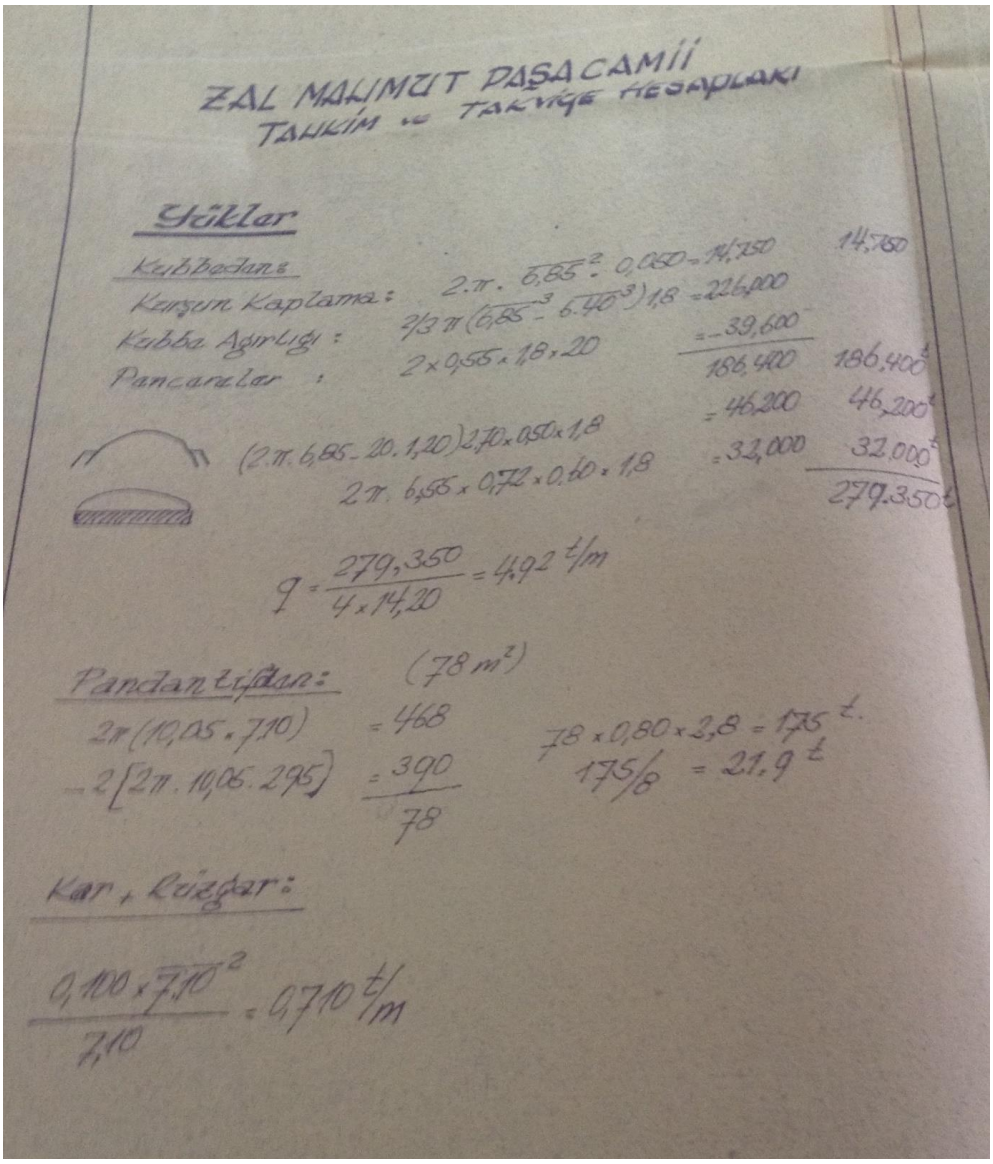
Şekil B.9 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi (1960) [114].



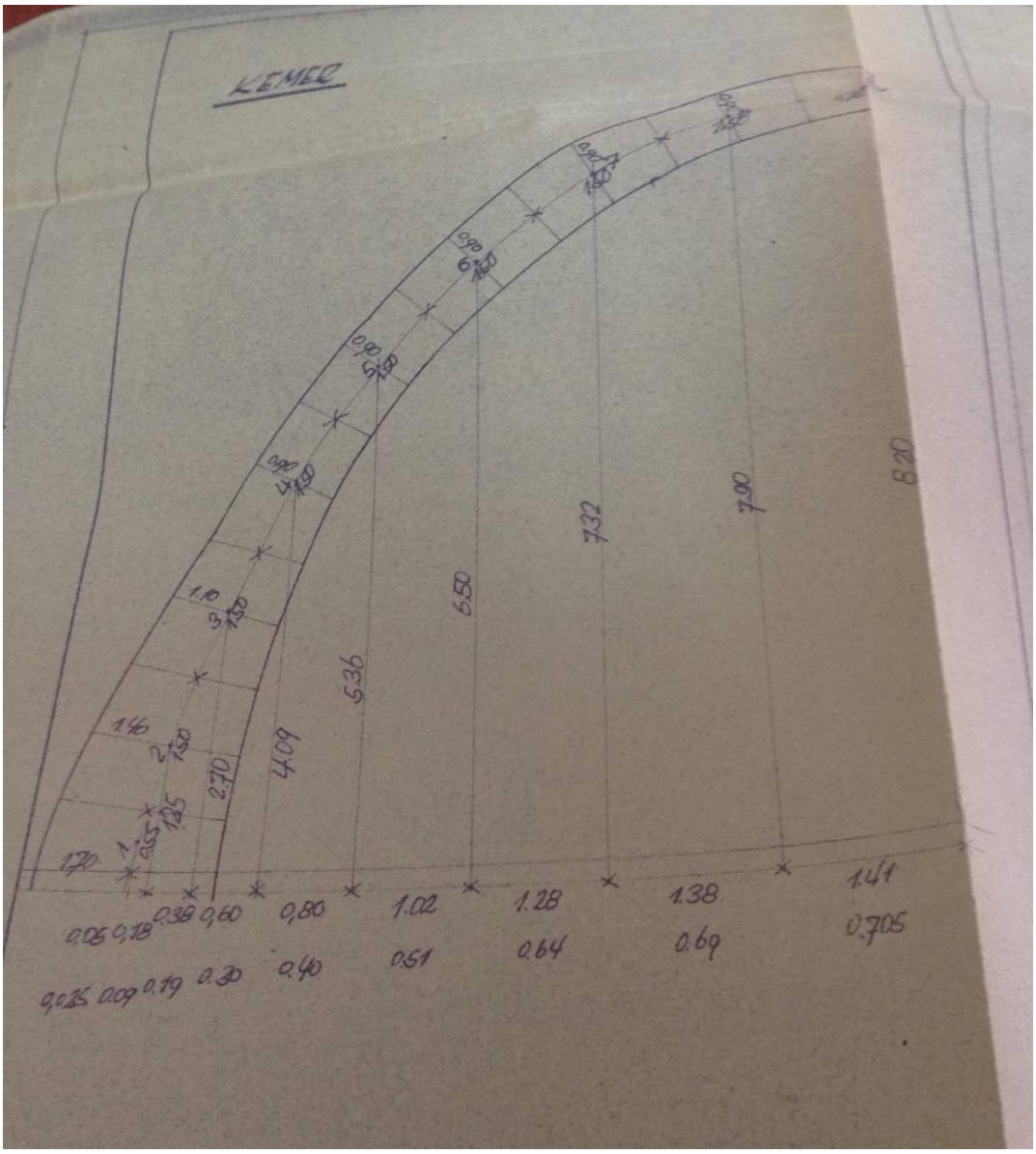
Şekil B.10 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi (1960) [114].



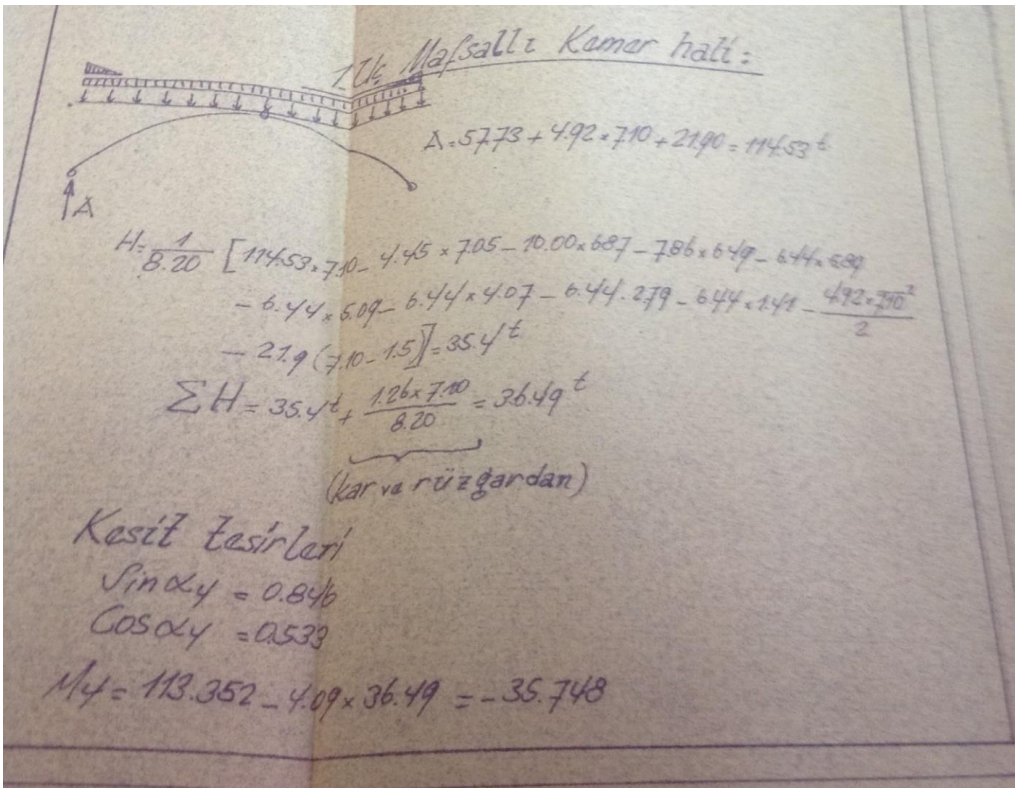
Şekil B.11 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi (1960) [114].



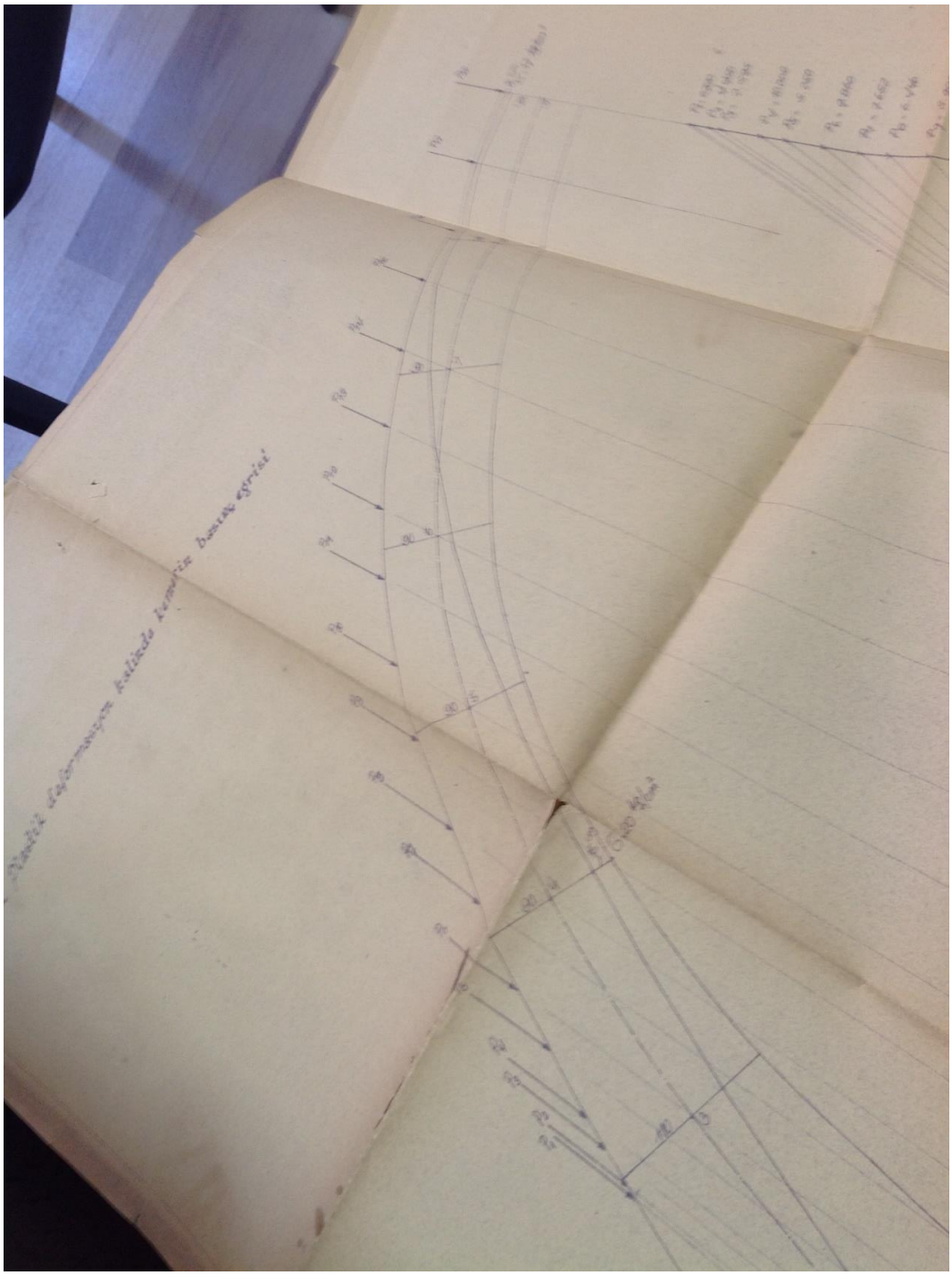
Şekil B.12 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi hesapları (1960) [114].



Şekil B.13 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi hesapları (1960) [114].



Şekil B.14 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi hesapları (1960) [114].



Şekil B.15 : Zal Mahmut Paşa Camii, takviye projesi hesapları (1960) [114].

10 .10.1963

R A P O R

Eyüp'te kâin Zalmahmut paşa camii kalem işi etüdü evvelce hazı
mış ve Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulunun 10.5.196
a ve 2030 sayılı kararında eski haline uyularak daha basit bir etüdün
arlanması talep edilmişti. Mimar Sinanın eserlerinden biri olan mezk
amie bu defa devrine göre yeni kalem işi etüdü hazırlanmıştır.

Çok harap olan camiin onarımı bu yıl tamamlanmış bulunmakt
957 yılından beri devam eden onarım sebebile camii camaata kapalı ol
an Cuma günleri büyük camii çok kalabalık olmaktadır. Keyfiyeti bild
apporum arzolunur.

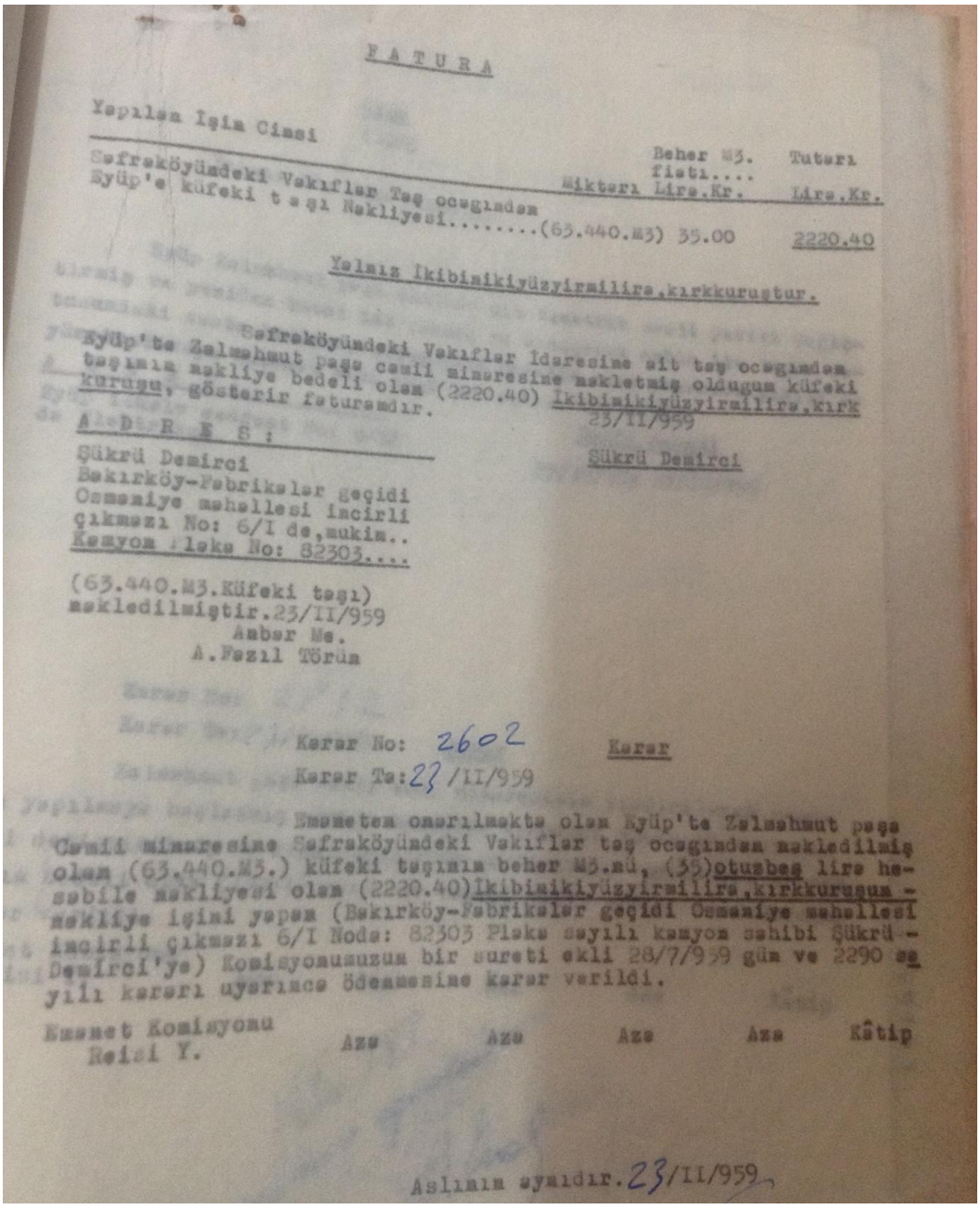
Rebii Kutsi
Y. Mimar

Yönetim Kurulu

Eyüp Sultan Eski Eserleri

Komisyon Derneği

Şekil B.16 : Zal Mahmut Paşa Cami'sinin cemaate kapalı olduğunu gösteren belge (1963) [114].



FATURA

Yapılan İşin Cinsi

	Miktarı	Birim fiatı.... Lira.Kr.	Tutarı Lira.Kr.
Sefaköyündeki Vakıflar Taş ocağından Eyüp'e küfeki taşı Nakliyesi.....	(63.440.M3)	35.00	2220.40

Yalnız İkibinikiyüzyirmilira,kırkkuruştur.

Sefaköyündeki Vakıflar İdaresine ait taş ocağından Eyüp'te Zalmahmut paşa camii minaresine nakletmiş olduğum küfeki taşının nakliye bedeli olan (2220.40) İkibinikiyüzyirmilira,kırk kuruşu, gösterir faturamdır. 23/II/959

Sükrü Demirci

A D R E S :

Şükrü Demirci
Bakırköy-Fabrikalar geçidi
Osmaniye mahallesi incirli
çıkmazı No: 6/I de,mukim..
Kamyon :leke No: 82303....

(63.440.M3.Küfeki taşı)
nakledilmiştir.23/II/959
Amber Me.
A.Fazıl Törün

Karar No: 2602 Karar

Karar Ta:23/II/959

Emanetçe onarılmakta olan Eyüp'te Zalmahmut paşa Camii minaresine Sefaköyündeki Vakıflar taş ocağından nakledilmiş olan (63.440.M3.) küfeki taşının beher M3.nü, (35)otuzbeş lira hesabile nakliyesi olan (2220.40)İkibinikiyüzyirmilira,kırkuruşun - nakliye işini yapan (Bakırköy-Fabrikalar geçidi Osmaniye mahallesi incirli çıkmazı 6/I Node: 82303 Pleke sayılı kamyon sahibi Şükrü - Demirci'ye) Komisyonumuzun bir sureti ekli 28/7/959 gün ve 2290 sayılı kararı uyarınca ödenmesine karar verildi.

Emanet Komisyonu
Reisi Y. Aza Aza Aza Aza Kâtip

Aslının aynıdır.23/II/959

Şekil B.17 : Zal Mahmut Paşa Camii minaresinin onarımı ile ilgili belge (1959) [113]

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Mehmet Nuri Yavuzer

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1982, Çorum

E-posta **:** nuri.yavuzer@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2008, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi , İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2008-2010 yıllarında Beşiktaş Deniz Müzesi İnşaatı'nda saha mühendisi olarak görev aldı.
- 2010 yılında ARP İnsan Kaynakları isimli firmayı kurmuştur. Halen firma adı altında yarı zamanlı olarak hizmet vermektedir.
- 2014-2015 yıllarında "İstanbul'daki Tarihi Yapılarda Afet Riskinin Azaltılmasına Yönelik İzleme, Değerlendirme ve Güçlendirme İçin Pilot Çalışmalar" isimli İSTKA projesinde araştırmacı olarak çalıştı.
- 2016 yılından itibaren Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda Yrd. Doç. Dr. İhsan Engin BAL ile birlikte "Kalın Yığma Duvarlar" üzerine çalışmaktadır.