



**KLASİK YÖNTEM VE VOKSEL YÖNTEMİ İLE TARİHİ YAPILARIN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

Fatih AYDOĞMUŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Fatih AYDOĞMUŞ tarafından hazırlanan “KLASİK YÖNTEM VE VOKSEL YÖNTEMİ İLE TARİHİ YAPILARIN MODELLENMESİ VE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf DEMİREL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatih AYDOĞMUŞ

11/09/2019

KLASİK YÖNTEM VE VOKSEL YÖNTEMİ İLE TARİHİ YAPILARIN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatih AYDOĞMUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bu çalışmada tarihi yapıların modellenmesinde iki farklı model kullanılması amaçlanmıştır. Klasik ve voksel modelleme yöntemi altında sayısal analizi yapılmıştır. Bu amaçla klasik modelleme için; nokta bulutu verileri üzerinden rölöve ve klasik taşıyıcı sistem oluşturulmuştur. Ölü yükler sisteme etkilmiştir. Voksel modellemede ise rölöveye ihtiyaç duyulmadan, nokta bulutu verileri dâhilinde tüm yapı ve ölü yükler küp eleman olarak tanımlanarak davranışa dâhil edilmiştir. Klasik modelleme ile voksel modelleme yöntemi SAP2000 programı ile analiz edilmiştir. Analiz öncesi, analiz aşaması ve analiz sonrası verilerin voksel modele ait analiz sonuçları, klasik modelleme tekniği kullanılarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve iki modelleme sisteminin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 91109
Anahtar Kelimeler : Tarihi Yapılar, Nokta Bulutu, Voksel Modelleme, Sismik Davranış,
Sap2000
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yusuf DEMİREL

ANALYSIS OF HISTORICAL STRUCTURES WITH CLASSICAL METHOD AND
VOXEL METHOD

(M. Sc. Thesis)

Fatih AYDOĞMUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

In this study, two different models to examine historical buildings. Numerical analysis was performed using classical and voxel modeling methods. For this purpose, in classical modeling; the survey and point cloud data were used to build a structural system. Dead loads were added to the system. In the voxel modeling, all structure and dead loads were defined as cube elements without the need for a survey. Classical modeling and voxel modeling were analyzed in SAP2000 program. Before analysis, the analysis phase and post-analysis data and analysis results of voxel model was compared with classical modeling technique obtained values and the advantages and disadvantages of two models were evaluated.

Science Code : 91109

Key Words : Historical Buildings, Point Cloud, Voxel Modelling, Seismic Behavior, Sap2000

Page Number : 103

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Yusuf DEMİREL

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince yardımları ve yűnlendirmeleri ile yoluma ıŐık tutan Dr. Őđretim Őyesi Yusuf DEMİREL baŐta olmak űzere, tarihi yapılara olan ilgimin meslek hayatımda karŐılıđını bulmasını sağlayan meslektaŐlarım Murat ŐZKAN, Mehmet Emin YILMAZ, Hasan Fevzi ÜGEN'e; sanata olan ilgimin kaynağı Őlker AYDOđMUŐ ve geleneksel yapıım tekniklerinin ilkelerini Őđrendiđim Őuayip AYDOđMUŐ'a; uzun çalıŐma saatleri ve seyahatlerimi anlayıŐla karŐılayan Eva Ligi AYDOđMUŐ'a; fikirleriyle farklı bakıŐ aıllarını gűrmemi sağlayan kadim dostlarım Hasan Murat SANIR ve Bahadır AYDEMİR'e teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TARİHİ YAPI KURAMSAL TEMELLERİ VE HASAR NEDENLERİ.....	9
2.1. Tarihi Yapılarda Temel Tanım ve Kavramlar	9
2.2. Tarihi Yapı Bozunmalarının Başlıca Nedenleri	14
2.3. Tarihi Yapılarda Sık Görülen Hasar Çeşitleri ve Ayrışmalar	22
2.4. Tarihi Yığma Yapılarda Taşıyıcı Elemanlar	30
2.4.1. Temeller	31
2.4.2. Duvarlar	36
2.4.3. Kubbeler.....	46
2.4.4. Kemerler.....	46
2.4.5. Tonozlar	47
2.4.6. Diğer yapı elemanları.....	48
3. ANALİTİK ÇALIŞMA VE İRDELEME	51
3.1. Klasik Modelleme	51
3.2. Voksel Modelleme	54

	Sayfa
3.3. Edirne Mihal Bey Hamamı Analizi.....	57
3.3.1. Klasik model-voksel modelleme.....	60
3.3.2. Klasik model-voksel model karşılaştırması	66
3.4. Sırbistan Bayraklı Camii Analizi	78
3.4.1. Klasik model-voksel modelleme.....	81
3.4.2. Klasik model-voksel model karşılaştırması	85
3.5. İnceleme ve Değerlendirmeler	93
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ayırışma grup ve alt grupları.....	23
Çizelge 2.2 Ahşap esaslı duvarlar.....	45
Çizelge 3.1. Kullanılan malzemeler.....	59
Çizelge 3.2. Mihâl Bey Hamamı yapı modları ve toplam yer değiştirmeler.....	66
Çizelge 3.3. İlk üç moda ait ayrıntılı hareket yönleri.....	71
Çizelge 3.4. Klasik model ötelenmeler (mm).....	72
Çizelge 3.5. Voksel model ötelenmeler (mm).....	72
Çizelge 3.6. G+Q Yüklemesi aksenal gerilmeleri ve düşey yer değiştirmeler.....	74
Çizelge 3.7. Bayraklı Camii minaresi modları ve toplam yer değiştirmeler.....	85
Çizelge 3.8. Bayraklı Camii minaresi klasik model ötelenmeler (mm).....	88
Çizelge 3.9. Bayraklı Camii minaresi voksel model ötelenmeler (mm).....	89
Çizelge 3.10. G+Q Yüklemesi aksenal gerilmeleri ve düşey yer değiştirmeler.....	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Edirne Mihâl Bey Hamamı su deposu tonozu	24
Şekil 2.2. Tahtakale hamamı planı.....	32
Şekil 2.3. Ortaköy Câmii'nin temel kesitleri.	35
Şekil 2.4. Topkapı Sarayı Harem Dairesi'nin tonoz ve ayakları.	36
Şekil 2.5. Moloz duvar ahşap hatıl kullanımında geçmesiz tam bindirme	38
Şekil 2.6. Kubbe türleri.....	46
Şekil 2.7. Kemer türleri.....	47
Şekil 2.8. Tonoz örnekleri.....	48
Şekil 3.1. Makro modellemede homojenleştirilmiş birim eleman	52
Şekil 3.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme.....	53
Şekil 3.3. Detaylı mikro modelleme	53
Şekil 3.4. Karasal lazer tarayıcı ölçüm yerleri.....	55
Şekil 3.5. Plan düzleminde dilimleme	55
Şekil 3.6. Elde edilen dilimler.....	56
Şekil 3.7. Dilim yerleştirme	56
Şekil 3.8. Voksel model	57
Şekil 3.9. Mihâl Bey Hamamı mekânları iz düşüm planı ve tavan planı.....	58
Şekil 3.10. 20 milyon noktadan oluşmuş nokta bulutu görüntüsü	60
Şekil 3.11. Nokta Bulutu üst görünüş	61
Şekil 3.12. Sap2000 modeli üst görünüş.....	61
Şekil 3.13. Sap modeli 3d görünüş	62
Şekil 3.14. Sap modeli alt görünüş	62
Şekil 3.15. Voksel Sap modeli 3d görünüş	63
Şekil 3.16. Voksel Sap modeli alt görünüş	63

Şekil	Sayfa
Şekil 3.17. Voksel model üç boyutlu görünüş	64
Şekil 3.18. Voksel model A-A kesiti perspektif görünüş	65
Şekil 3.19. Voksel model B-B kesiti perspektif görünüş.....	65
Şekil 3.20. Klasik model 1.mod (min. 0 m /maks.0.023m)	67
Şekil 3.21. Voksel model 1.mod (min. 0 m / maks.0.007 m)	67
Şekil 3.22. Klasik model 2.mod (min. 0 m /maks.0.026 m)	68
Şekil 3.23. Voksel model 2.mod (min. 0 m / maks.0.005 m)	69
Şekil 3.24. Klasik model 3.mod (min. 0 m /maks.0.031 m)	70
Şekil 3.25. Voksel model 3.mod (min. 0 m / maks.0.005 m)	70
Şekil 3.26. Klasik model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa).....	73
Şekil 3.27. Voksel model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa).....	74
Şekil 3.28. Klasik model, (a) duvar aksenal gerilmeleri, (b) pandantif aksenal gerilmeleri (MPa).....	75
Şekil 3.29. Voksel model, (a)duvar aksenal gerilmeleri, (b)pandantif aksenal gerilmeleri (MPa).....	75
Şekil 3.30. Klasik model G+0.6Q+EX yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)	76
Şekil 3.31. Voksel model G+0.6Q+EX yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)	76
Şekil 3.32. Klasik model G+0.6Q+EY yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)	77
Şekil 3.33. Voksel model G+0.6Q+EY yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)	77
Şekil 3.34. +5.45 m kotlu minare planı.....	80
Şekil 3.35. Belgrad Bayraklı Cami mahfil ve kasnak planı.....	80
Şekil 3.36. Belgrad Bayraklı Cami ön görünüşü	81
Şekil 3.37. 12 milyon noktadan oluşmuş nokta bulutu görüntüsü.....	82
Şekil 3.38. (a) Sap modeli 3d görünüş, (b) Sap modeli kesiti	83
Şekil 3.39. (a) Voksel Sap modeli 3d görünüş (b) Voksel Sap modeli kesiti.....	83
Şekil 3.40. Bayraklı Cami voksel model üç boyutlu görünüş.....	84

Şekil	Sayfa
Şekil 3.41. Bayraklı Cami voksel model kesiti.....	84
Şekil 3.42. Klasik model 1.mod (min. 0 m /maks.0.03 m)	85
Şekil 3.43. Voksel model 1.mod (min. 0 m /maks.0.035 m)	86
Şekil 3.44. Klasik model 2.mod (min. 0 m /maks.0.03 m)	86
Şekil 3.45. Voksel model 2.mod (min. 0 m / maks.0.035 m)	87
Şekil 3.46. Klasik model 3.mod (min. 0 m /maks.0.03 m)	87
Şekil 3.47. Voksel model 3.mod (min. 0 m / maks.0.047 m)	88
Şekil 3.48. Klasik model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa).....	89
Şekil 3.49. Voksel model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa).....	90
Şekil 3.50. Klasik model G+0.6Q+EX kayma gerilmeleri (MPa).....	91
Şekil 3.51. Voksel model G+0.6Q+EX kayma gerilmeleri (MPa).....	91
Şekil 3.52. Klasik model G+0.6Q+EY kayma gerilmeleri (MPa).....	92
Şekil 3.53. Voksel model G+0.6Q+EY kayma gerilmeleri (MPa).....	92

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Tartu yaslanmış evi.....	15
Resim 2.2. Ankara Kalesi 1935-1940 yılları arası çatlakları.....	16
Resim 2.3. Ankara Kalesi 15 numaralı burç 2016 yılı onarım çalışmaları.....	16
Resim 2.4. Yozgat Boğazlıyan Çarşısı Hamamı güney cephesi.....	18
Resim 2.5. Kareferye Orta Câmî.....	20
Resim 2.6. Yenice Vardar Ahmet Bey Câmî.....	21
Resim 2.7. Restorasyon öncesi Mostar Köprüsü.....	22
Resim 2.8. Edirne Mihâl Bey Hamamı su deposu tonozu.....	24
Resim 2.9. Phaselis Antik Tiyatrosu sahne bölümü yıkılan duvarlar.....	25
Resim 2.10. Yenice Vardar Ahmet Bey Câmî.....	25
Resim 2.11. Edirne Mihâl Bey Hamamı halvet duvarı çatlağı.....	26
Resim 2.12. Edirne Mihâl Bey Hamamı yarık oluşumu.....	27
Resim 2.13. Mihâl Bey Hamamı güney cephesi taş erimeleri.....	29
Resim 2.14. Mihâl Bey Hamamı doğu cephesi taş erimeleri.....	30
Resim 2.15. Edirne Mihâl Bey Hamamı devamlı kâgir temeli.....	31
Resim 2.16. Antalya Kesik Minare sütun münferit temeli.....	33
Resim 2.17. Işparta Uluborlu Taş Medrese moloz taş duvarı.....	37
Resim 2.18. Sırbistan İsa Bey Hamamı soğukluk beden duvarları.....	38
Resim 2.19. Hasankeyf Kalesi hatıl kullanılmamış moloz taş duvar.....	39
Resim 2.20. Çankırı Yeni Câmî.....	40
Resim 2.21. Harran Kalesi ince yonu taş duvar.....	41
Resim 2.22. Midyat Konuk Evi kesme taş duvarları.....	42
Resim 2.23. Atina Rüzgâr Kulesi.....	43
Resim 2.24. Harran evi.....	44

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Mihâl Bey Hamamı genel görünüm	57
Resim 3.2. Mihâl Bey Hamamı almaşık beden duvar örgüsü.....	58
Resim 3.3. Mihâl Bey hamamı kuzeydoğu köşesi görünüş	64
Resim 3.4. (a) Sırbistan Belgrad Bayraklı Cami (b) Minare ve şerefe	79



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm	santimetre
mm	milimetre
m	metre
MPa	megapaskal (N/mm ²)
sn	saniye
T	periyot(sn)

Kısaltmalar

Açıklamalar

AP	Asır Proje Restorasyon Mimarlık
AV	Ankara Vakıflar Bölge Müdürlüğü
BIM	Building Information Modelling
DEM	Discrete Element Method
FEM	Finite Element Method
FEMDE	Finite Element Method with Discontinuous Elements
ICOSMOS	International Council on Monuments and Sites

1. GİRİŞ

Tarihi yapının modellenmesinde, yapının gerçek davranışına yakın hesap modellerinin oluşturulması halen büyük bir sorundur. Mühendislik bilgi ve tecrübeleriyle kabul görmüş hesap yöntemlerinde, yapı analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için bazı idealleştirmelere gidilmesi gerekir.

Günümüz yapılarında eğilmeye çalışan eleman tasarımı etkin olması nedeniyle tasarım farklılaşmıştır. Başlıca malzeme olarak beton ve demir kullanılma yolu tercih edilmiştir. Bu sayede kutu formlu yapı tasarımı öne çıkmıştır. Eğitim aşamasında yatay eğilme elemanı (kiriş ve döşeme) ve düşey taşıyıcı elemanlar bazında yapısal sistem analizlerine gidilirken, yapım aşamasında da bu unsurlar kendini göstermiştir. Toplumsal yaşam ve sanayileşmenin etkisi dâhilinde yapı ihtiyacı artmış ve yapı tasarımlarında standartlarla bazı sınırlamalara gidilmiştir. Oluşturulan standartlarla, yeni yapım ya da mevcut yapıların değerlendirilmesine yönelik ilkeler tanımlanırken benzer bir çalışma tarihi yapılar kapsamında oluşturulamamıştır. Bu nedenle tarihi yapıların değerlendirilmesine yönelik yaklaşımlar ilgili standartların yapılar başlığı altında verilen bölümleri ile sınırlı kalmaktadır.

Günümüz mühendisleri tarihi yapıların modellenmesinde şu şekilde bir yol izlemek zorunda kalmaktadır. Yapıyı oluşturan tonoz, kubbe, pandantif, sütun gibi yapısal elemanların davranışını bulmak için elemanlar kendi içlerinde kabuk veya çubuk eleman olarak modellenmektedir. Ancak bu elemanlar günümüzdeki yapı elemanları ile uyuşmamaktadır ve mühendislik fakültelerinde lisans eğitimi sırasında bu konuda eğitim verilmemektedir. Bu nedenle günümüz mühendisleri bu farklı tür elemanların modellenmesinde; elemanların birbirleriyle olan etkileşimlerini, mesnet durumlarını, yük aktarımlarını ve yük aktarımlarındaki dış merkezliklerini göz önüne almakta ve davranışın tanımlanmasında zorluk çekmektedir.

Mevcut yapı değerlendirmesinde yapı güvenliğine dair sorunların tespiti ve bu sorunların çözümlenmesine yönelik yöntemler, standartlar dâhilinde belirlenmektedir. Günümüz teknolojisinin elverdiği ölçüde, yeni yaklaşımları uygulanabilir yöntemlere çevirebilme, dolayısıyla gerek yapının, gerekse yapı iç kuvvetlerinin bulunabilmesi ve mevcut hasarların kaynağının tespitine gidilmesi için bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Oluşturulan

bilgisayar hesap modellerinin ele alınan analiz tekniği bazında kendi içinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeple incelenen yapı için ele alınacak bilgisayar analiz tekniği yapı ile uyumlu olmalıdır.

Diğer taraftan çalışmaların güvenilirliği sadece yapı hesap modelinin oluşturulması ile ilintili değildir. Tarihi yapı değerlendirmelerinde saha çalışmalarıyla yapıya ait birçok veri toplanılmaya çalışılsa da, yapıya ait birçok bilinmeyen mevcuttur. Bunlar;

- Yapı geometrisinin belirlenmesi ile ilgili eksikler,
- Yapı elemanlarının içyapısı ile ilgili bilgiler,
- Yapı inşâsında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu,
- İşçilik ve doğal malzemelerin kullanımı nedeniyle, yapı genelinde mekanik özelliklerdeki büyük farklılıklar,
- İnşaat süresi ve yapım sırasının bilinmemesi,
- Yapıdaki mevcut hasarlar,
- Yapısal elemanlarda uzun zaman ile ilişkili değişkenlikler,
- Yapı değerlendirmesine ait bir standardın bulunmaması,

olarak sıralanabilir [1]. Bu sebeple tarihi yapıların analizinde hassas çalışılması gerekmektedir. Bu tür çalışmalarda, yapı geometrisinin eksiksiz olarak belirlenmesine yönelik uygulamalar yapılmaktadır. Çalışmanın süresi içerisinde tamamlanabilmesi açısından malzeme ile ilgili verilere genellikle literatür taraması ile ulaşılma yoluna gidilmektedir. Her hangi bir tarihi yapının analizinin, mevcut yapı davranışını yansıtmaması için o yapıya ait detaylı bir malzeme çalışması yapılması zorunludur.

Tarihi yapı elemanlarının tespitinin, uygulamaya dönük bir şekilde çözümlenebilmesi amacıyla, günümüz teknolojisinin elverdiği ölçüde, nokta bulutu verileri kullanılarak, rölöveye ihtiyaç duyulmadan, yapı geometrisinin bilgisayar ortamına üç boyutlu ve detaylı olarak aktarılabilmesi mümkün olmuştur. Bu sayede voksel modelleme olarak isimlendirilen bu analiz tekniği kullanılarak, mevcut tarihi yapının tüm elemanları, bağlantıları ile dikkate alınabilmekte ve yapı elemanlarının ve birleşimlerinin davranışının modelleme aşamasında yorumlanmasına gerek kalmamaktadır.

Bu çalışmada, kullanılan modelleme tekniği ile mevcut yapı geometrisinin bilgisayar hesap modeline büyük bir hassasiyet ile aktarılmasına yönelik yöntemler araştırılmış ve uygulanmıştır.

Günümüz teknolojisi yapı ölçümlerinde lazer tarayıcıları kullanmayı mümkün kılmaktadır. Çalışmada yapı iç ve dışından alınan lazer ölçümleri sayesinde yapı geometrisini temsil eden nokta bulutu kümesi oluşturulmuştur. Elde edilen nokta bulutu verileri kullanılarak yapı modeli elde edilmiş ve hesap sonuçları yapı rölöveleri kullanılarak oluşturulan model ile karşılaştırılmıştır.

Deprem kuşağında yer alan ülkemizde, tarihi yapılar, tüm coğrafyamıza dağılım göstermektedir. Bu dağılım incelendiğinde az katlı, basit planlı yapılardan, çok katlı, karmaşık planlı yapılara doğru çok çeşitli türde yığma yapı örneklerini görmek mümkündür. Gerek kırsal alanlarda gerekse büyük kentlerimizde, kullanılan veya atıl olarak bulunan, taşıyıcı sistemlerinin farklı yığma teknikleriyle oluşturulduğu birçok yapı günümüzde incelenmeyi, koruma altına alınmayı beklemektedir.

Anadolu coğrafyasının türlü medeniyetler için bir uğrak noktası olması ilk çağ uygarlıklarından günümüze değin yapı inşası ile ilgili bilgilerin bu topraklarda gelişmesini sağlamıştır. Geliştirilen teknikler inşasına ihtiyaç duyulan konut, eğitim yapıları, dini yapılar, hamamlar, hanlar, savunma yapıları, köprüler vb. türü yapılarda mükemmelleştirilmeye çalışılırken, döneminde hükümdarlık süren medeniyetlerin etkisiyle dönemine özgü belirli üsluplar kazanmıştır.

Dünya mirasının bir ögesi olan, tarihi önem taşıyan yapıların aslına sadık kalacak şekilde korunmasına özen gösterilmesi gerekir. Buna karşılık yalnız bulunduğu çevre için anlam taşıyan yapıların onarımlarında daha serbestçe davranılmasına izin verilebilir [2]. Bu toprakların geçmişinin önemli miraslarından olan bu yapıların, gelecek nesillere güvenle aktarılmasının sağlanması ülkemizin büyük bir sorumluluğudur. Ülkemizin de üye olduğu pek çok uluslararası antlaşmayla tarihsel yapı ve anıtların korunması garanti altına alınmıştır. Mayıs 1964'te oluşturulmuş Venedik Tüzüğü ile tarihsel yapı ve anıtların onarım işinin, uzmanlık gerektiren bir iş olduğu belirtilmiştir. Venedik Tüzüğü'nde, onarımın temel olarak alındığı vurgulanırken; özgün malzemelerle, güvenilir belgelere saygıyla bağlı kalınması gerektiği, geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde koruma ve inşâ için, bilimsel

veriler ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi bir teknik kullanılarak yapının sağlamlaştırılabileceği ifadelerine yer verilmiştir [3].

Venedik Tüzüğü'nün ardından, korumayla ilgili uzmanların 1965'te kurdukları ICOMOS (Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi)'un geliştirdiği tüzüklerle tarihi yapıların onarımlarında dikkat edilmesi gereken konular, uyulması gereken ilkeler ayrıntılı olarak tartışılmış ve tanımlanmıştır [4].

1975 yılında yayımlanan Amsterdam Bildirgesi ve “Tarihi Alanların Korunması ve Çağdaş Rollerini Konusundaki Tavsiyeler Bildirgesi (UNESCO 30 Kasım 1976, Nairobi) ile koruma politikalarının iyileştirilmesi ve bu konuda özellikle yerel yönetimlerin teşvik edilmesi ile onarım ve güçlendirme fonlarının ayrılması düşünceleri bulunmaktadır [5].

Ülkemizde de 28.02.1995 gün ve 378 sayılı Taşınmaz Kültür Varlıklarının Koruma Bakım ve Onarımlarına İlişkin İlke Kararları, yapı grupları ve mücadele biçimleri tanımlanmıştır. 2003 tarihinde kabul edilen “Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyon İlkeleri Tüzüğü” ile korumanın disiplinler arası bir alan olduğu vurgulanmış; "Sorunun boyut ve türüne bağlı olarak, araştırmanın ilk adımlarından itibaren disiplinler arası bir ekip alanın incelemesini yapmalı ve çalışma programını hazırlamalıdır." denilmiştir. Aynı tüzükte “Zorunlu olduğu kanıtlanmayan hiçbir müdahale yapılmamalıdır.” ve “Mümkün olan yerlerde yapılan müdahalenin geriye dönüşe uygun (reversible) olması, böylece yeni bilgiler edinildiğinde yapılan müdahalenin esere zarar vermeden kaldırılarak daha uygun olanlarla yer değiştirmesi arzu edilir." ifadeleriyle yapılacak çalışmaların hassasiyetine dikkat çekilmiştir [4].

Uluslararası tüzüklerden hareketle 2013 yılında ICOMOS Türkiye, ülkemizdeki koruma yasaları ile uluslararası kuralları bağdaştırmak, temel kavramları tanımlamak üzere ICOMOS Türkiye Mimari Miras Koruma Bildirgesi'ni yayınlamıştır. Yapıların günümüze ulaşmış tarihi kimliğinin öğelerini oluşturan mekânsal biçimsel ve yapısal özellikleri ile çevre içindeki özgün konumunun korunması gerekliliği, yapıların yıkılmadan korunmalarının gerekliliği, yıkılması gereken ender durumlar oluştuğunda bu durumların koruma kurullarının onayı ile çözülebileceği hükümlere bağlanmıştır. Deprem riskinin azaltılması ve deprem hasarı gören tarihi yapıların onarımında ulusal ve uluslararası ilkelerin gözetilmesi, kültür mirasımızın daha az kayıpla geleceğe aktarılmasında başarı için büyük

önem taşımaktadır. Bu alanda yol gösterici olan kılavuzun ilgili meslek insanlarına tanıtılarak geniş kitlelere ulaşmasının ve etkin olmasının sağlanması hedeflenmektedir [4]. Tarihi yığma yapıların mevcut durumlarının değerlendirilmesi ve gerekli görülen onarımlara dair uygun çözümlerin üretilebilmesi için disiplinler arası ortak bir çalışma gerekmektedir. Ülkemizde bu çalışmalar kapsamında, yapının dönemine ve sahip olduğu özelliklere bağlı olarak, alanında uzman sanat tarihçileri, arkeologlar, mimarlar, restoratörler ve yapı mühendisleri ortak çalışmalar sürdürmektedir.

Önceki Çalışmalar

Yığma yapılara ait yapı tekniği ve inşaat, insanlık tarihi kadar eskidir. Betonarme ve çeliğin yapı malzemesi olarak yoğunluklu kullanılmaya başlamasına kadar, önemli olan tüm yapılar yığma tekniği kullanılarak inşa edilmiştir. Tarihi önem arz eden bu eserlere ait genel bakışın oluşturulduğu ilk çalışmalarından biri Fransız Auguste CHOISY 'ye ait "L'architecture et l'art de bâtir" kitabıdır ve çalışma 1873 yılında yayınlanmıştır [6]. Benzer bir çalışma Fransız Jean Pierre Adam tarafından 1989 yılında "La Construction Romaine: matériaux et techniques" adıyla Fransızca hazırlanmış, 1994 yılında ise İngilizceye tercüme edilerek "Roman Building Materials and Techniques" adıyla yayınlanan eserdir [7].

İlerleyen zaman zarfında taşıyıcı sistemi betonarme veya çelik olan yapıların inşa edilmesine direk bir geçiş olmamış; bu yeni malzemeler taş, tuğla vb. yığma yapı malzemelerinin kullanıldığı yapılarda belirli bölümler için kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle bu geçiş sürecinde yeni malzemelerin avantaj ve dezavantajları değerlendirilebilmiştir. Doğal olarak yeni malzemelerin yapı içerisinde kullanımın yerleri, yığma malzemenin mekanik özellikleri sebebiyle kullanımının sorunlu olduğu bölümlerdir. İstanbul'da bulunan yığma tekniği ile yapılmış birçok iş yeri ve apartmana ait volta döşemler buna örnek gösterilebilir.

Dünyada tarihi yapılar üzerindeki akademik çalışmalar son elli yıllık süreçte önem kazanmıştır. Bu süreçten önce verilen eserlerde, çalışma içeriğinin restorasyondan daha çok yığma yapılara ait hesap ve yapım kuralları çerçevesinde oluşturulduğu anlaşılmaktadır. Bu kapsamda karşılaşılan ilk çalışmalardan biri F. Noel Taylor tarafından kaleme alınan "Masonry As Applied to Civil Engineering" kitabıdır [8]. Kitapta yığma yapıların inşasına dair temel bilgiler teorik bir alt yapı oluşturularak, yüksek matematiğe çok ihtiyaç duyulmadan, izah edilmeye çalışılmış ve pratik örnekler sunulmuştur.

Jacques Heyman tarafından yazılan “The Stone Skeleton” kitabı yine bu kitaplara benzer şekilde bir taş binanın nasıl davranacağını anlamak isteyenler için, geniş açıklamalara yer verilen ve matematiksel hesaplamaların gerekli yerlerde verildiği yalın bir dil ile kaleme alınmıştır [9].

Yapı malzemesi olarak yığma tuğla kullanımı oldukça uzun bir geçmişe sahiptir. Gelişen inşaat teknolojisi tuğlanın yapısal bir malzeme olarak kullanılmasını azaltmaktadır. Diğer taraftan teknik fakültelerde taşıyıcı tuğla duvarlara ait tasarım kriterlerinin betonarme ve çelik malzemelere oranla daha az öğretilmesi bu malzemenin unutulmasına neden olan diğer bir etkidir. Bu noktadan hareketle tuğla tasarımının temel prensiplerini, kullanılan malzemelerin temel özelliklerini, çeşitli yapısal elemanların tasarımını ve komple bir binanın tasarımını gerçekleştirme sürecini anlatan “Design Of Masonry Structures” kitabı 1997’de yayınlanmıştır [10].

Ülkemizde tarihi yapılar üzerine yayınlanmış ve başucu kaynakları olarak kabul gören eserler incelendiğinde içeriklerinin mimari konular ağırlıklı olduğu görülmektedir. En önemli çalışmalardan biri merhum Mimar-Mühendis Ekrem Hakkı Ayverdi tarafından bizlere miras kalan toplam 7 ciltlik eseridir. Ekrem Hakkı Ayverdi 1953 yılında Fatih Devri Mimarisi [11]’ni ve 1966 yılında Osmanlı Mimari Çağının Menşei [12] ve Osmanlı Mimarisinin İlk Devri [13] kitaplarını, 1973 yılında ise Osmanlı Mimarisi’nde Fatih Devri [14] çalışmasını yayınlamakla dört ciltlik seriyi tamamlamıştır. 1981 yılına gelindiğinde Avrupa’da Osmanlı Mimari Eserleri [15] adlı üç ciltlik önemli bir diğer eseri daha tamamlayarak Osmanlı İmparatorluğu’nun Avrupa topraklarında inşa ettiği eserleri tarihi hafızalarımıza kazandırmıştır. Bu eserler restorasyon üzerine uzmanlaşmış meslektaşlara önemli bir kaynak sağlamakla birlikte içerisinde inşaat mühendisliği üzerine özelleşen hesap yöntem ve sistemlerini içermemektedir. Fakat mimari elemanların tip ve kullanım biçimlerini betimlemesi; plan, kesit ve fotoğraflara yer verilmesi bakımından ise inşaat mühendisleri için önemli bir kaynak olmayı başarmıştır.

Hüsrev Tayla, “Geleneksel Türk Mimarisinde Yapı Sistem ve Elemanları” isimli iki ciltlik eserinde, Türk coğrafyasında çeşitli kullanım amaçlarına yönelik inşa edilmiş yapıların tamamına yakınına gruplandırmak suretiyle; malzeme, yapı elemanları kullanımı ve inşaat tekniklerini açıklamıştır [16].

Nafiz Çamlıbel'e ait "Sinan Mimarlığında Strüktürün Analitik İncelenmesi" kitabı Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi yayını olarak 1998 yılında yayınlanmıştır [17]. Kitap Mimar Sinan eserlerine ait, form ve taşıyıcı sistem analizlerini içermektedir.

Orhan Bingöl tarafından hazırlanan "Arkeolojik Mimaride Taş" kitabı [18]; ilk çağ ve Roma dönemine inşa edilen yapılara ait; malzemenin ocaktan çıkarılması, işlenmesi, taşınması ve yerleştirilmesi süreçlerini adım adım anlatan değerli bir yapıttır.

Dünya literatürü incelendiğinde tarihi yapıların ileri bilgisayar modelleme teknikleriyle analizlerinin gerçekleştirildiği birçok çalışma ile karşılaşmaktadır. Önemli sayılabilecek çalışmalar içerisinde Chiarugi, Fanelli ve Giuseppetti'nin ortak çalışması sonucu 1993 yılında yayınlanan "Brunelleschi Kubbesinin Teşhis ve Güçlendirilmesi" (Diagnosis and strengthening of the Brunelleschi Dome) çalışması ilk sırada alınabilir [19]. Çalışmada Floransa Katedrali'nde yer alan ve Brunelleschi Kubbesi olarak da bilinen dünyanın en büyük yığma kubbesinde oluşan yapısal çatlaklar incelenmiştir. İnceleme için yapının hasarsız halinin tanımlandığı ilk sanal model ve çatlakların dağılımlarını tanımlandığı birinci tanımlama modeli olmak üzere iki model kullanılmıştır.

Macchi ve arkadaşları tarafından yapılan "Eğik Pisa Kulesi Yapısal Değerlendirmesi" (Structural assessment of the leaning tower of Pisa) çalışması 1993 yayınlanan ve sonlu eleman modeline dayanan başka bir çalışmadır. Çalışmada sonlu elemanlar modeli sonuçlarının doğrusal elastik davranış sebebiyle sınırlamaları olduğu fakat karmaşık duvar yapılarının davranışı ile çatlak oluşumları hakkında değerli bilgiler sağlayabileceği vurgulanmıştır [20]. Ayrıca basitleştirilmiş analiz yaklaşımlarının faydalı olsalar dahi yapısal davranışın önemli faktörlerini ihmal edebileceğinin altı çizilmiştir.

UNESCO tarafından 1980 yılında Dünya Mirası ilan edilen Kolezyum'a ait yapısal davranışın belirlenmesi ve yapı güvenliğinin değerlendirmesini amaçlayan disiplinler arası birçok araştırmanın konusu olmuştur. 1993 yılında Croci ve Viscovik'in tarafından farklı matematik modelleri kullanılarak sonlu eleman modelinin oluşturduğu "Kolezyum'daki Göçmelerin Nedenleri Güvenlik Seviyelerinin Yüzyılları ve Değerlendirilmesi" (Causes of failures of Colosseum over the centuries and evaluation of the safety levels) isimli çalışma yayınlanmıştır [21].

1995 yılında Croci tarafından yapılan yerinde incelemelere ve analitik modelleme dayalı çalışmalar ile kısmi çöküş sebepleri açıklığa kavuşturulmaya çalışılmıştır [22]. Çalışmada 19. yüzyılda restorasyon çalışmaları sonrasında, mevcut durumda güvenlik değerlendirmesine izin vermek için gerçekleştirilen bazı matematiksel modeller önerilmiştir. Sonuçlar tartışılarak anıtın deprem açısından zayıflığı ana hatlarıyla belirtilmiştir. Güçlendirilmesi gereken bölgeler detaylı olarak incelenmiş ve bazı ön müdahale kriterleri önerilmiştir.

2010 yılına gelindiğinde gelişen bilgisayar kapasiteleri sayesinde sonlu eleman modellerinde de ilerlemeler yaşanmıştır. Roca ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [23] makro modelleme (FEM), basitleştirilmiş mikro modelleme (FEMDE) ve detaylı mikro modelleme (DEM) yaklaşımları karşılaştırılmıştır.

Günümüzde tasarlanan yapıların büyüklüğü ve işlevsel karmaşıklığı, disiplinler arası koordineli çalışmanın önemini arttırmıştır. Projelendirme sürecinde hataların önüne geçilmesi, inşaat esnasında oluşacak zaman ve malzeme kayıplarının azaltılması amacıyla yapı bilgi modelleme sistemi geliştirilmiştir. Kısaca BIM (Building Information Modelling) olarak adlandırılan bu sistemde, projeye ait tüm elemanlar ve aksesuarlar üç boyutlu olarak modele tanımlanır. Yapısal analizler ve mimari tasarım dışında günümüzde önemi gittikçe artan enerji verimliliği gibi konularda analizlerin hızlı ve doğru olarak yapılabilmesini sağlayan bu sistem tarihi yapıların modellenmesinde de kullanılmaktadır. Buradan hareketle Cardani ve Angjeliu tarafından yapılan çalışmada [24], BIM kullanılarak tanımlanan binanın yapısal modeli Sap2000 ve Abaqus programına aktarılarak, her iki analiz programı arasındaki hesap sonuçları tartışılmıştır.

Karasal lazer tarayıcıların tarihi yapıların ölçümlerinde kullanılması yoğunluğunun artması ve ölçüm sonuçlarının güvenilir olması, sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında lazer tarayıcı verilerinin kullanılabilceği fikrini doğurmuştur. 2015 yılında nokta bulutu verileri üzerinden sonlu eleman modelinin oluşturulmasına yönelik yarı otomatik bir yöntemin geliştirilmiştir [25]. Yöntem üzerinde benzer birçok çalışma yapılmaya devam etmektedir [26, 27].

2. TARİHİ YAPI KURAMSAL TEMELLERİ VE HASAR NEDENLERİ

Tarihi yapılar ile ilgili çalışmalarda disiplinler arası çalışma oldukça önem arz etmektedir. Restorasyon projelerinde yapı mühendisleri, mimarlar, sanat tarihçileri, arkeologlar ve ilgili birçok disiplin bir arada çalışması zorunludur. Disiplinler arası iletişimin sağlıklı yapılabilmesi için tarihi yapılarla ilgili kuramsal kavramların doğru kullanılması önemlidir. Bu nedenle aşağıda başlıca tanım ve kavramlar verilmeye çalışılmıştır.

2.1. Tarihi Yapılarda Temel Tanım ve Kavramlar

Kültür varlığı

Tarih öncesi ve tarihi devirlere ait bilim, kültür, din ve güzel sanatlarla ilgili bulunan veya tarih öncesi ya da tarihi devirlerde sosyal yaşama konu olmuş bilimsel ve kültürel açıdan özgün değer taşıyan yer üstünde, yer altında veya su altındaki bütün taşınır ve taşınmaz varlıklardır [28]. (2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası 3. madde 1. Bend/ Değişik: 14/7/2004 - 5226/1 md.)

Sit alanı

Sit alanları, tarih öncesinden günümüze kadar gelen çeşitli medeniyetlerin ürünü olup, yaşadıkları devirlerin sosyal, ekonomik, mimari ve benzeri özelliklerini yansıtan kent ve kent kalıntıları, kültür varlıklarının yoğun olarak bulunduğu sosyal yaşama konu olmuş veya önemli tarihi hadiselerin cereyan ettiği yerler ve tespiti yapılmış tabiat özellikleri ile korunması gerekli alanlardır [28]. 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası 3. Madde bend (3) /Değişik: 14/7/2004 - 5226/1 Md. ‘sine göre sit alanları;

-Doğal sit

-Tarihi sit

-Kentsel sit

-Kentsel arkeolojik sit

alt başlıklar altında gruplandırılmıştır. Sit alanlarına ilişkin ayrıntılı tanımlar ve bu alanlarda yapılabilecekler, bu alanlara ilişkin denetim koşulları, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun ilke kararları ile düzenlenmiştir.

Koruma alanı

Tarihi yapı ve sit alanlarını çevreleyen kentsel dokular veya açık alanlarda yapılacak yeni düzenlemelerin tarihi yapıyı veya siti görsel veya fiziki yönden olumsuz etkilememesi için, duruma göre farklı genişliklerde olan alanlardır. Koruma alanları, Koruma Bölge Kurulları tarafından belirlenir [4].

Anıt

Değişik uygarlıkların bilim ve teknik düzeyi, sanat anlayışı, sosyal yaşamı hakkında somut veri sağlayan tarihi yapılar "kültür varlığı", "anıt" olarak nitelendirilerek koruma altına alınırlar [4].

Strüktür

Bir yapının yük taşıyıcı bölümüdür.

Tarihi yapı

Tarihi kentleri oluşturan, geleneksel malzemelerle (kerpiç, tuğla, ahşap, taş) yapılmış evler, ahşap ve kâgir câmiler, kaleler, köprüler, medreseler, kervansaraylar, tekkeler ve diğer benzeri yapılar bu kapsamdadır. Koruma ile ilgili yasamıza göre, 19. yüzyıl sonuna kadar yapılmış olan binalar tarihi olarak kabul edilir ve koruma altına alınırlar. 20. yüzyıl mimarlığının seçkin örnekleri de özel tasarımları, dönemin yaşam ve kültürünü yansıtmaları dolayısıyla, tescil edilerek korunmaktadırlar [4].

Dünya mirası

Tarih öncesinden 20. yüzyıl mimarlığına kadar geniş bir dönem içinde yapılmış, evrensel değer taşıyan, özgünlüğü ve bütünlüğü korunmuş tarihi yerleşmeler, anıtlar ve doğal alanlar

UNESCO tarafından oluşturulan Dünya Mirası Listesi'ne girerek uluslararası koruma kapsamına alınmaktadır [4].

Rölöve

Tarihi yapıların mevcut durumunu gösteren plan, kesit, görünüş çizimleridir [4].

Analitik rölöve

Rölöve çizimlerinin üzerine, malzeme, yapım sistemi, yapım tekniği ve kronolojik analiz, zaman içinde yapılmış değişiklikler, hasarlar (çatlaklar, oyuklar, şekil ve yer değiştirmeler) renk veya tarama teknikleriyle işlenerek, incelenen tarihi yapının mevcut durumu hakkında ayrıntılı çözümler, değerlendirmeler içeren çizimlerdir [4].

Restitüsyon

Sonradan değişikliğe uğramış, kısmen veya tümü yıkılmış binaların ilk yapıldıkları sıradaki durumlarını ve zaman içindeki değişiklikleri dönemsel olarak ifade etmek için hazırlanan plan, kesit, görünüş ve perspektif çizimleridir [4].

Basit onarım

Kültür varlığı olarak tescilli bir yapının bozularak eksilen mimari öğelerinin, özgün biçimlerine uygun olarak aynı malzeme ile değiştirilmesi, dökülen iç ve dış sıvaların, kaplamaların, renk ve malzeme uyumu sağlanarak, özgün biçimlerine uygun olarak yenilenmesi 660 sayılı ilke kararıyla "basit onarım" olarak tanımlanmıştır [29]. Konuya ilişkin genel tanım ve ilkeler; Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999-660 sayılı ilke kararında, "Basit Onarım" başlığı altında açıklanmıştır.

Konservasyon

Tarihi yapıların malzeme, bezeme ve taşıyıcı sisteminde zaman içinde oluşan hasarların giderilmesi, malzemelerin temizlenip sağlamlaştırılması, duvar resimlerinin temizlenip çatlaklarının, taşıyıcı duvardan ayrılmış kısımlarının desteklenmesi, mozaiklerin

dağılmadan yerlerinde tutulması, küçük dokunuşlarla sunuşun iyileştirilmesi işlemleridir [4].

Esaslı onarım (Restorasyon)

Basit onarımı aşan koruma müdahaleleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bir tarihi yapının hasarlarının giderilmesi, daha uzun süre yaşamasının sağlanması amacıyla, tarihi belge niteliğini zedelememeye özen gösterilerek, geleneksel ve ileri tekniklerden yararlanılarak yapılan müdahalelerdir. Mevzuatta "kapsamlı onarım" olarak da değerlendirilmektedir. Restorasyon malzemenin, strüktürün, zeminin sağlamlaştırmasından başlayarak, kopmuş kısımların bütünlenmesine, eskimiş, işlevini görmeyen parçaların yenileriyle değiştirilmesine, yok olan bölümlerin veya artık kullanılamaz duruma gelmiş yapıların yeniden yapımına kadar uzanan bir çeşitlenme gösterir.

Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999 gün-660 sayılı ilke kararında [29] esaslı onarım müdahaleleri; yapının rölöveye dayanan restitüsyon ve/veya restorasyon projeleri ile diğer ilgili belgelerin içerikleri ve ölçekleri koruma kurulunca belirlenen müdahalelerdir. Bu müdahaleler:

- Sağlamlaştırma (Konsolidasyon),
- Temizleme (Liberasyon),
- Bütünleme (Reintegrasyon),
- Yenileme (Renovasyon),
- Yeniden Yapma (Rekonstrüksiyon),
- Taşıma (Moving) biçiminde tanımlanmıştır.

Konsolidasyon

Sağlamlaştırma anlamına gelen bu terim; ayrılmış, bozulmuş malzemelerin ve zayıf, hasarlı taşıyıcı sistemlerin dayanımını arttırmak için yapılan müdahaleler için kullanılmaktadır.

Sağlamlaştırma güçlendirme

Mevcut malzemenin, taşıyıcı sistemin yetersiz olması durumunda, gelecekteki depremlere karşı bir önlem olarak kesit genişletme, kuşaklama, gergilerle bağlama ve benzeri önlemler alınarak, mevcut sistemin desteklenmesi öngörülebilir. Venedik Tüzüğü'nün 10. maddesinde, “Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşâ için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamlaştırılabilir.” ifadesi mevcuttur [3].

Bütünleme

Yapıya ait belirli bir bölümün yok olan kısımların, mevcut kısımlara ya da belgelemeye dayanarak yerine konulmasına "bütünleme" denilmektedir. Venedik Tüzüğü'nün 12. maddesinde “Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünle uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir şekilde yansıtmaması için, özgünden ayırt edilebilecek şekilde yapılması gereklidir.” denilmektedir [3].

Yenileme

Bakımsız kalarak onarılamaz duruma gelmiş dikme, döşeme, çatı vb. öğelerin yeni malzeme kullanılarak değiştirilmesi ile yapının daha uzun süre işlev görmesinin sağlanmasıdır.

Yeniden yapım

Büyük ölçüde hasar görmüş veya tümüyle yok olmuş bir yapının yeniden yapımıdır.

Taşıma

Tarihi yapının mevcut bulunduğu alan üzerinde korunmasının mümkün olmadığı, büyük hasarlar alabilmesi veyahut da tamamıyla yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalındığı durumlarda, tarihi yapının taşıyıcı sistemine zarar verilmeden bir konumdan diğer başka bir konuma götürülmesine taşıma denir. Venedik Tüzüğü'nün 7. maddesinde anıtların taşınmasına “Anıtın korunması bunu gerektirdiği, ya da çok önemli ulusal, ya da uluslararası çıkarların bulunduğu durumlar dışında izin verilmemelidir.” denilmiştir [3].

2.2. Tarihi Yapı Bozunmalarının Başlıca Nedenleri

Tarihi yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin çoğu doğada bulunduğu halde ve mimari ihtiyaçlar doğrultusunda şekil verme işleminin dışında başka bir işleme tabi tutulmadığı için doğal koşullara karşı oldukça dayanıklıdır. İnsanlık tarihi boyunca yaşamış inşaatçılar tecrübeleri doğrultusunda taş malzemeleri sınıflandırmış ve yapının özelliğine göre hangi tür taşın yapının hangi bölümlerinde kullanılmasının daha uygun olacağını belirlemişlerdir. Ancak taşların, farklı kullanım alanlarına ve yapı içindeki yerlerine bağlı olarak, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmaya, doğrudan veya dolaylı çevresel etkileşimler sonucu maruz kalmaları kaçınılmazdır.

Bozunmaya neden olan temel faktörlerin başında insan gelmekle beraber, bu faktörler; deprem, yangın, su baskını, rüzgâr, donma-çözünme, sıcaklık dalgalanmaları, kimyasal malzemeler, kirlilik, tuz kristalleşmesi ve biyolojik yerleşimler olarak sıralanabilir. Bu bölümde yapının maruz kaldığı bozunmalar belirli başlıklar altında gruplandırılarak incelenmeye ve açıklanmaya çalışılmıştır.

Zeminden kaynaklanan hasarlar

Yapıların inşa edilmiş olduğu zemin koşullarının yapıdan gelen düşey yükleri karşılayacak taşıma gücüne sahip olmaması başta olmak üzere, yapının oturduğu alan içerisinde farklı zemin tiplerinin bulunması, çok uzun vadede farklı değerlerde zemin oturmalarına ve dolayısıyla temellerde dönmelere sebebiyet verebilmektedir. Bu durumda taşıyıcı sisteminde oluşan ek gerilmeler sebebiyle, çekme mukavemeti düşük olan yığma yapılarda zemine bağlı çatlak ve ileri aşamalarda ayrılmaların oluşması mümkündür. Fakat bu çok sık rastlanır bir durum değildir. Zemin taşıma gücünün yetersiz olması durumunda inşa sırasında temeller için ek bir önlem alınmadıysa yapının günümüze kadar ulaşması pek mümkün değildir.

Fakat İtalya'nın Toskana bölgesi Pisa şehrinde yer alan Pisa Kulesi (Torre Di Pisa, MS.1173) gibi, zemin taşıma problemi sebebiyle ekseninde dönmelerin olduğu ve bu nedenle üne kavuşarak bölgesinin simgesi haline gelmiş yapıları gözlemlemek mümkündür. Bir diğer örnek Estonya'nın Tartu kent merkezinde bulunan ve günümüzde Tartu Sanat Müzesi olarak kullanılan (Leaning House of Tartu) Tartu Yaslanmış Evi'dir (Resim 2.1). 1793 yılında inşa edilen evin doğu cephesi orta çağ şehir duvarları üzerine oturtulmuş olup,

batı cephesi inşasında ahşap kazıklar kullanılmıştır. Kazıklarda oluşan oturmalar sebebiyle yapı batı cephesi ekseninde dönmüştür.



Resim 2.1. Tartu yaslanmış evi (2013)

Zemin taşıma gücü problemi yanı sıra en çok karşılaşılan zemin sorunlarının sebebi, tarihi yapı çevresine yapılan günümüz inşaat uygulamalarından ve bu uygulamaların beraberinde getirdiği çevresel etkilerden kaynaklanmaktadır. Ankara Kalesi giriş kapısının sağında yer alan 15 Numaralı Burç duvarlarında 1935-1940'lardan bu yana varlığı bilinen çatlakların (Resim 2.2), 2016 yılı onarımları sırasında burç duvarı önünde yapılan kazıdan olumsuz etkilendiği söylenebilir (Resim 2.3).

Yangınlar

En yakın güncel örnek 15 Nisan 2019 günü 850 yıllık Notre Dame Katedrali'nin çatısında başlayan yangındır. Ahşap strüktürlü çatı ve ana kubbe yangın sırasında çökmüştür. Yangın söndürülmüşse de yapı içerisinde sergilenen paha biçilemez tablolar ve heykeller hasar almıştır.

Ülkemizde ise 28 Kasım 2010 tarihinde İstanbul'un simgelerinden bir kabul edilen tarihi Haydarpaşa Garı'nın çatısında başlayan yangın sebebiyle, çatı ve garın dördüncü katı büyük hasar almıştır.



Resim 2.2. Ankara Kalesi 1935-1940 yılları arası çatlakları (AV Arşivi)



Resim 2.3. Ankara Kalesi 15 numaralı burç 2016 yılı onarım çalışmaları (AV Arşivi)

Strüktür tasarımındaki hatalar

Tarihi yapının, taşıyıcı sisteminin ilk tasarımı aşamasında, statik durumda oluşacak iç kuvvetlerin doğru hesaplanamaması ya da olası deprem etkileri altında oluşacak kesit zorlamalarının yeter derecede değerlendirilememesi nedeniyle oluşan hasarlardır. Yapının inşâ edildiği zamana bağlı olarak, elde olan teknik bilgiler ışığında, mühendislik yaklaşımlarında taşıyıcı sistem seçimi ve bu sisteme ait kesitlerin belirlenmesinde hatalar ve ihmallerin söz konusu olması da mümkündür.

Taşıyıcı sistemi hatalı tasarlanmış olan anıtların belki de en görkemlisi İstanbul Ayasofya'sıdır (ilk inşâ tarihi M.S.532-537 arası). İlk tasarımında şimdiki kubbesinden çok alçak bir yelken tonozla örtülen yapı, 31 m. açıklığında bir kubbeyi destekleyecek payanda düzenine sahip olmadığı ve çok hızlı inşâ edildiği için kubbenin itkisiyle yan duvarlarda açılmalar olmuş ve kubbe geçirdiği ilk deprem sonrasında (M.S.558 yılı depremi) çökmüştür [2]. M.S.986 yılında oluşan birden fazla depremin sonucunda, batı kanadı yarım kubbesi ile birlikte, ana kubbenin dörtte birlik bölümü, yapılan onarımların ardından 1346 yılında gerçekleşen diğer depremle ise de doğu kanadı yarım kubbesi ile birlikte ana kubbenin dörtte birlik bölümü yıkılmıştır [9].

Hatalı malzeme kullanımı

Anadolu'nun birçok ören yerinde rastlanan tapınak, tiyatro gibi anıtlar iri boyutlu, dayanıklı taşlarla yapıldıkları için günümüze kadar gelebilmişlerdir [2]. Yığma yapıların inşâsı için kullanılan malzemeler kullandıkları yer ve kullanılma biçimlerine dair değişmez kurallar barındırırlar. Bu kurallardan ilki kullanılan taş malzemelerin, tabakalaşma yönleri dikkate alınmak suretiyle hazırlanacak bloklarının, yine tabaka yönlerine paralel biçimde yerleştirilmesidir. Aksi takdirde hem basınç mukavemetinde ciddi kayıplar olacak hem de atmosferik etkiler altında aşınan tabakalar ana bloktan ayrılacaktır. Bir diğer kural tuğla gibi pişmiş bir malzeme ile kerpiç gibi pişmemiş kil ve bütünlüğü arttırıcı malzemelerden oluşturulan yapı elemanlarının su ile doğrudan temas sağlayacak seviyelerde kullanılmasıdır. Suyun etkisiyle her iki malzemede bozulmalar oluşacağı için bu tür malzemeler temel inşaatında kullanılmazlar.

Diğer bir kural ahşap malzemelerle ilgilidir. Ahşap malzemeler sert ağaçlardan imal edilseler dahi kullanılmadan önce mutlaka belirli bir süre kurumaya bırakılması gerekmektedir. Aksi takdirde kuruyan ahşap yapı sisteminde öngörülemeyen gerilme ve şekil değiştirmelere maruz kalacaktır. Aksi durumların olması yapıda hasarların oluşmasına sebebiyet verecektir.

Kötü işçilik ve detay kullanımı

Tarihi yapıyı oluşturan elemanların uygun biçimde bir araya getirmesi oldukça önemlidir. Kesme taş duvarlara sahip yapılarda, blokları birleştirmek için kullanılan demir bağlantı elemanlarının yalıtımlarının iyi sağlanması ve bu sayede korozyonun önüne geçilmesi gerekmektedir. Günümüzde olanaklar çerçevesinde paslanmaz çelik veya titanyum kenetler kullanılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir [2]. Fakat kullanılan bu tür çelik ve titanyum malzemelerin maliyetleri oldukça fazladır. Roma ve Osmanlı dönemi yapılarında korozyonun engellenmesi için bağlantı yerine açılan oluklardan eritilmiş kurşun dökülmesi suretiyle bağlantı elemanının dış ortamdan izole edildiği bilinmektedir. Uygulama oldukça iyi işçilik, hız ve tecrübe gerektirmektedir.



Resim 2.4. Yozgat Boğazlıyan Çarşı Hamamı güney cephesi (2017)

Osmanlı'nın son dönemlerinde inşâ edilen yapılarda işçilik kalitesinin düştüğü söylenebilir. Bu durumun dönemin ekonomik zorluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna örnek Çarşı-Şehir Hamamı adıyla bilinen ve 18.-19. yüzyıllar arasında inşâ edildiğini tahmin edilen Yozgat Boğazlıyan Çarşı Hamamı'dır. Yapıdaki işçilik sorunları ele alındığında; karışık derzli moloz taş duvar örgüsünde farklı taş boyutların bulunduğu, onarımlar sırasında malzeme değişimi sebebiyle duvar sürekliliğinin bozulduğu, duvar örgüsünde lokal süreksizlikler bulunduğu, derz kalınlıklarının fazla tutulduğu, kemerleri oluşturan taşların kesimlerinin kemer üzerine gelen yükü aksel olarak aktarabilmek için uygun açıda teşkil edilmediği belirlenmiştir (Resim 2.4).

Doğal afetler

Yapının bulunduğu bölgenin aktif fay hatlarına yakınlığı, olası yer hareketlerinde yapının hasar almasını sağlayan diğer bir etmendir. Tarihi yapılar yığma tekniği ile inşâ edildiği için ağır yapılardır ve dolayısıyla etkilendikleri deprem yükleri fazladır. 0,15 sn. ile 0,45 sn. gibi kısa doğal periyotlara sahiptirler. Fakat duvarlar genişliklerinin büyük oluşu, örtü sitemlerinde kubbe ve tonoz gibi elemanların kullanılması ve dönemi inşaatçıların plana ait duvar kalınlık dağılımlarında elde ettikleri tecrübeler sebebiyle rijitlik merkezi ve ağırlık merkezi birbirine yakın yapılar inşâ etme gelenekleri sebebiyle deprem yükleri altında burulma momentleri bakımından oldukça az etki almaktadırlar. Yine de deprem etkileri, şiddet ve süresinin belirsizliği sebebiyle tarihi yapılar için hala en büyük risk grubunu oluşturmaktadır. Toprak kayması, sel, tayfun vb. tarihi yapılara zarar veren diğer doğal afetlerdir.

Uzun süreli doğal etkenler

Tarihi olsun olmasın her tür yapı doğal etkilere maruz kaldığı için dönemsel bakımlar gerektirir. Bakımlar arası sürelerin uzaması ya da bakımların yapılmaması, doğal etkilere sebebiyle bozunmaya başlayan yapı malzemesinin ve dolayısıyla yapının kendisinin bozunma süresini kısaltır ve hasarların hızlı oluşumlarına sebebiyet verir. Bu sebeple tarihi yapılarda bilhassa bitkiselleşme, zemin yalıtımı, yağmur suyu uzaklaştırılması ile ilgili drenaj problemleri vb. doğal etki sorunlarının ivedilikle giderilerek yapıya dair rutin bakımların programlanması büyük önem arz etmektedir. Resim 2.5'de yapı benden duvarları ile kubbe ve kasnak altında oluşan bitkiselleşmeler görülmektedir.



Resim 2.5. Kereferye Orta Câmi (2018)

Vandalizm

Vandalizm bilerek ve isteyerek kiŐiye veya kuruma ait bir mala, araca veya ürüne zarar verme eylemi olarak tanımlanır. Bir düŐüncenin, kültürün veya inancın simgesi anıtlara, yapılan saldırılar Vandalizm'e örnek gösterilebilirler.

Hava kirliliği

Motorlu taŐıtlardan, fabrikalardan y da ısınma amacıyla t ketlenen karbon esaslı maddelerden yayılan karbondioksit, kükürt dioksit ve kükürt tiroksin gazlarının yağmur suyunda erimesiyle oluşan asitler, taŐlara zarar vermektedir. Ayrıca taş yüzeylerinde kararmalar oluŐurmaktadır. Ankara Anıttepe'de yer alan Anıtkabir'in traverten kaplama yüzeyleri hava kirliliği sebebiyle kararmakta ve bu nedenle belirli periyotlarda temizlenmektedir [30].

Yapının terk edilmesi

Yapının terk edilmesi daha önceki bölümde açıklanan uzun süreli doğal etkilerin gerçekleşmesini sağlar ve terk dolayısıyla bakımları yapılmayan yapı zaman içerisinde metruk hale döner (Resim 2.6).



Resim 2.6. Yenice Vardar Ahmet Bey Câmii (2018)

Savaşlar

Savaşlar tarihi yapıların tahrip olmalarında önemli bir etkiye sahiptir. Savaşlarda tarihi eserlere verilen tahribatların, savaşın getirdiği doğal yıkım sonucu olduğu düşünülse de son elli yıl içerisinde bölgesinde önemli ve değerli olarak kabul edilen eserlere kasıtlı saldırıların olduğu görülmektedir. Bunlardan biri Mostar Köprüsüdür. Köprü Bosna-Hersek'in Mostar şehrinden geçen Neretva nehri üzerinde bulunmaktadır. Mimar Sinan'ın öğrencisi Mimar Hayreddin tarafından 1566 yılında inşa edilen köprü 1992 yılında Sırp tarafından bombalanmış, 9 Kasım 1993'de ise Hırvat güçleri tarafından bombalanarak yıkılmıştır (Resim 2.7). Restorasyonunda en büyük desteği Türkiye'den bulan Mostar Köprüsü, restore edilerek 23 Temmuz 2004 tarihinde açılmış ve 2005 yılında Dünya Mirası listesine dâhil edilmiştir.



Resim 2.7. Restorasyon öncesi Mostar Köprüsü [31]

2.3. Tarihi Yapılarda Sık Görülen Hasar Çeşitleri ve Ayrışmalar

Kayaçlardaki ayrışma, çeşitli fiziksel etkiler altında gelişebileceği gibi mineraller arasındaki bağlayıcının kimyasal süreçlerle bozularak ortadan kalkması sonucu da oluşabilir. Bu nedenle ayrışma kimyasal ve fiziksel süreçler olmak üzere iki kategoride gerçekleşir. Bu iki ayrışma süreci çoğunlukla birlikte etkir veya birbirine ortam hazırlar. Hava bileşiminde yer alan gazlar, su, sıcaklık, canlı ve organik maddeler ayrışma sürecinin başlıca etkenleridir [32].

Ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması çalışmaları kapsamında, değişik türdeki eserlerde gözlenen bozunma durumu anıt haritalaması metodu ile ayrıntılı olarak gösterilebilir. Bu konudaki çalışmaların temelini, Aachen Teknoloji Üniversitesi Jeoloji Enstitüsü'ndeki Doğal Taşlar ve Ayrışma Araştırma Grubu'nun geliştirdiği, fenomenolojik(görüngübilim) ayrışma kriterlerin, eserler üzerindeki ayrıntılı analizleri ve belgelenmesi yoluyla oluşturmaktadır. Bu çalışmada ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması, değişik türdeki kayaçların incelenmesi sonucunda bir tablo halinde sunulmuş ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu standart sınıflandırma sistemi, ayrışma biçimlerinin ayrıntılı olarak açıklanarak her ayrışma formunun bir sembol ile gösterilerek ayrışmanın yoğunluğuyla birlikte bir atlas halinde gösterilmesi esasına dayanmaktadır. Bu sınıflandırma sisteminde, ayrışma biçimleri hiyerarşik olarak ilk aşamada 5 büyük grup halinde verilmektedir [32]. Bu guruplar ve alt gurupları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Bunlara ek

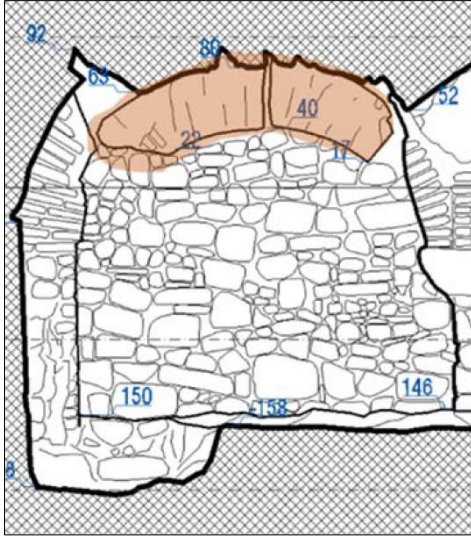
olarak ayrışma biçimi farklılıklarına bağlı olarak, ayrışma yoğunluğu dördüncü değerlendirme seviyesi olarak gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Ayrışma grup ve alt grupları

Çatlaklar & Deformasyon	Ayrılma / Eksilme	Materyal kaybı	Renk değişimi / Birikme	Biyolojik Yerleşim	
Çatlaklar Kırık Yıldız şeklindeki çatlak Kılcal çatlak Yüzeysel çatlak Yarık Deformasyon	Kabarma	Alveolar ayrışma	Kabuk oluşumu	Algler	
		Patlama	Erozyon		Birikme
	Tabakalaşma		Diferensiyal erozyon	Renk değişimi	Yosun
			Yuvarlaklaşma	Renklenme	Mantar
	Dağılma	Pürüzlenme	Renk açılması	Bitki	
		Mekanik hasar Darbe hasarı Kesme Çizme Aşınma Delinme Kayıp parça Tozuma Kırıntılanma	Nemli alanlar		
	Leke				
	Çiçeklenme (Tuz kristallenmesi)				
	Parlak görünüş				
	Grafiti				
	Kirlenme				
	Kabuk altı çiçeklenmesi				

Ayrılmalar

Ayrılma bir duvar parçası ya da yığma yapı öğelerinin kendi içinde parçalara ayrılmadan bütün olarak ait olduğu bölümle bağlantısının kaybolması ayrılma olarak tariflenir. Yapı cephelerinde çevresel etkilere bağlı olarak oluşan yüzey bozulmaları, derz boşalmaları ve çatlaklar zamana bağlı olarak duvar elemanlarının birbirleriyle olan bağlantılarını zayıflatırlar. Aynı zamanda yapı zemininin homojen olmayışı ve temelde meydana gelen farklı oturmalar taşıyıcı duvarlara ek yükler getirerek duvar elemanlarının birbirleri ile bağlantılarında bozulmalara sebebiyet verir. Edirne Mihâl Bey Hamamı'nda yapılan incelemelerde su deposu tonozunda ayrılma gözlemlenmiş olup, Şekil 2.1'de ilgili bölge kesiti, Resim 2.8'de ise ayrılma oluşan bölge gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Edirne Mihâl Bey Hamamı su deposu tonozu (AP Arşivi, 2016)



Resim 2.8. Edirne Mihâl Bey Hamamı su deposu tonozu (2016)

Yıkılmalar

Ayrılma ve çatak oluşumunun ilerlemesiyle birlikte yapı bütünlüğü bozulan yapı elemanlarının göçmesi ile birlikte yıkılmalar oluşur. Antalya Phaselis Antik tiyatrosu Sahne (Skena) bölümünde duvarlar yıkılarak sahnenin kuzey bölümü doldürmüştür (Resim 2.9). Resim 2.10'da verilen Yenice Ahmet Bey Câmii batı beden duvarları ve beraberinde kubbenin bir kısmı yıkılmıştır



Resim 2.9. Phaselis Antik Tiyatrosu sahne bölümü yıkılan duvarlar (2014)



Resim 2.10. Yenice Vardar Ahmet Bey Câmii (2018)

Çatlaklar

Deprem etkisi, oturma, zeminin sağlam olmayışı, dengesiz yük dağılımı ya da taşıyıcı sistemin hatalı olması gibi nedenler kaynaklanan ve 3 cm den küçük genişlikteki çatlaklardır.

Birçok doğal taşta tozu ve nemi içine çeken, taş yüzeyini ve kesitini çaprazlamasına geçen ince, kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Bununla birlikte taşta çeşitli nedenlerden dolayı oluşan ince ve küçük (kılcal), tek çatlak veya çatlaklar sistemi yine bir ayrışma türü olarak nitelendirilmektedir. Bazı taşlar gözle görülür belirgin çatlakları olmamasına rağmen kırılma eğilimi gösterirler. Bu çatlaklar bazen taş yapısını izleyerek bazen da taş yapısından tamamen bağımsız olarak gelişerek eserlerde kırılmaya neden olur (Resim 2.11). Taş yüzeyinde bozunma sonucu olarak görülen çatlaklar sistemi ya doğal nedenlerden dolayı ya da taşın işlenişi sırasında darbelerden dolayı oluşabilmekte ve çıplak gözle hemen görülebilecek türde gelişebilir. Bazı tip çatlaklar ise kil ve benzeri malzeme içerir ki buralardaki bozunma süreci daha hızlı gelişir. Özellikle traverten ve bazı bej renkli mermerlerde çeşitli büyüklüklerde doğal gözenekler, hatta delikler bulunabilmektedir. Bu grup altında yer alan ayrıntılı tanımlara kırılma, yıldız şeklindeki kırılma, kılcal çatlaklar, çatlaklar ağı ile yarıklar dâhil edilebilir [32].



Resim 2.11. Edirne Mihâl Bey Hamamı halvet duvarı çatlağı (2016)

Kırılma, çatlakların taş üzerinde boydan boya gelişerek parçaların düşmeden birbirinden ayrılması anlamında kullanılmaktadır. Bu tip ayrışmaya, taşın işlenmesi sırasındaki oluşan kılcal çatlakların zaman içerisinde büyüyerek neden olabileceği kırılmalar yanında,

vandalizm ve savaş gibi insan kaynaklı veya deprem gibi doğal afetler de neden olabilmektedir.

Kılcal çatlaklar, genişliği 0,1 mm'yi aşmayan çatlaklara verilen isimdir. Çatlaklar ağı, birbirlerine bağlı kısa formda bir ağ görünümünde olan çatlak oluşumudur ve daha çok kireçtaşlarında gözlenir. Bu tip çatlaklar taşta kırılmalar yaratmazlar. Yüzeyde açıklıklara yol açan bu kanal tipi çatlaklar aslında bir çeşit gözenek olarak da kabul edilebilir.

Yarıklar, çatlakların bir sonraki aşaması olarak daha geniş yapıdaki aralıklardır (Resim 2.12). Taşın zayıf yapıda olduğu bölgelerde, kil minerallerinin yoğunlaştığı alanlarda oluşur ve genellikle taşta dikey durumda gelişir [32].



Resim 2.12. Edirne Mihâl Bey Hamamı yarık oluşumu (2016)

Çürüme-nemlenme

Çürüme, taş başta olmak üzere kâgir malzemelerde, mimari detayın yok olmasına kadar varabilecek madde kaybına neden olan bozulma türüdür [33].

Küflenme-böceklenme

Su ile teması olan ve nemden etkilenen taş ve ahşap eleman yüzeylerinde oluşan bozunma türüdür.

Tuzlanma-asitlenme

Taş yüzeyinde veya yüzeyin hemen altındaki zayıf karakterli tuz agregalarının renksiz bir yapıda veya beyaz bir renk göstererek birikmesi “çiçeklenme” veya “tuz kristallenmesi” adı altında ele alınmaktadır. Yağışlarla ve zeminden kapiler yolla esere ulaşan suların içerdiği çözülmüş kimyasallar, ortamdaki ısı artışıyla yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Bu buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözünebilir tuzlar (Sodyum Klorür, Sodyum Sülfat, Magnezyum Sülfat), bazen de az çözünebilir tuzlar (Kalsit, baryum sülfat, amorf silika) taş yüzeyinde “çiçeklenme” adı da verilen yüzeysel bir birikim oluştururlar [32].

Kirlenme

Taş yüzeyinde, taşla ilgisi olmayan yabancı materyal birikimidir. Atmosferdeki çok yapışkan özellikleri olmayan toz, kül ve is partiküllerinin, homojen olmayan gri renkten siyaha varan renklerde taş yüzeyinde birikmesi en sık rastlanan kirlenme türüdür. Yerde bulunan toz, toprak ve çamur partiküllerinin güçlü yağışların sıçratması yoluyla taş yüzeyinde, griden kahverengine varan değişen renklerde birikmesi de kirlenmelere örnek olarak gösterilebilir [32].

Taş erimeleri ve eleman kayıpları

Yapıyı oluşturan elemanların (duvar örgüsü) ayrışma, çatlama ve ufalanma dışında bir bütün oluşturacak şekilde büyük bloklar halinde kopmalar sonucu oluşan kütleli kayıplardır. Yığma yapılarda malzeme eksilmesi boyutuna göre ve duvar yüzeyinden 25 cm ve fazla eksilme, kesit azalması sebebiyle yük aktarmada kesintilere neden olacağından statik sorun olarak değerlendirilmelidir (Resim 2.13).



Resim 2.13. Mihâl Bey Hamamı güney cephesi taş erimleri (2016)

Sehim-burkulma

Taşıyıcı elemanlar ataletleri (E.I) ölçüsünde üzerindeki yükleri taşıırken yine ataletleri ölçüsüne şekil değişimine uğramaktadır. Basit eğilme etkisi altında bulunan bir yapı elemanın eğilme göstermeden önceki çubuk eksenini ile elastik eğri durumu arasındaki deformasyon miktarı sehim olarak tanımlanır. Köy Câmilerinin geniş açıklık geçen mahfil katı ahşap kirişlemelerde zaman içerisinde oluşan sehim mahfil katının kullanımını güçleştirmektedir. Diğer taraftan genellikle düşey taşıyıcı elemanlarda, yüklemenin aksel olduğu varsayılsa da, yükler genellikle bir dış merkezlik ile düşey taşıyıcı elemana aktarılır. Dış merkezliğin sebebiyet verdiği eğilme, düşey taşıyıcı elemanın burkulmasına neden olur.

Derz boşalmaları

Yapı duvarlarında bağlayıcı unsur olarak kullanılan derzlerin, zaman içerisinde atmosferik şartlarından dolayı işlevselliğini yitirerek dökülmelerin gerçekleştiği kayıplardır (Resim 2.14).



Resim 2.14. Mihâl Bey Hamamı doğu cephesi taş erimeleri (2016)

Metal elemanlarda bozulmalar

Yapının inşası ya da onarımı sırasında kullanılan metal elemanların, dış koşullara karşı yalıtımlarının iyi sağlanmadığı durumlarda, zaman içerisinde oksijen ile tepkimeye girmesiyle metal elemanlarda korozyonun oluşmaktadır. Metal elemanlarda en sık karşılaşılan bozulma türü korozyondur. Bunun dışında metal elemanlarda hatalı tasarım sebebiyle aşınma, yorulma, aşırı yüklenme ve birleştirme hataları gibi fiziksel bozulma çeşitleri gözlemlenmektedir.

2.4. Tarihi Yığma Yapılarda Taşıyıcı Elemanlar

Bu bölümde tarihi yapılardaki taşıyıcı sistem elemanları ana başlıklar altında verilmeye çalışılırken, kendi içlerinde alt bölümlere ayrılarak, tanımlamaların daha geniş bir yelpazede sunulmasına özen gösterilmiştir.

2.4.1. Temeller

Kâgir, taş veya tuğladan yapılan yapı anlamındadır [34]. Bu tanımda belirtilen taş (doğal malzeme) ve tuğla 'ya (pişmiş toprak malzeme) ek olarak, kâgir malzemelere kerpiç (pişmemiş toprak malzeme) de eklenebilir.

Pişmemiş toprak malzeme olan kerpiç ve pişmiş toprak malzeme olan tuğla ve kiremit gibi ürünler temelde kullanılmamıştır. Çünkü her iki cins toprak malzeme de yer altında etkili olan su ve rutubetten zarar görmektedir. Mermer ise pahalı malzeme olduğundan kullanılması uygun değildir. Bu sebeple temellerde taş kullanılmıştır. Temelde kullanılan taşlar çevrede bol bulunması, toprak ve rutubetle bir arada olduğu zaman dayanma gücü dikkate alınarak seçilmektedir [16].

Devamlı kâgir temeller

Devamlı kâgir temeller temel hattının beden duvarları ve sütunlar fark etmeksizin yapının tüm hatları boyunca sürekliliğinin sağlanması gereksiniminde inşa edilen temel türüdür (Resim 2.15).

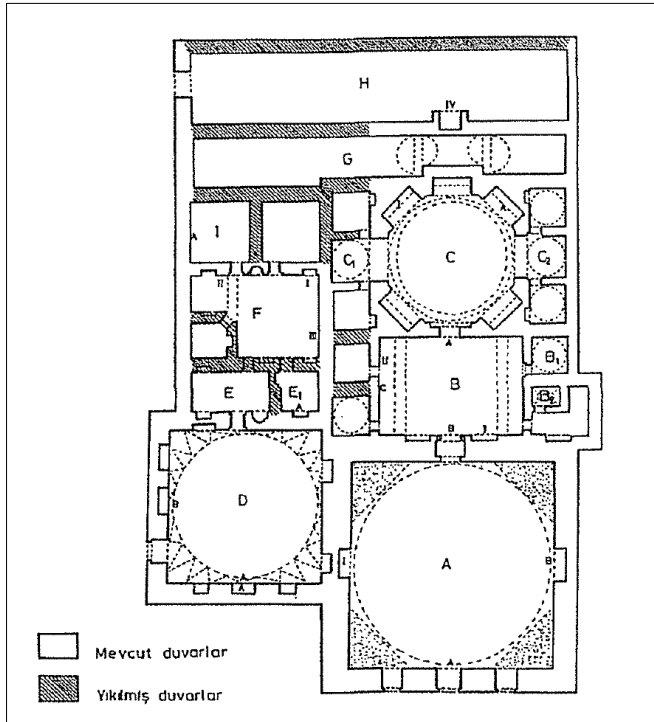


Resim 2.15. Edirne Mihâl Bey Hamamı devamlı kâgir temeli (AP Arşivi, 2016)

Devamlı kâgir temellerin inşâsında yapının oturacağı zeminin taşıma gücü durumuna göre farklı uygulamaların yapıldığı göze çarpmaktadır. İnşaat sırasında zemin doldurma ve sıkıştırma işlemlerinin ardından temel inşâsına geçilebildiği gibi mevcutta bulunan eski yapıların temelleri kullanılabilir.

Bu tür yapılara bir örnek İstanbul Tahtakale Hamamı'dır. Hüsrev Tayla'nın "Geleneksel Yapı Sistem ve Elemanları [16]" isimli iki ciltlik eserinde Tahtakale Hamamı temel sistemi (Şekil 2.2)'ne ait şu bilgiler verilmektedir:

"Tahtakale Hamamı kalın bir dolgu tabakası ve altında yumuşak siltli kil tabakasından oluşan bir zemin üzerinde inşâ edilmiştir. Yapının yakın çevresinde yapılmış olan sondajlarda Cemil Bilsel Caddesi başında dolgu kalınlığı 41 m, ana kaya başlangıcında ise 45 m. civarında; YeniCâmi avlusunda ise dolgu kalınlığı 11 m, başlangıcı 36 m civarında olduğu görülür. Oturmalara ve kaymalara sebep olan bir zemin üzerinde inşâ edilen yapıda, uygun yerlerde zemini sıkıştırmış olan mevcut Bizans temel duvarı kalıntıları (B hacmi A, B, C duvarları) temel duvarı olarak kullanılmış; zemini sıkıştırılmış olan diğer Bizans temel duvarı kalıntıları da temeller arasında bırakılmıştır."



Şekil 2.2. Tahtakale hamamı planı [16][16].

Tahtakale Hamamı temelinde, zeminin stabilizasyonunu sağlamak amacıyla temel duvarlarının arasında kalan kısımlar hypokaustun (Romalıların MS. 1. yüzyılda kurdukları merkezi ısıtma sistemi [35].) oturduğu seviyeye kadar, içinde çoğunluk seramik parçaları olmak üzere, çakıl taşı, moloz taşı ve eski yapı öğeleri parçaları (sütun, sütun başlığı vd.) olan toprakla sıkıştırılmıştır [16].

Münferit temeller

Zemin koşullarına bağlı olarak tekil taşıyıcılığı bulunan sütun, ayak ve minarelerin temellerinde Münferit (tekil) temeller kullanılmaktadır. Günümüzde kullandığımız inşaat yaklaşımlarında olduğu gibi, münferit temellerde, temel altında birim alana gelen yükü azaltmak amacıyla ampatmanlar yapılmaktadır (Resim 2.16).



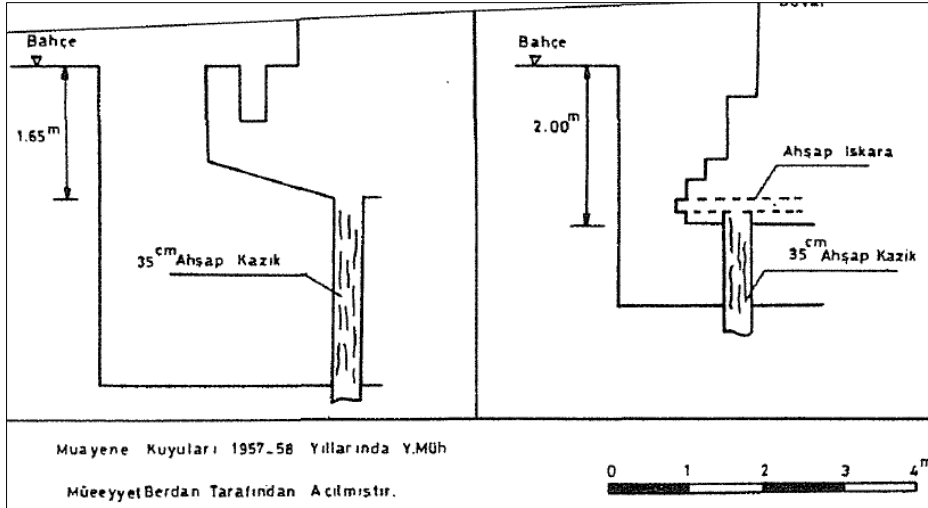
Resim 2.16. Antalya Kesik Minare sütun münferit temeli (AP Arşivi, 2018)

Kazıklı temeller

Zemin taşıma gücünün yeterli olmadığı durumlarda, zeminde istenilen taşıma gücüne ulaşabilmek için temel sağlam zemin kotuna kadar indirilmelidir. İndirilen zemin, istenilen kota kadar kontrollü olarak sıkıştırılmış başka bir zeminle doldurulabilir. Diğer taraftan günümüzde zemin enjeksiyonu ve taş kolon yapımı gibi zemin iyileştirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu çözümlerin ekonomik olmadığı ya da kazı güvenliği ile ilgili sorunların bulunduğu durumlarda kazık uygulaması ile yapı yüklerinin sağlam zemine aktarılması sağlanır. Günümüzde oldukça sık rastladığımız bu inşaat yöntemi çok eski dönemlerden bu yana uygulanmaya gelmiştir. Eski dönemlerin malzeme çeşitliliği sorunlarının gereği olarak kazık uygulamalarında ahşap direklerin kullanıldığı görülmektedir.

Ahşap kazık uygulamasının kazıkların sağlam zemine kadar çakıldıktan sonra, üstüne kâgir rıhtım veya temeller oturtularak ilerlediği çeşitli kaynaklardan aktarılmaktadır. Diğer bir durum ise sağlam zemine ulaşamayacak kadar derinliğe sahip olan alanlardır. Bu durumda mevcut zemin kazıklar çakmak suretiyle sıkıştırılarak zemin sağlamlaştırılır ve üzerine ahşap ızgaralar yerleştirilerek kazıkların beraber çalışmaları sağlanırdı [16].

Bu uygulamada kazık ve ızgaralar üzerine önce, eski tabirle rıhtım, günümüz deyiimiyle ise radye diyebileceğimiz yeterli kalınlıkta, kâgir döşeme yapılır. Bunun üzerine de devamlı veya tekil temeller oluşturulur. Ortaköy Câmii, Ortaköy deresi yanında, deniz kıyısında 1854 yılında kâgir olarak inşâ edilmiştir. Yapı altında bulunan suni dolgu ve kum-çakıl tabakası 20 m. kalınlıktadır. Yapının beden duvarları temelleri 2 metreden derine inmemektedir. Temeller ahşap ızgara ve 0,35 m. çapında kısa kazıklara oturtulmuştur [16]. Ortaköy Câmii temel kesiti Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Ortaköy Câmii'nin temel kesitleri [16].

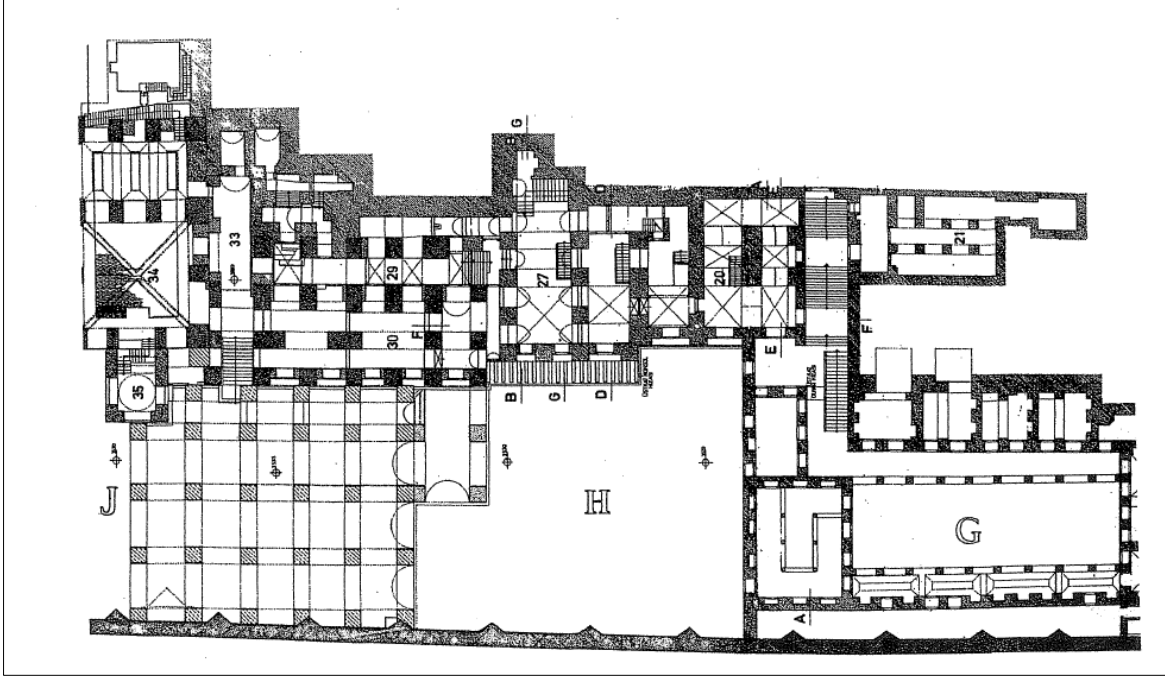
Beylerbeyi Hamid-i Evvel Câmii 1776 yılında Boğaziçi kıyısında inşa edilmiştir. Ortalama 15 m. derinde olan ana kaya üzerinde 5 m. kalınlığında kil ve en üstte 10 m. kalınlığında suni dolgu mevcuttur. Suni dolgu içerisinde yer alan temel 1,80 m. derinliğe üç basamakla inmekte, tabanda 3 m. genişliğe varmaktadır. Temel altında bugün çürümüş olan kısa ahşap kazıklar kullanılmıştır [16].

Kazık temellerin kullanıldığı bilinen diğer yapılara Büyükçekmece Köprüsü, Yeni Câmi, Nuruosmaniye Câmii, Beylerbeyi Hâmid-i Evvel Câmii ve Arnavutköy Numan Esin Yalısı örnek gösterilebilir.

Tonozlu temeller

Osmanlının ilk başkenti olan Bursa ve sonrasında başkent olan Edirne ve İstanbul'da, yeni külliye kurularak, halkın dini, sosyal ve ticaret ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmıştır. Bu dönemlerde, şehrin imarı ele alınarak düzenlenmiştir. Fakat bu şehirlerin arazileri geniş düz alanlarda bulunmadığı için, külliye için uygun inşaat alanları bulunmasında zorlanılmış; inşâ alanlarında daha ciddi düzenlemelerin yapılması gerekliliği doğmuştur. Bu sebeple yapılan istinat duvarları arkasına moloz doldurularak araziler düzgün duruma getirilmiştir. Bu tip arazilerde inşâ edilen yapıların bazılarında tonoz temeller kullanıldığı bilinmektedir. Bunlardan birisi Topkapı Sarayı'nda bulunan Fatih Köşkü olup altında tonozlu bir bodrum katı bulunmaktadır.

Topkapı Sarayı'nın Haliç tarafında Harem Dairesi bulunmaktadır. Avlunun Gülhane Bahçesi yönü oldukça dik bir yamaçtır. Gerek Harem'in gerekse Mukaddes Emanetler Dairesi ve Sünnet Köşkü, İftariye Köşkü, Bağdat Köşkü'nün bulunduğu Mermer Taşlık ve Sota-ı Hümayun Taşlığı tamamen tonozlar üzerinde taşınmaktadır [16]. Topkapı Sarayı Harem Dairesi'nin tonoz ve ayakları Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Topkapı Sarayı Harem Dairesi'nin tonoz ve ayakları [16].

2.4.2. Duvarlar

Tabii taş duvarlar

Tabii taş duvarlar kullanılan taşların cinsine ve duvarın işçiliğine moloz taş duvarlar ve yonu taş duvarlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Moloz taş duvarlar

İşlenmemiş ocaktan çıktığı halde kullanılan taş moloz taş adı verilir. Belirli bir geometrik şekli bulunmadığından kabaca düzeltilerek yerine yerleştirilir (Resim 2.17). Bu sebeple moloz taş duvarlarda düzenli bir taş örgüsü bulunmamaktadır. Moloz taş duvarlarda her çeşit

ve cinsten taş kullanmak mümkündür. Kullanılan taşlar dere ve sel taşları olabildiği gibi ocak taşları da olabilir.



Resim 2.17. Isparta Uluborlu Taş Medrese moloz taş duvarı (AP Arşivi, 2016)

Dere taşlarının genellikle köşeleri suyun etkisiyle yuvarlanmış olup keskin hatlar barındırmazlar. Aynı zamanda yüzey pürüzleri aşınmadan kaynaklı azaldığı için harç ile iyi bağlantı sağlayamazlar. Bu sebeple taşların büyük olanları kırılarak harç ile bağlanma özellikleri artırılır ve moloz taş duvarlarda kullanılabilir hale getirilirler.

Ocak taşları, kumtaşları, çeşitli kalker, trakit, granit, bazalt, andezit gibi magmatik ve tuf taşları olabilir. Bu taşların hepsi yonu taşı olarak kullanılabilirse de bunların ocaklarından çıkan çatlak, damarlı ve boyutsuz olanlar, yapı cephelerinde gelmeyecek şekilde moloz taş duvar yapımında kullanılırlar [16].

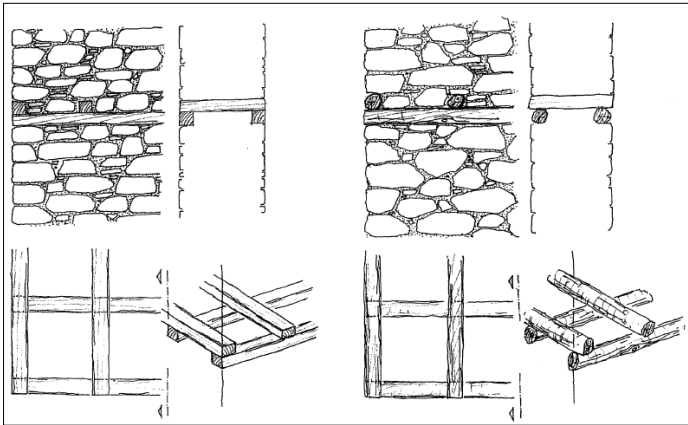
Ahşap hatıllı moloz taş duvarlar

Moloz duvarlarda stabilitenin sağlanması için duvar yüksekliği 1-1,50 m. mesafede bir ahşap veya tuğla gibi malzemelerden yapılmış hatıllar ile düzenlenir. Hatıl yapılmadığı durumlarda ise aynı mesafede duvar üst seviyesi yatay olarak düzenlenir. Ahşap hatıllı moloz duvarlarda duvarın üstüne iki yanına, 8- 12 cm. kalınlığında, çoğunlukla dikdörtgen kesitli hatıllar yerleştirilir (Resim 2.18).



Resim 2.18. Sırbistan İsa Bey Hamamı soğukluk beden duvarları (2018)

Bu ağaçların boylamasına eklemelerinde, eğik kesim, yarım bindirme ve üst üste getirerek bağlantı sağlanmaktadır. Duvarın iki yanındaki hatıl ağaçlarına dik istikamette, 3- 4 m. ara ile bağlantı ağaçları çakılır. Bunların da yan ağaçlara bağlantısı ya yarım bindirme veya üstten kasma "tam bindirme" şeklinde olur. Bu şekilde hatıl düzeni, duvarın üstüne "dayanma merdiveni" görüntülü ızgara halinde yerleştirilir. Bunun üstüne duvar örülmeye devam edilir [16]. Ahşap hatıllar kare veya dikdörtgen biçilmiş kereste veya malzeme bulunamadığı durumlarda yuvarlak kesitli ağaç ve dallardan da yapılmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Moloz duvar ahşap hatıl kullanımında geçmesiz tam bindirme [16]

Hatıl kullanılmamış olan moloz taş duvarlar

Duvar üzerinde hatıl kullanılmamış duvarlardır (Resim 2.19).



Resim 2.19. Hasankeyf Kalesi hatıl kullanılmamış moloz taş duvar (2008)

Sıralı moloz taş duvarlar

Moloz taş duvarlar yatayda bir sıra takip etmemelerine karşın, sıralı moloz taş duvarlarda taş sıraları yatay düzeye getirilmektedir. Bu uygulama iki şekilde yapılabilir. Birinci uygulamada seçilen moloz taşlar, kareye yakın formda olurlar. İkinci tür uygulamada ise yatay sıranın sağlanabilmesi için taşın uygun olmayan uçları düzeltilmektedir. Fakat bu düzetmeler taşın moloz özelliğini kaybetmeyeceği derecede yapılmaktadır.

Yonu taş duvarlar

Yonu duvarlar ile moloz duvarları ayıran en belirgin fark, yonu taşı olarak kullanılacak taşların ocaktan bloklar halinde çıkarılmış taşlar olmaları ve yerine konuluncaya değil şekil verme ile ilgili çeşitli işlemlere uğramalarıdır. Yonu taşları ile yapılan duvarlar da kendi içinde işlenme düzeylerine göre; kaba yonu taş duvarlar, derzli kesme taş duvarlar, derzsiz (akçe geçmez derzli) kesme taş duvarlar olarak üç tipte görülmektedir.

Kaba yonu taş duvarlar

Alın ve yan yüzeyleri çekiçle düzeltilerek kabaca işlenmiş duvarlar kaba yonu taş duvarlardır. Bu nedenle taş sırası gözle takip edilebilecek düzeyde düzgündür. Fakat taş büyüklükleri ve derz araları duvar boyunca farklılık gösterebilir ve köşeler gönyesinde olmayabilir. Resim 2.20’de tuğla hatıllı kaba yonu taş duvar örneği gösterilmiştir.



Resim 2.20. Çankırı Yeni Câmii (AP Arşivi, 2016)

İnce Yonu Taş Duvarlar

Alın ve yan yüzeyleri kaba yonu taş duvarlara oranla daha fazla düzeltilerek oluşturulmuş duvarlardır. Alın ve yan yüzeyleri düzeltilerek ince yonu şeklinde hazırlanan taşların oluşturduğu duvar örgüsüdür. Bu nedenle taş sırası gözle takip edilebilecek düzeyde düzgündür. Fakat taş büyüklükleri ve derz araları duvar boyunca farklılık gösterebilir. İnce yonu taş duvarları kaba yonu taş duvarlardan ayıran özellik yan yüzeylerinin daha fazla işlenmiş, düzeltilmiş olmasından dolayı, taşların daha köşeli ve derz aralıklarının daha düzgün olmasıdır. Resim 2.21’de ince yonu taş duvar örneği gösterilmiştir.



Resim 2.21. Harran Kalesi ince yonu taş duvar (2018)

Kesme taş duvarlar

Tüm yüzeyleri ince yonu tekniği ile işlenerek, düzgün köşeli ve prizmatik olarak hazırlanan taşlar kesme taşlar olarak tanımlanır. Kesme taşlar derzli veya derzsiz bir araya getirilerek kesme taş duvarlar inşa edilir. İşçilik bakımından diğer duvarlara göre daha zahmetli ve pahalıdır. Bu sebeple çok önemli ve anıt niteliğindeki yapılarda (özellikle külliyeler) tüm cephelerde kullanılırken, bazı yapıların ise sadece giriş cephelerinde uygulandığı görülmektedir [16].

Derzli kesme taş duvarlar

Alın ve yan yüzeyleri ince yonu taş duvarlara oranla oldukça düzeltilerek oluşturulmuş duvarlardır. Taş sırası yatay ve düzgün olarak inşa edilir. Taş boyutları yüksekliğe göre 1/2, 1/3 ve bazı durumlarda 1/4'e kadar olabilmektedir. Derz araları duvar boyunca benzerlik gösterirken köşeler gönyesindedir. Resim 2.22'de ince yonu taş duvar örneği gösterilmiştir.



Resim 2.22. Midyat Konuk Evi kesme taş duvarları (2008)

Derzsiz kesme taş duvarlar

Derzsiz kesme taş duvarların imalatı, taş işçiliğinin artmasından dolayı oldukça maliyetlidir. Sahaya gelen taşlar öncelikle istenilen boyuta kesilirler. Murç vb. aletler kullanılarak gerekli taslak boyuta getirilen taşlarda ince yonu uygulaması yapılır. İnce yonuya geçmeden önce taşın dışarıda kalacak kısmı muazzam bir yüzey elde edilinceye kadar perdahlanır. Perdahlanan yüzey üzerine istenilen boyutta dikdörtgen çizilir ve taş kenarları kesilir. Altı yüzlü prizma şekline gelen taşların dış yüzünde ince yonu tekniği uygulanır. Diğer dört yan yüz ve ön yüzün dikdörtgeni oluşturan köşelerinin dik açıklığının bozulmamasına dikkat edilir. Ancak bu yan yüzlerin 3-5 cm. genişlikte olan kısmı ince yonu olarak dişli veya kalemle işlenir. Geri kalan kısımları ve prizmanın arka yüzü murçlu ve ham olarak bırakılır. Böylelikle hazırlanan taşlarla duvar örülürken taşların alt ve yan yüzleri akçe geçmez derzle (sıfır derz) birleşirken, yan yüzlerin ve arka yüzün murçlu (ham) kısımları harçla iyice bağlantıyı sağlamış olur. Harç prizini tamamladıktan sonra duvar hattı boyunca ip çekilerek gerekli görülen yerlerde düzeltmeler yapılır. Bir duvar sırasında bu işlemlerin tamamı tamamlanmadan bir üst duvar sırasına kesinlikle geçilmez.

Mermer duvarlar

Mermer yapı malzemesi olarak çok değerli bir malzemedir. Homojen ve pürüzsüz görünüşü, cilalanabilmesi, oldukça yumuşak ve homojen kristallerden oluşması sebebiyle kolaylıkla işlenebilmesi, en ince detayların çalışılmasına imkân vermesi, mermeri diğer yapı taşlarından daha önemli hale getirmektedir. Ancak daha az bulunması ve daha kaliteli olması sebebiyle diğer yapı taşlarından daha pahalıdır. Bu sebeple gerek Selçuklular zamanında, gerekse Osmanlılar döneminde, yapıların en önemli kısımlarında (taç kapılar gibi) ve benzeri yerlerde kullanılmıştır [16]. Atina'da yer alan Atina Rüzgâr Kulesi derzsiz mermer duvarlar kullanılarak inşa edilmiştir (Resim 2.23).



Resim 2.23. Atina Rüzgâr Kulesi (2018)

Toprak esaslı duvarlar

Kâgir duvarların malzeme cinslerine göre sınıflandırılmasında bir diğer grup toprak esaslı duvarlardır. Toprak esaslı duvarlar pişmemiş topraktan (kerpiç) ve pişmiş topraktan (tuğla) olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Kerpiç duvarlar

Orta Anadolu'nun büyük bir bölümünde yapıya uygun yonu taşı bulmak zordur ve diğer taraftan yapıda taşın kullanılması ekonomik değildir. Bu sebeple ekonomik olarak güçlü olmayan bölgelerde, özellikle konut yapılarında, yapı malzemesi olarak kerpiç sıklıkla kullanılmıştır. Kerpiç kolay elde edilebilen ve duvar örmeye oldukça uygun, ısı yalıtımı sağlayan bir malzemedir. Bu malzemenin taşıma gücü azdır ve suya karşı oldukça dayanıksızdır. Halen Anadolu'nun birçok yerleşim bölgesinde kerpiç yapı görmek mümkündür. Kerpiç işçiliğinin en iyi örneklerine Şanlıurfa Harran bölgesindeki evlerde rastlıyoruz. Bu evlerinin en büyük özelliği kubbeli olmalarıdır. Kerpiç hem beden duvarlarında hem de kubbede kullanılmıştır (Resim 2.24).



Resim 2.24. Harran evi (2008)

Tuğla duvarlar

Yapı malzemesi olarak tuğlanın kullanıldığı duvarlardır.

Almaşık duvarlar

Almaşık duvarlar aynı ya da farklı türde malzemelerin, farklı renk veya farklı sıra yüksekliğinde olanlarının belirli bir düzen ve tekrar ile kullanılması ile oluşturulan duvarlardır. Almaşık duvarlar; aynı cins taşların farklı yükseklikte sıralanan periyodik bir düzende kullanılması, farklı renkli taşların oluşturduğu sıraların periyodik bir düzende kullanılması ve farklı malzemelerle(taş ve tuğla) oluşturulan sıraların periyodik düzende kullanılması yöntemleriyle inşa edilebilirler.

Ahşap esaslı duvarlar

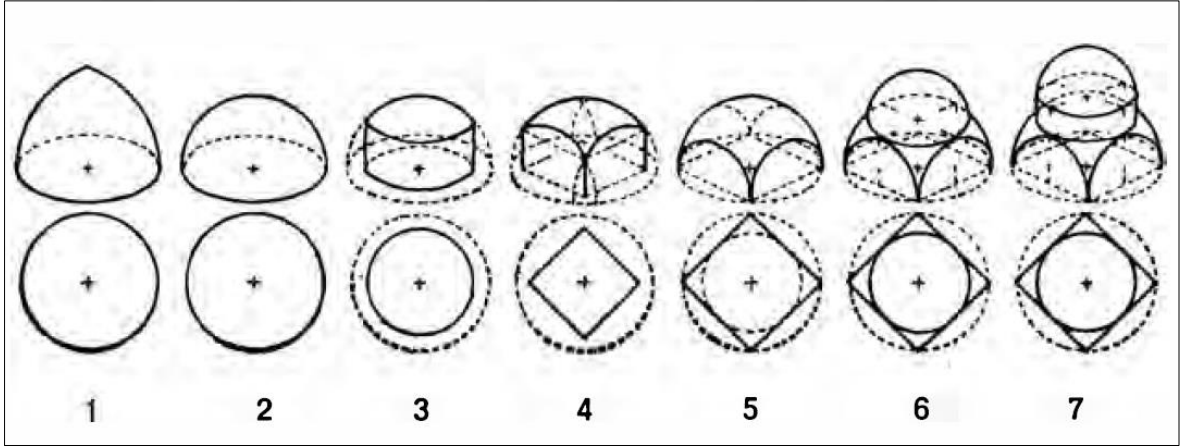
Ahşap esaslı duvarlar, çantı (yığma) duvarlar ve karkas duvarlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. 25-30 cm çaplı tomrukların baş tarafları kertilerek çivisiz olarak birbirine bindirilmesine çantı adı verilmektedir. Ahşap Karkas duvarlar ise iskeleti(karkası) ahşap malzeme ile yapılan ve duvar araları farklı malzeme ve örgü sistemleri ile doldurulan duvarlardır. Ahşap esaslı duvar sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Ahşap esaslı duvarlar

Ahşap Duvar Dolgu Malzemesi	Örgü sistemi
Tuğla Dolgu	
Kerpiç Dolgu	
Taş Dolgu	Normal Karkas Arası Taş Dolgu
	Özel karkas arası taş dolgu
Ahşap dolgu	
Ahşap Yığma Çantı sistem	
Sepet örgü	
Ahşap Bağdadi	
Ahşap kaplama	

2.4.3. Kubbeler

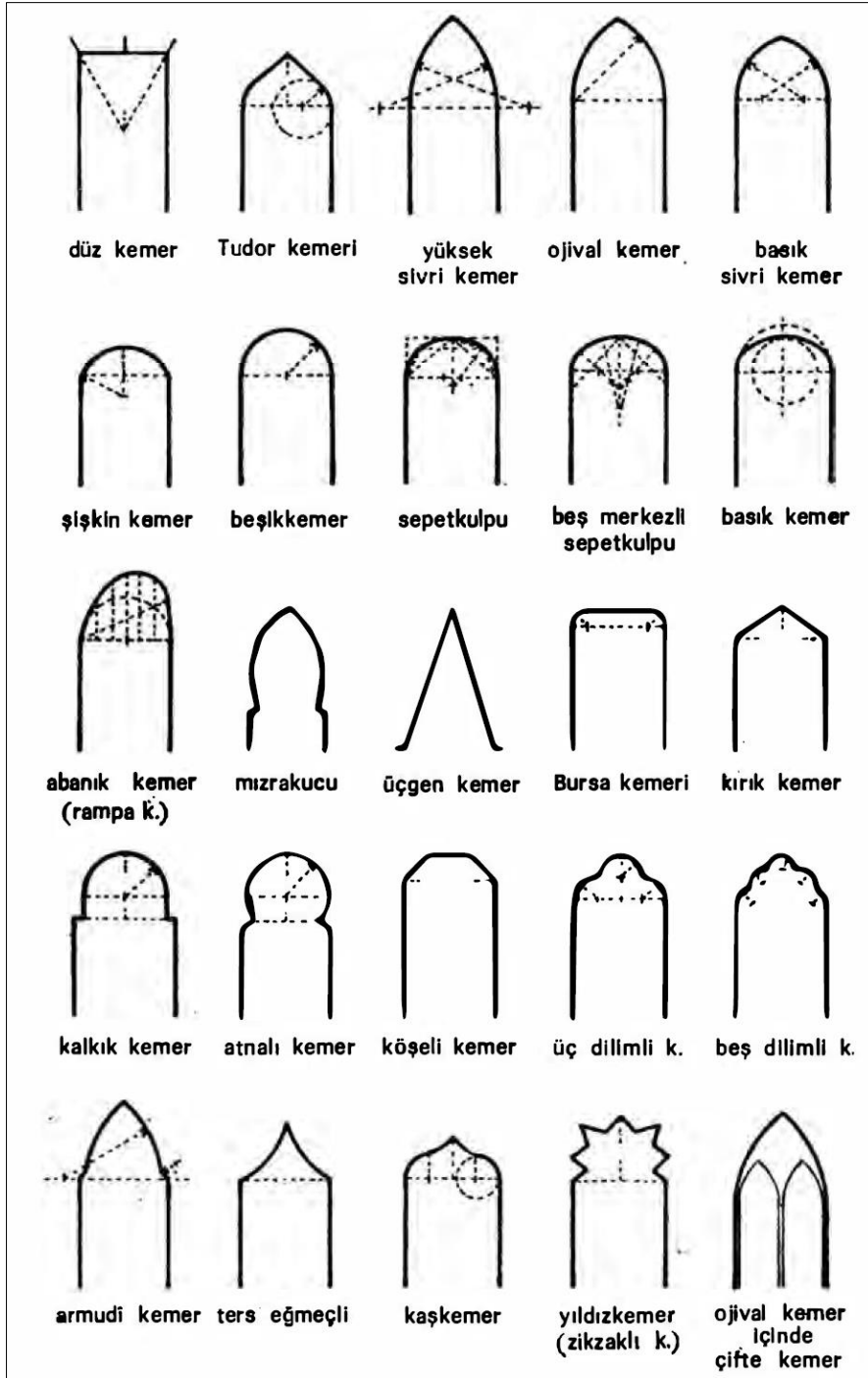
Bir kemer yayının, tepe noktasından inen dikinin çevresinde dönmesiyle meydana gelen örtüdür. Kubbeler kare, çokgen ya da dairesel planları örtmekte kullanılmıştır. Kubbeyle, çokgen plandan dairesel plana geçişte pandantif ve tromplardan yararlanılmıştır. Kimi kubbelerin tepesinde küçük bir yuvarlak delik bulunur ve bunun üzerine bir kubbe feneri yerleştirilir. Önemli boyutlardaki kubbeler, daha iyi bir korunma için iki cidarlı olarak yapılmışlardır. Kubbe türleri Şekil 2.6’da verilmiştir. Numara sırasıyla (1) Sivri Kubbe, (2) Küresel Kubbe, (3) Basık Kubbe, (4) Bohemya Takkesi, (5) Asma Kubbe-Yelken Tonozu, (6) Bizans Kubbesi, (7) Rönesans Kubbesi isimlerini alırlar [36].



Şekil 2.6. Kubbe türleri

2.4.4. Kemerler

İki sütun veya iki ayak arasındaki bir açmanın üstünü örtmek için, uçları bu sütun veya ayaklara oturmak üzere yay şeklinde yapılan ahşap, maden ya da kâgir yapı parçasıdır. Kemer türleri Şekil 2.7’de verilmiştir.

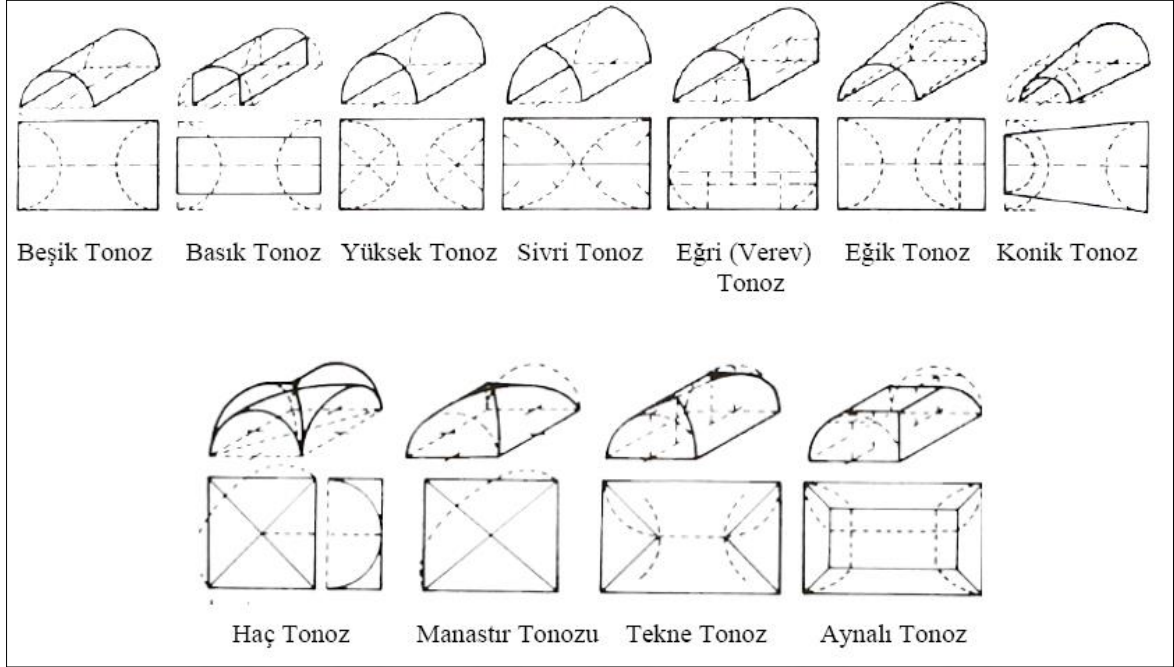


Şekil 2.7. Kemer türleri

2.4.5. Tonzlar

Kemerlerin tek doğrultuda ilerletilmesi ile oluşan eğrisel üst örtü biçimine tonoz ismi verilmektedir. Özellikle dar ve uzun mekânların örtülmesinde kullanılan tonozların birbirini dik keser şekilde oluşmuş örneklerine çift eksenli tonozlar denilmektedir. Çift eksenli tonozların en tipik örneği haç tonozlardır. Ayrıca biçimlerine göre; beşik tonoz, basık tonoz,

yüksek tonoz, sivri tonoz, eğri tonoz, eğik tonoz, konik tonoz, aynalı tonoz, halka tonoz ve yıldız tonoz gibi birçok isimle de özelleştirilmişlerdir [37]. Tonz örnekleri Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8. Tonz örnekleri

2.4.6. Diğer yapı elemanları

Tromp

Tromp, kare planlı kubbeli bir yapının duvarları arasındaki köşelerin üst bölümüne yapılan ve binanın üstünü sekiz kenarlı bir şekil haline koyarak kubbenin oturmasına elverişli bir kaide meydana getirmek üzere köşeleme örtülen tonoz, tonoz bingî, köşe tonozudur [36].

Kare taban üzerine kubbe yapımında en büyük problem, daireden kareye geçişte köşelerde oluşan garip üçgensel boşluklardır. Bu boşluklar için farklı bölgelerde farklı çözümler üretilmiştir. İranlı mimarlar trompu, Bizanslı mimarlar da pandantifi geliştirmişlerdir. Anadolu Türk mimarlığında ise bu problem ‘Türk üçgeni’ sayesinde çözülmüştür.

Lento (düz atkı, kiriş)

Kapı ve pencere boşlukları üzerindeki duvar yüklerini taşımak için boşlukların üzerine yerleştirilen küçük açıklıklı taş, betonarme ya da ahşap kirişlere verilen isimdir [36].

Sütun

Sütun taştan, mermerden veya tuğladan yapılmış düşey taşıyıcı elemanlardır. Ahşap malzemeden olanlarına direk adı verilir. Kullanım yerlerine göre kare, çokgen ya da daire kesitli olabilir.

Ayak

Mimari ihtiyaçlar doğrultusunda tekil düşey taşıyıcı elemanın yüksekliğinin fazla oluşu veya sütun kesitlerinin taşıma güçlerinin yetersiz olduğu durumlarda, sütun kesitleri büyütülerek ayak adı verilen düşey taşıyıcı kolonlar oluşturulmuştur.

Narin ya da kalın en kesitli bu düşey taşıyıcı elemanlar, çekme kuvvetlerine karşı zayıftır. Özellikle ana taşıyıcı sütunlarda oluşacak mafsallık ya da çatlak, yapının stabilitesini bozarak yıkılmasına neden olabilir. Bu nedenle bu elemanlarda üçte bir kuralı uygulanmalıdır. Yani bu elemanlar, eğilme eksenine dik doğrultudaki boyutunun üçte birinden fazla bölümünde çekme gerilmesi oluşmaması için büyük kesitli yapılmalıdır. Tarihi yapılarda taşıyıcı sütun ve ayaklar, yıkılan yapılardan ders alınarak deneysel olarak büyük boyutlarda yapılmıştır [38]. Taş yapılarda görülen çok yüksek ve kalın kâgir ayaklara fil ayağı adı verilir [36].

Payanda

Düşey taşıyıcı bir yapı elemanının yatay yüklere karşı dayanımını sağlamak için eğik olarak kullanılan desteğe payanda denir. Osmanlı camilerinde ve gotik kiliselerde, kubbe veya çatı ağırlığının itkisini ana duvarlara aktarmak için kubbe kasnağı ya da çatı çevresi ile dayanma ayakları arasına destek kemeri niteliğinde payandalar yerleştirilmiştir. Diğer taraftan Osmanlı mimarisi incelendiğinde kubbe veya çatı ağırlığının itkisini karşılayabilmek için bazı durumlarda yapı üzerine ağırlık kulelerinin de inşa edildiği görülmektedir.

Türk üçgeni

Türk mimarisinde duvarla kubbe arasında bir geçiş ögesi olarak kullanılmış üçgendir. Bu üçgenlerden meydana gelen kuşak, kubbeye yumuşak bir geçiş sağlar. Türk üçgenlerinin en basit uygulamaları Uygur kubbelerinde görülür.

Pendantif

Bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgendir [36].



3. ANALİTİK ÇALIŞMA VE İRDELEME

Tarihi yapılarda çekme ve eğilme taşıyan yapı elemanı bulunmamaktadır. Bunun nedeni çekme kuvvetini alan donatının ve bağlayıcı malzemelerin bulunmamasıdır. Bu nedenle tarihi yapıların taşıyıcı sisteminin modellenmesi oldukça zor ve titiz bir çalışma gerektirmektedir. Bu tür taşıyıcı sisteme sahip yapıların hem yapısal hem de eleman bazında davranışını yorumlayabilmek günümüz mühendisleri için oldukça zordur. Bunun nedeni, günümüz yapılarında betonarme ve çelik yapıların etkin olması ve mühendislik eğitiminde basınç etkin yığma yapılar üzerinde yeterince durulmamasıdır. Bu durum, mevcut tarihi yapıların değerlendirilmesinde farklı sonuçların ve değerlendirmelerin çıkmasına neden olmaktadır.

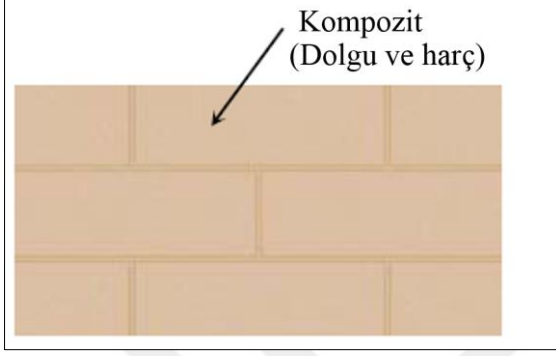
3.1. Klasik Modelleme

Tarihi yapıların sonlu eleman modelleri üzerinden analizinin yapılması iki farklı yönden oldukça zor bir iştir. Bunlardan biri duvar yapılarının tip özelliklerinin, çözüm için uygun derecede basitleştirilmiş statik şemalara geçmemize izin vermeyişidir. İkinci zorluk malzeme özelliklerinin yapı elemanları içerisinde değişiklik göstermesi sebebiyle, tahmini oldukça zor doğrusal olmayan davranışları hesap modeline dâhil edemeyişimizdir. Malzeme mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik hasarsız testlerin olmayışı ve yapının tarihi kimliği sebebiyle hasarlı testlerden elde edilecek verilerin azlığı sebebiyle hesap modelinin kalibrasyonuna yönelik belirsizlikler bulunmaktadır [39].

Tarihi yapıları oluşturan yığma elemanlar çoğunlukla harç ile bağlanmış bloklardan inşa edilmişlerdir. Derzler yatay ve düşey doğrultuda teşkil edilseler de bazı tarihi yapılarda süsleme amacıyla eğik derzlere rastlanmaktadır.

Mevcutta var olan bu geometrik düzensizliğin hesaba yansıtılmasının yaratacağı karmaşadan çıkabilmek için uygun şekilde homojenize bir malzeme varsaymak seçilebilecek çözüm yollarından biridir. Bu sayede taş veya tuğla bloklar, blok arası harç ve duvarın türüne göre duvar çeperleri arası dolgu malzemesi gibi yapıyı oluşturan tüm eleman ve bileşenleri tek malzeme modelinde ele alınmış olur. Bu yöntem Sonlu Eleman Metodu (FEM: Finite Element Modelling) ya da Makro Modelleme olarak adlandırılır [39].

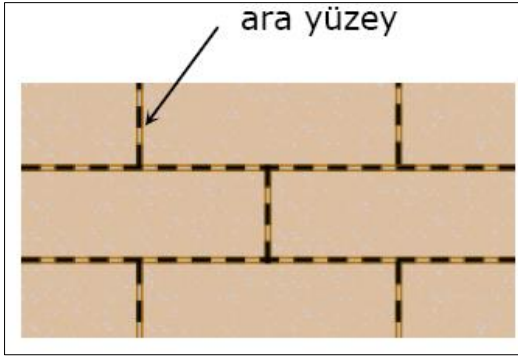
Makro modellemede, yığma birim ve bağlayıcı unsurların özellikleri çeşitli homojenleştirme işlemlerine tabi tutulmak suretiyle yığma duvar kompozit bir malzeme olarak düşünülmektedir (Şekil 3.1). Bu modelin mekanik özellikleri homojenleştirme işlemleri sonucunda elde edilmektedir [40].



Şekil 3.1. Makro modellemede homojenleştirilmiş birim eleman [40].

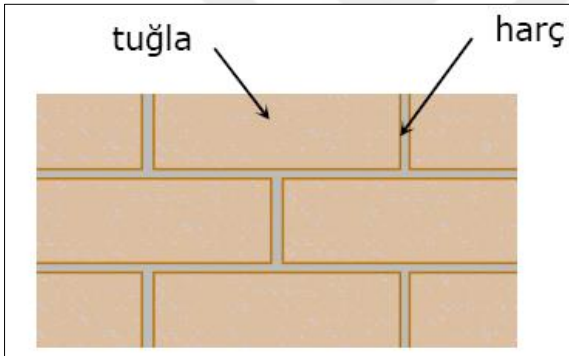
Yapının tamamını bir bütün olarak incelemek yerine, her bir yapı elemanı bloğunu ayrı ayrı değerlendirmeye almak da mümkündür. Bu durumda taş veya tuğla bloklar, blok arası harç ve duvarın türüne göre duvar çeperleri arası dolgu malzemesi ayrı ayrı tanımlanır. Bu durum için günümüzde iki yaklaşım etkili olarak kullanılmaktadır. Bunlar: Süreksiz Elemanlarla Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEMDE: The Finite Element Method with Discontinuous Elements) ya da Basitleştirilmiş Mikro Modelleme yöntemi ile Ayrık Eleman Yöntemi (DEM: Discrete Element Method) ya da Detaylı Mikro Modelleme yöntemleridir.

Basitleştirilmiş mikro modellemede; bir harç ve iki yığma birim-harç ara yüzeyinden oluşmakta olan her bağlantı noktasında, kütle yoğunlaştırması yapılmış ve ortalama ara yüzey olarak kabul edilerek yığmada meydana gelebilecek çatlakların, ortalama ara yüzey çizgisinde meydana gelebileceği kabul edilmiştir(Şekil 3.2). Burada harcın Poisson oranı dikkate alınmadığından, bulgular detaylı mikro modellemeye göre biraz farklıdır [40]. Analizinin tamamlanabilmesi için çok büyük boyutlardaki rijitlik matrislerinin çözülmesi gerekir.



Şekil 3.2. Basitleştirilmiş mikro modelleme [40].

Detaylı mikro modellemede kâgir yapı elemanların her biri ve kâgir elemanları birbirine bağlayan harç benzeri unsurlar kendilerine ait geometri ve mekanik özelliklerle bilgisayar modeline ayrı ayrı aktarılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Detaylı mikro modelleme [40]

Analiz modeli, yapı bloklarının temas kuvvetlerini simüle etmek için bir Coulomb kayma kriterini takip ederek tek taraflı elasto-plastik temas elemanlarıyla etkileşime giren, sert veya deforme olabilen farklı blokların bir montajı olarak kabul edilir. Yöntem, büyük yer değiştirmeler (yapı elemanları için) ve küçük deformasyonlar (bloklar için) kayma, dönme ve çarpma nedeniyle oluşan çökme mekanizmalarını doğru şekilde simüle edebilir [39]. Oldukça uğraşı gerektiren zahmetli bir modelleme türüdür. Mekanik özelliklerin bilinebilmesi için çok sayıda deneye ihtiyaç duyulmakla birlikte, deneylerin sahada yapılmaları durumunda deneylerin güvenilirliği tartışmaya açıktır. Modellemede her birimin elastisite modülöleri, poisson oranları ve elastik olmayan özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımda çatlakların yığma birim ve harcın arasındaki ara yüzeylerde meydana geleceği varsayılmaktadır [40]. Bu yaklaşımın temel avantajı, blokların yer değiştirmelerini takip etme ve yapıların çökme mekanizmalarını belirleme olasılığıdır. Detaylı mikro

modelleme tekniği, ihtiyaç duyduğu malzeme bilgileri ve modelleme sürecinin zorluğu nedeniyle tarihi yapıların modellenmesine uygun bir teknik olarak ele alınmamaktadır.

Tarihi yapının modellenmesi aşamasında modele aktarılan malzeme özelliklerinden hareketle kullanılacak analiz yöntemi de belirlenmiş olur. Yapıyı oluşturan bloklar ile bağlayıcılık sağlayan harç gibi malzemelerin lineer ve non-lineer özelliklerinin bilinmesi kullanılacak analiz yöntemi ile doğrudan ilişkilidir. Eldeki verilerden hareketle doğrusal elastik analiz veya doğrusal olmayan elastik analiz yöntemlerinden biri uygulanabilir.

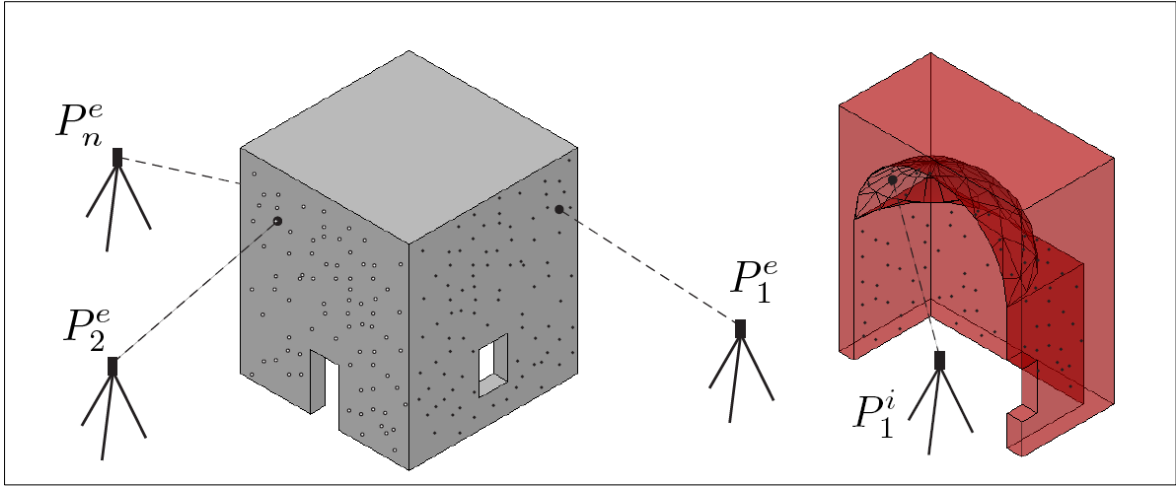
Doğrusal elastik analizde, yapının statik ve dinamik özellikleri belirlenebilir. Malzemenin Hook yasasına uyduğu kabul edilir ve yapı için global rijitlik matrisi bir defa hazırlanır. Bu analiz için malzemenin doğrusal elastisite özellikleri ve izin verilen maksimum gerilme dayanımı bilinmelidir. Bulunan gerilme dayanımları düşükken daha doğru sonuç verir. Yapının doğal periyodu ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerini belirlemek için serbest titreşim analizi uygulanabilir [41].

Doğrusal olmayan elastik analizde yapıdaki malzemenin yumuşak davranışı, çatlak oluşumu, dayanım azalması gibi özellikleri göz önüne alınır. Malzemenin elastik bölge dışındaki davranışı ile ilgilenir. Malzeme elastik bölge dışında yumuşama veya sertleşme davranışı gösterebilir. Buna bağlı olarak uygun bir plastik model seçilmelidir.

3.2. Voksel Modelleme

Nokta bulutu, saha ölçümlerinde kullanılan lazer tarayıcıyla elde edilen üç boyutlu koordinatlı nokta kümesidir. TLS (Terrestrial laser scanner- Karasal lazer tarayıcı) kısa adıyla anılan bu cihazlar optik bir mesafe ölçerdir.

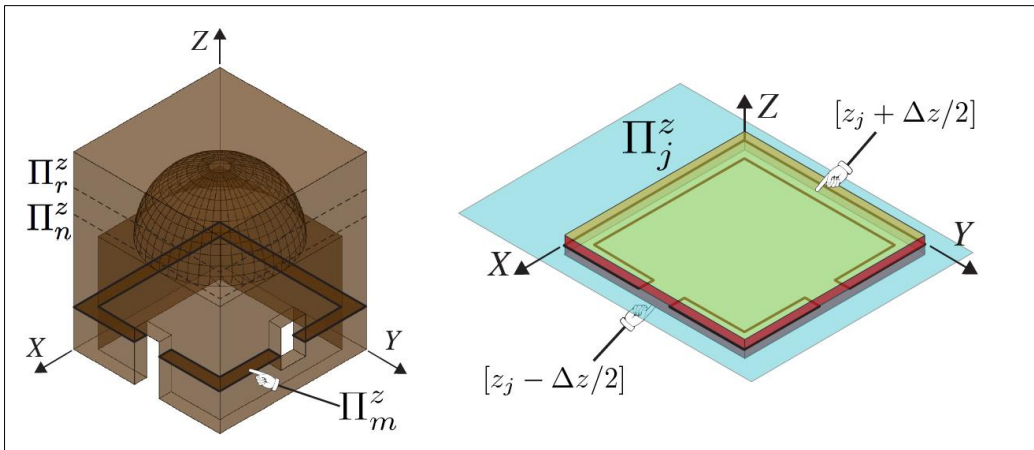
Gönderilen lazer ışınların yüzeylerden yansımasıyla yöneltilen yüzeye ait gerçek zamanlı nokta kümeleri oluşturmaktadır. Prensip olarak lazer ışınlarının yatay ve dışey doğrultularda 360 derece tarayacak şekilde gönderilmesiyle ölçülen mesafe ve açđ değerleri anlık olarak kodlanarak elde edilen polar koordinatlar (r, θ, β) , kartezyen koordinatlara (x, y, z) dönüştürölmektedir. Yapılarda, iç ve dış mekânların birçok noktasından elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi sonucu mevcut yapının iç ve dış koordinat sistemleri detaylı olarak elde edilebilmektedir (şekil 3.4).



Şekil 3.4. Karasal lazer tarayıcı ölçüm yerleri [25]

Voksel; bir pikselin üç boyutlu karşılığıdır. Piksel, bir noktayı iki boyutlu olarak tanımlarken voksel bir noktayı üç boyutlu uzayda tanımlayan grafik bilgisini ifade etmektedir [23, 25, 26, 39].

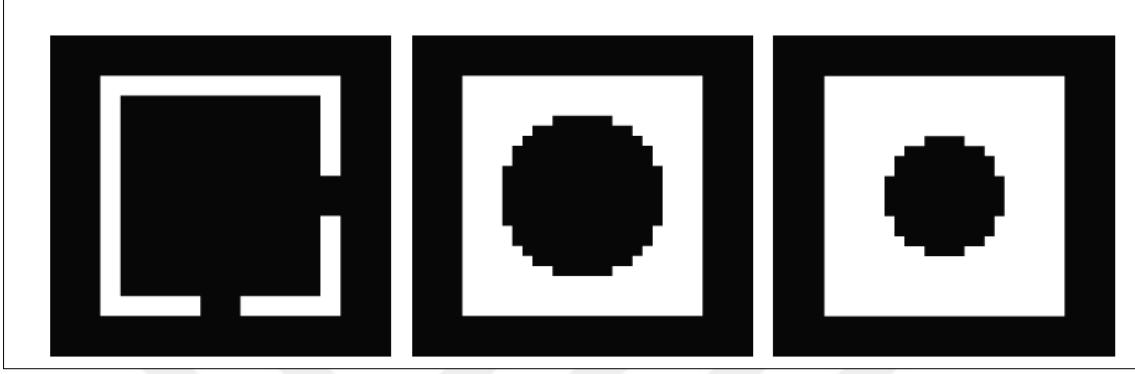
Voksel modelleme, elde edilen nokta bulutu kümesinin, istenilen aralıklarla dilimlenerek, elde edilen plan veya kesit düzlemlerinin üst üste konulması prensibine dayanır. Kesim yönü yapının duruma bağlı olarak plan düzleminde ve yahut kesit düzleminde olabilir. Şekil 3.5’de plan düzleminde dilimleme adımı gösterilmektedir.



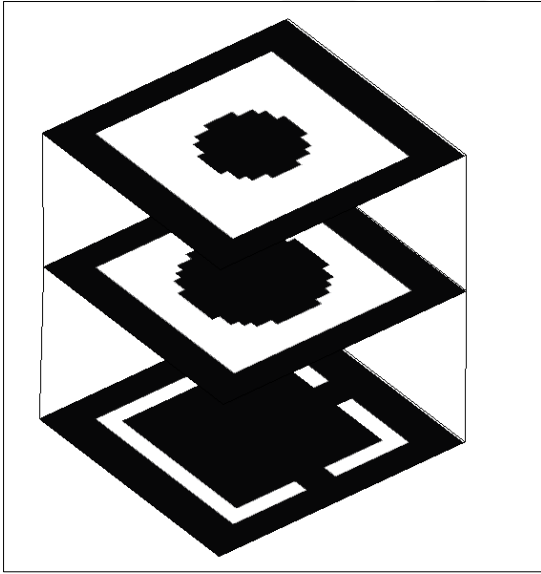
Şekil 3.5. Plan düzleminde dilimleme [25]

Nokta verilerinden yapısal model oluşturmak için, elde edilen nokta bulutu verisinde gerekli olmayacak noktalar temizlenir. Temizlenen veri içerisinde istenilen adımlarda kesim

yapılabilmesi için bu adımların bir yüzey ile tam kesişmesi gerekmektedir. Bu nedenle ağ (mesh) oluşturulur. Ağ oluşturma (mesh generation)'nın ardından, oluşan ağ kontrol edilmeli ve hatalar giderilmelidir. Elde edilen dilim görüntüleri (Şekil 3.6), üst üste yerleştirilerek (Şekil 3.7), voksalizasyona geçilir ve görüntülere dilim aralığı değerinde yükseklik verilir.

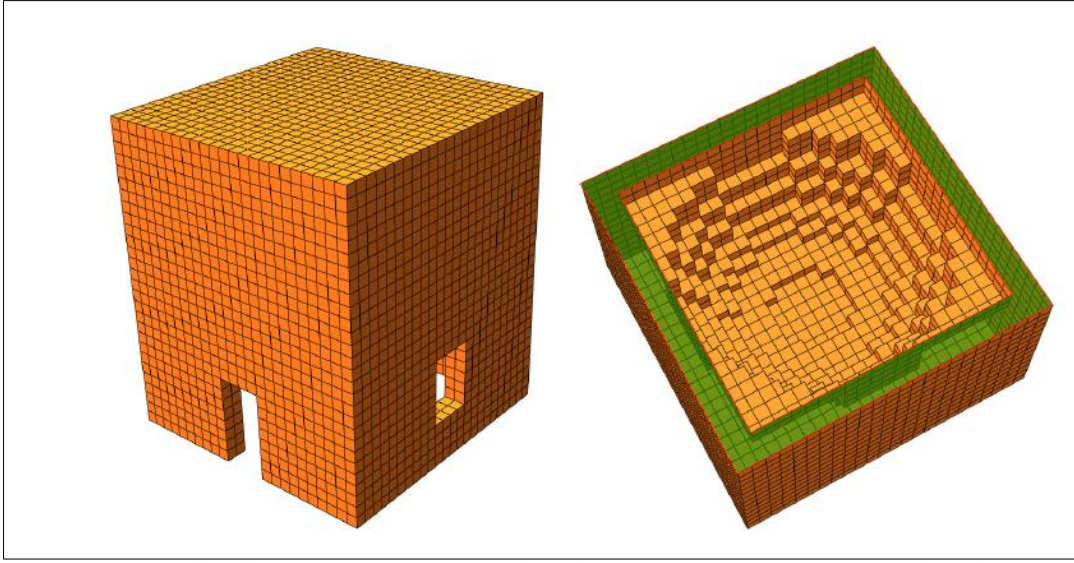


Şekil 3.6. Elde edilen dilimler



Şekil 3.7. Dilim yerleştirme

Böylelikle nokta bulutu verilerinden ağ sistemine oradan da yapının üç boyutlu modeline geçilmiş olunur. Elde edilen örnek üç boyutlu yapı modeli Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu yapı taşıyıcı sistemi sonlu elemanlar programlarına yönlendirilerek tarihi yapı analiz edilmeye çalışılır [24, 26, 42].



Şekil 3.8. Voksel model

3.3. Edirne Mihâl Bey Hamamı Analizi

Tarihi Edirne Mihâl Bey Hamam'ı, Tunca nehri üzerindeki Gâzi Mihâl Bey köprüsünün kuzeydoğu köşesinde yer almakta olup Şahmelek Câmî'nin karşısındadır. Tarihi kayıtlar incelendiğinde hamamın 15. Yüzyılın ilk çeyreğinde inşa ettirildiğini tahmin edilmektedir [43]. Dıştan dışa 22,70x23,20 metre ebadındaki eser, doğu-batı doğrultusunda uzanan dikdörtgene yakın bir plana sahiptir (Resim 3.1, Bkz. Şekil 3.9).



Resim 3.1. Mihâl Bey Hamamı genel görünüm

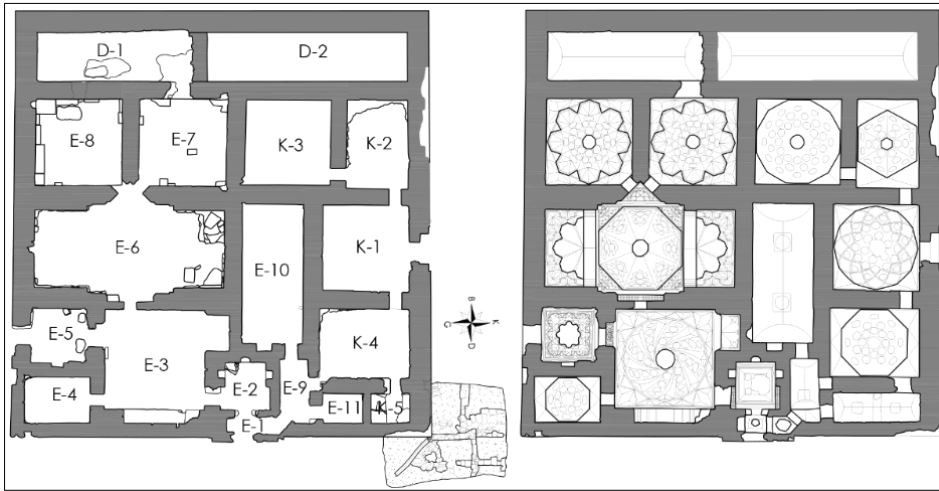
Kâgir malzemeden yığma tekniğinde inşa edilen yapıda; kesme yonu moloz taş, tuğla, mermer, alçı, kireç harcı kullanılmıştır. Yapının beden duvarları; kesme, yontu ve moloz taş

sırası arasına ikişer-üçer sıra şeklinde tuğla hatılların atıldığı almalı duvar tekniğinde oluşturulmuştur (Resim 3.2).



Resim 3.2. Mihâl Bey Hamamı almalı beden duvar örgüsü

Cephelerde tuğla hatıllar arasında kalan yontu ve kesme taşlar, her biri arasına birer dikey tuğla ile kasetlenerek mozaik görüntüsü oluşturmuştur. Beden duvarlarında kullanılan malzeme ve teknik, aynı şekilde kubbelerin poligonal formlu kasnaklarında da tekrarlandığı görülmektedir. Yapının kâgir malzemeli duvar örgüsünde, üst örtüde ve zemin döşemesinde birleştirici unsur olarak kireç harcı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Mihâl Bey Hamamı mekânları iz düşüm planı ve tavan planı

Yapının tüm bölümleri için kullanılan tüm yapı malzemelerinin mekanik değerlerinin bilinmesi neredeyse imkânsızdır. Diğer taraftan bilgisayar modelinin karmaşıklığı arttıkça verilerin doğru bir şekilde girilmesi ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi de zorlaşmaktadır. Bu zorluklardan ötürü yeterli malzeme deneyinin yapılabildiği küçük ölçekli yapılar dışında duvar yapısını homojen izotropik bir model olarak hesaba alan makro modelleme tekniği daha uygun bir çözüm olarak görülmektedir [39].

Çalışmada, makro modelleme tekniği kullanılarak iki farklı yöntemle analiz modeli oluşturulmuştur. Yapıyı oluşturan malzemelerin, mekanik özelliklerin belirlenmesine ait deneyler yapılması mümkün olmadığı için mekanik özelliklere literatür araştırması ile ulaşılmıştır. Literatür araştırmasında elde edilen değerlerin incelenen yapıya ait olmaması sebebiyle, analizlerin yapılabilmesi için, saha tecrübeleri doğrultusunda ara değerler seçilmiştir. Analizlerde kullanılan malzemelere ait değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir [44]

Çizelge 3.1. Kullanılan malzemeler

Eleman Türü	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Basınç dayanımı (MPa)	Poisson Oranı
Kubbeler	18	1900	1,8	0,20
Taş Kemerler	21	1600	1,5	0,18
Duvarlar	21	1750	1,6	0,18

Yapının her iki yöntemle analizi için; Edirne ili depremselliği ve yapının bulunduğu zemin koşulları göz önüne alınmıştır. Yapı analizinde deprem yüklerinin belirlenmesi için, maksimum yer ivmesi 0,10g ve kısa periyot 0,20 sn. uzun periyot 0,90 sn. olmak üzere zemin sınıfı Z4 zemin için değerler kullanılmıştır. Analiz modelinde zemin için yay tanımlanmamıştır.

Her iki model için, deprem yükleri belirlenirken bina önem katsayısı $I=1,0$ olarak alınmıştır. Deprem analizleri için spektrum katsayısı yığma yapılar için önerildiği üzere 2,5 olarak kabul edilmiştir [45]. Spektrum değerleri 4.derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı için tanımlanmıştır. Sistemde ölü yüklerin ve yapı elemanların zati ağırlıklarını dikkate alınmıştır. Bu ölü yük, üst döşemedeki 80 cm kalınlığında dolgunun yükünü ifade etmektedir. Plak ve çubuk elemanlarla oluşturulan klasik modelde, dolgu yükleri sisteme

1,20 t/m² olarak etkilmiştir. Voksel modelde ise dolgu alanı ve yoğunluğu tanımlandığı için buna ihtiyaç duyulmamıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=2 olarak dikkate alınmıştır. Yapısal analizlerde mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

3.3.1. Klasik model-voksel modelleme

Edirne Mihâl Bey Hamamı yapısının geometrisinin belirlenmesi için içeriden ve dışarıdan toplamda 67 farklı noktada lazer ölçümü yapılmıştır. Lazer tarayıcının 360 derece tarama verileri alınmış, modelleme aşamasında gerekli olmayacak noktalar buluttan silinerek, modelleme için gerekli nokta bulutu ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen yapının 20 milyon noktadan oluşan nokta bulutu görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir.

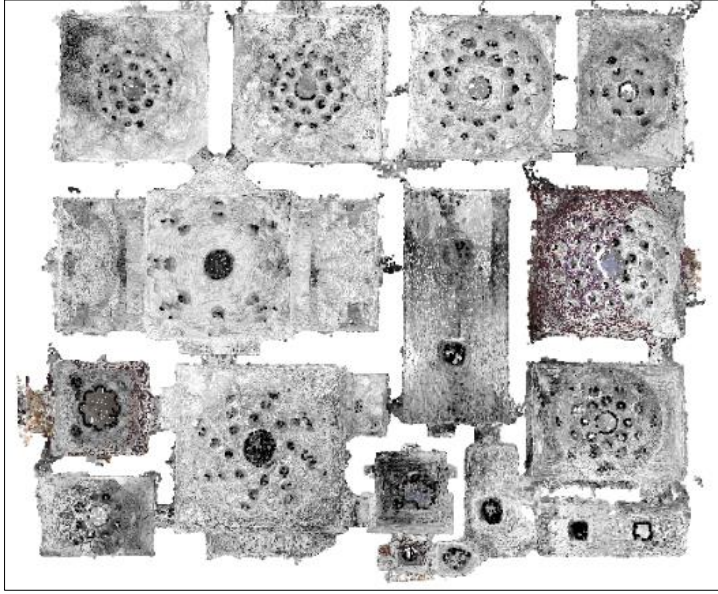


Şekil 3.10. 20 milyon noktadan oluşmuş nokta bulutu görüntüsü

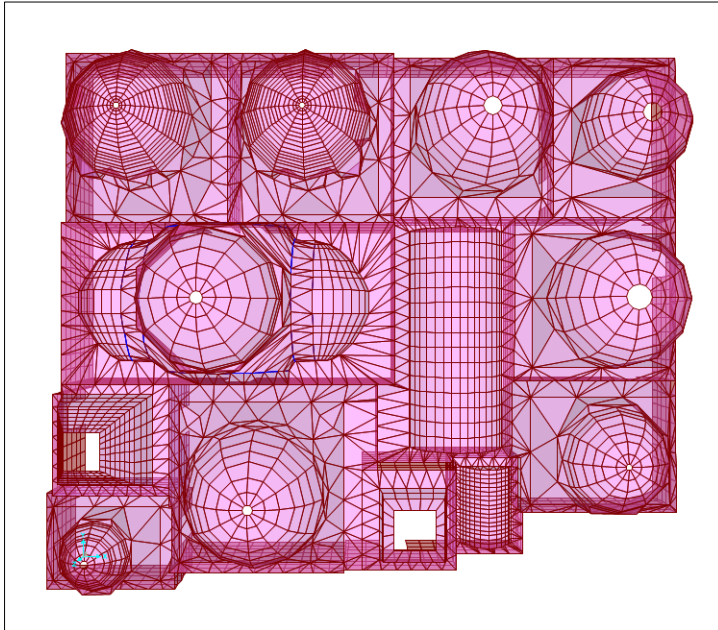
Klasik analiz modelinde, rölöve kullanılarak yapı geometrisi ve taşıyıcı sisteme ait kalınlıklar, mühendislik tecrübeleri dâhilinde değerlendirilmiştir. Yapı taşıyıcı sistemi elemanları; taşıyıcı duvar, kemer, kubbe, tonozlar oluşturulmuştur. Bu modelde kubbe, pandantif elemanlar ve yapı duvarları için kabuk (shell) elemanlar kullanılmıştır.

Yapı rölemleri üzerinden, pandantiflere ait üç boyutlu geometrinin tanımlanmasında x yönünde 8 ve y yönünde 10 olmak üzere toplam 18 adet kesit ile tavan planı kullanılmıştır. Modellemenin daha hassas yapılabilmesi için, yapı rölöve çizimlerin yeterli olmadığı noktalarda nokta bulutu verilerinden yararlanılmıştır. Nokta bulutu ile görüntülenebilen iç ve dış kabuk geometrilerinden hareketle; kubbe, tonoz, kemer, geçiş elemanları (pandantifler) ve duvar kesitlerinin merkezleri tespit edilerek, yapı rölemlerinden elde

edilen taşıyıcı sistem ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle üç boyutlu yapı taşıyıcı sistem iskeleti oluşturulmuştur. Oluşturulan iskelet Sap2000 programına aktarılarak kabuk ve çubuk geometriye sahip yapı elemanlarının modellenmesi sağlanmıştır. Nokta bulutu verilerinin yapının gerçek geometrisine yakın modellemede oldukça etkili bir veri olduğu söylenebilir. Şekil 3.11’de, iç mekân ölçümlerinden oluşan yapı nokta bulutu görüntüsü, Şekil 3.12’de ise Sap 2000’ne girilen yapı elemanları ve görüntüleri verilmektedir.

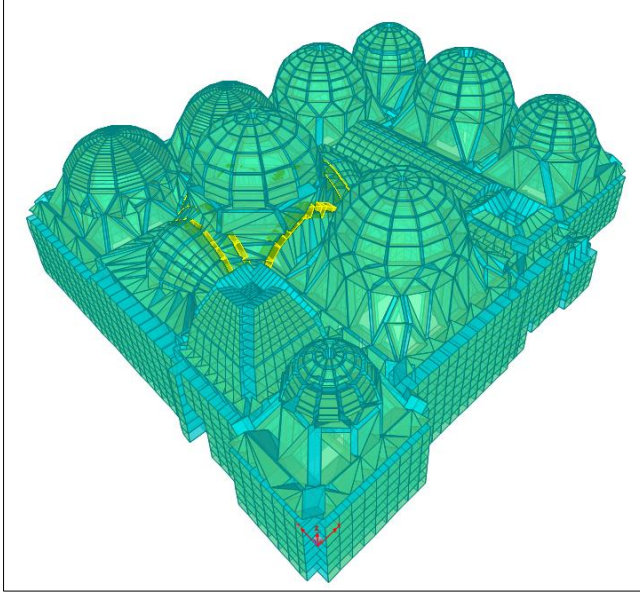


Şekil 3.11. Nokta Bulutu üst görünüş

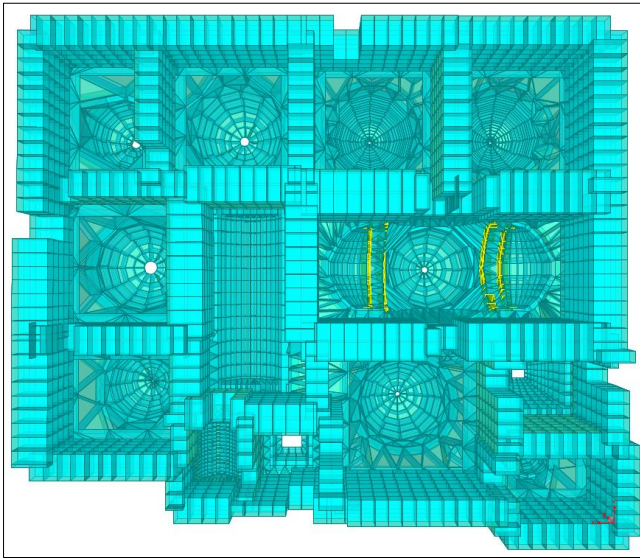


Şekil 3.12. Sap2000 modeli üst görünüş

Yapıyı oluşturan duvarlar Sap2000 modeli için idealize edilerek farklı kalınlıkları göz önüne alınmıştır. Bu sebeple beden duvarları 75-120 cm arası, tuğla kubbelerde 33-47 cm arası, ara duvarlarda ise en kalını 150 cm, en incesi 45 cm olmak dokuz farklı kalınlık kullanılmıştır. Duvarlar, kubbelere ve pandantifler düzlem (Shell) eleman ve kemerler çubuk (frame) eleman olarak tanımlanmıştır. Yapı modeli 3d ve alt görünüşü Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de verilmiştir. Bu modellemede 88 çubuk, 5860 plak olmak üzere toplam 5948 elemandan oluşan yapı sistemi kullanılmıştır.

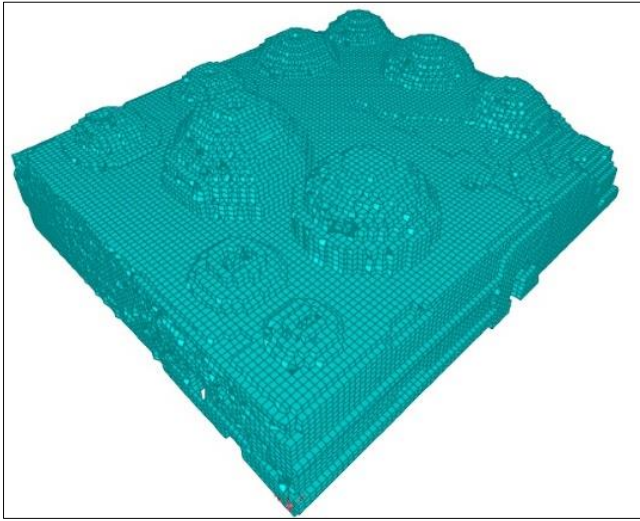


Şekil 3.13. Sap modeli 3d görünüş

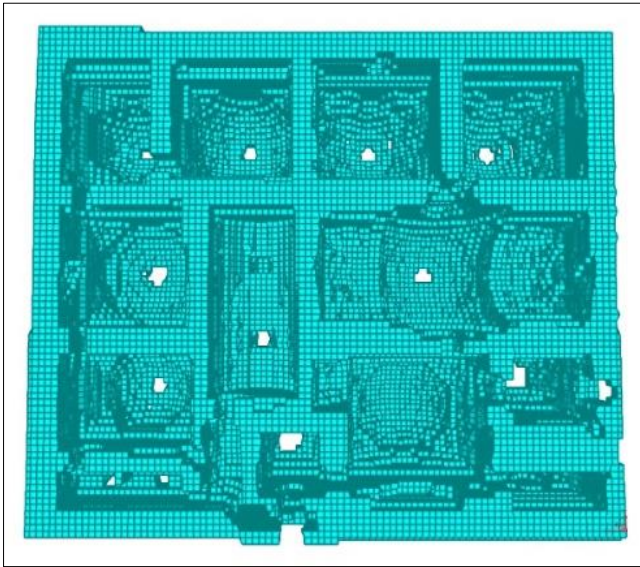


Şekil 3.14. Sap modeli alt görünüş

İkinci modelleme tekniği olarak kullanılan voksel modellemesinde ise sadece nokta bulutu verileri kullanılarak yapı geometrisi oluşturulmuştur. Kúp formunda yapı elemanlarından yapı taşıyıcı sistemi ve düşey yükleri oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada $25 \times 25 \times 25 \text{ cm}^3$ hacimli katı (solid) elemanlarla modelleme yapılmıştır. Toplamı yapı yüksekliğine tekabül edecek, plan düzleminde 25 cm. 'lik 35 adet katmandan oluşan yapı voksel modeli elde edilmiştir(Şekil 3.15, Şekil 3.16). Bu modelleme için toplamda 63144 kúp eleman kullanılmıştır.

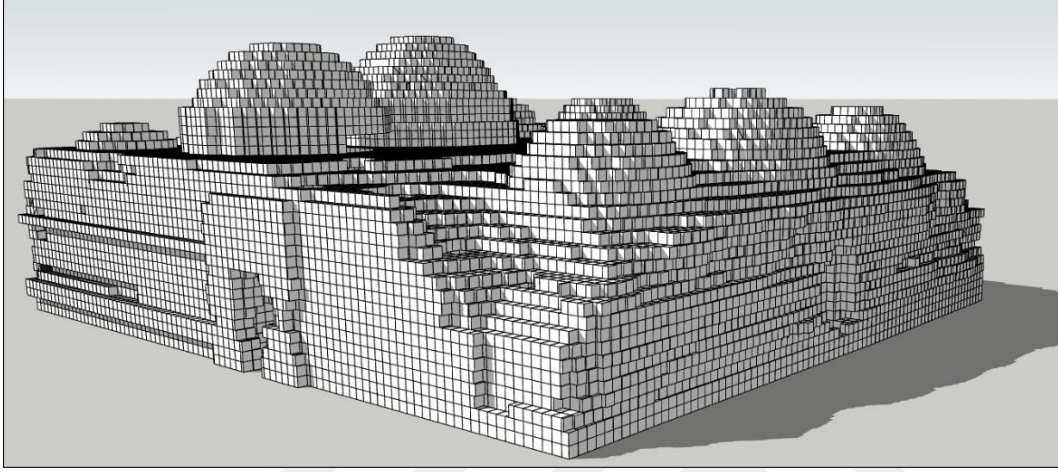


Şekil 3.15. Voksel Sap modeli 3d görünüş



Şekil 3.16. Voksel Sap modeli alt görünüş

Voksel modelde ait birim küp boyutları tüm analiz için veya bölgesel olarak değiştirilebilir. Şekil 3.17’de voksel modele ait üç boyutlu görünüş verilmektedir. Hamam yapısının modelleme detaylarını göstermek amacıyla hamamın voksel modellemesindeki görünüşüne benzer açıdan çekilmiş fotoğrafı Resim 3.3’de verilmiştir. Ancak yapı üzerindeki dolgunun ölü yüklemesi voksel modelinde gösterilmemiştir.

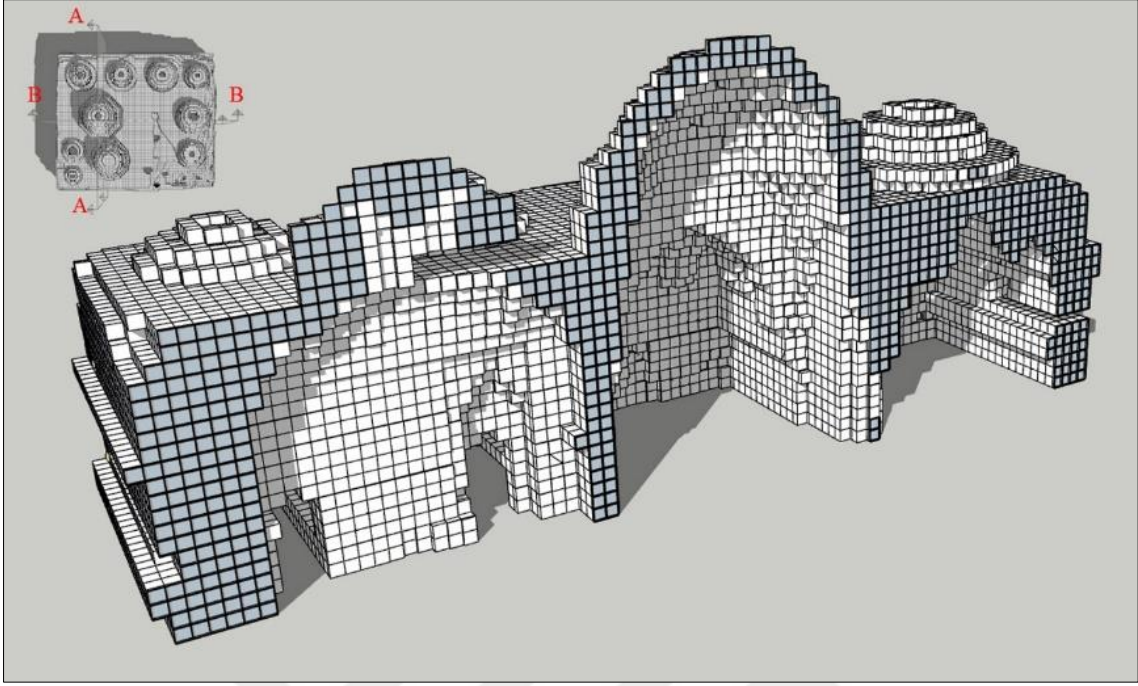


Şekil 3.17. Voksel model üç boyutlu görünüş

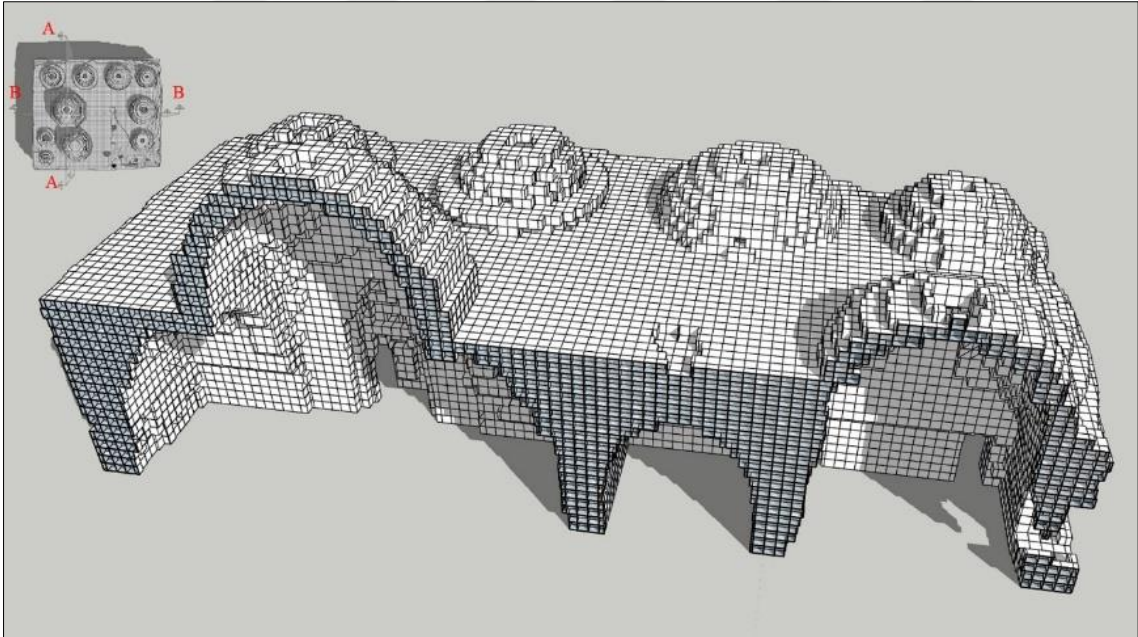


Resim 3.3. Mihâl Bey hamamı kuzeydoğu köşesi görünüş

İçeriden ve dışarıdan olmak üzere 67 noktadan alınan nokta bulutu verilerinin rölöve çalışmasına gereksinin duyulmadan voksel modelde değerlendirilmesi sonucu, yapının iç ve dış kısımlarını gösteren A-A düşey kesit Şekil 3.18’de, B-B düşey kesiti Şekil 3.19’da verilmiştir. Bu modelleme sayesinde yapıda çubuk eleman ve plak eleman tanımlaması yapılmadan tüm yapı davranışa dâhil edilmiştir.



Şekil 3.18. Voksel model A-A kesiti perspektif görünüş



Şekil 3.19. Voksel model B-B kesiti perspektif görünüş

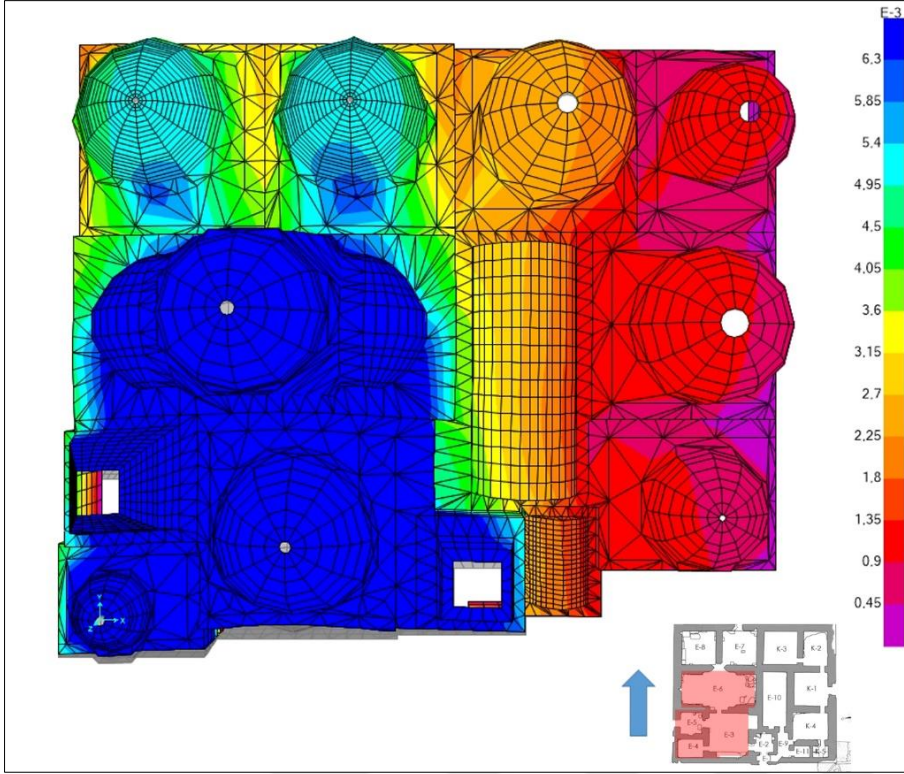
3.3.2. Klasik model-voksel model karşılaştırması

Yapılan hesaplamalarda yapı ağırlığı, klasik analiz modeli için 1959,74 ton, voksel modeli için ise 1903,97 ton olarak bulunmuştur. İlk üç mod için toplam ötelenmeler, Klasik model ve voksel model için karşılaştırma amacıyla Çizelge 3.2’de verilmiştir.

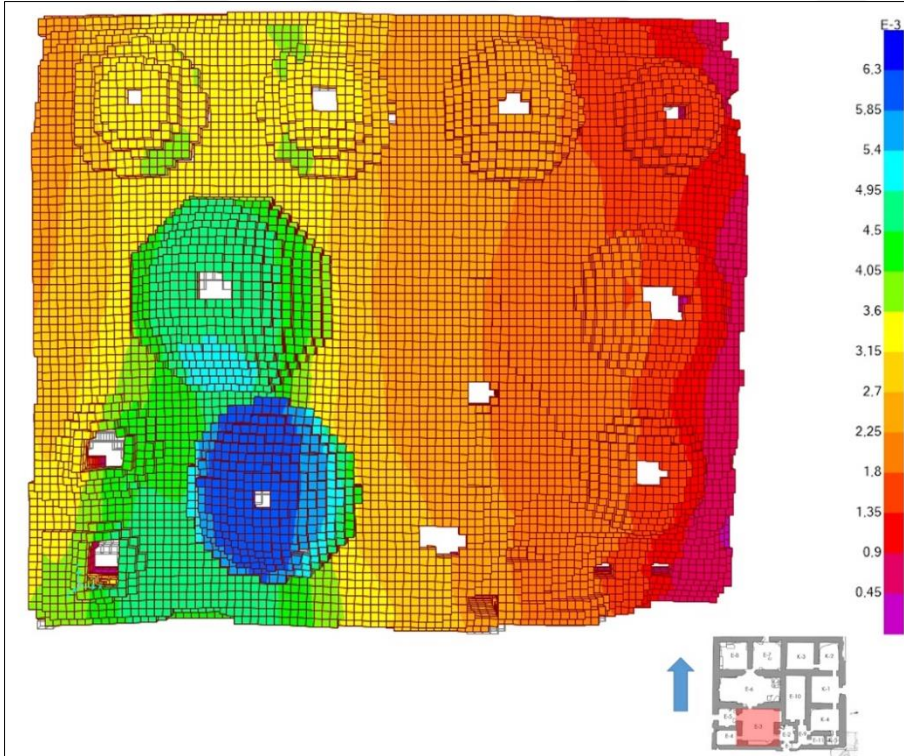
Çizelge 3.2. Mihâl Bey Hamamı yapı modları ve toplam yer değiştirmeler

Mod	Klasik model		Voksel model	
	Periyot(sn)	Toplam ötelenme(m)	Periyot(sn)	Toplam ötelenme(m)
1.mod	0,089	0,023	0,062	0,007
2.mod	0,074	0,026	0,056	0,005
3.mod	0,073	0,021	0,052	0,007

Mod 1’de klasik model yapı periyodu 0,089 sn.ve voksel model yapı periyodu 0,062 sn.dir. Klasik model mod 1 için toplam yer değiştirmeler incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin E3 ve E6 kubbeleri bölgesinde olduğu görülmektedir. Voksel modelde en büyük ötelenme E3 kubbesi bölgesindedir. Mod 1 için klasik ve voksel model Y yönünde hareket etmektedir. Her iki modelde de yapının Y yönünde tüm kütlelerinin 1. modda etkin olduğu görülmüştür. Klasik modelde maksimum toplam yer değiştirme 23 mm. iken voksel modelde maksimum yer değiştirme 7 mm. olarak bulunmuştur. Klasik modelde yer değiştirmelerin voksel modele oranla fazla oluşmasının sebebi duvar, kubbe ve pandantiflerin kabuk eleman olarak modellenmesidir. Mod 1 için klasik model ve voksel model beklenen yapı davranışına daha yakın sonuçlar vermiştir. Klasik ve voksel model 1. Mod için toplam ötelenmeler Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de verilmiştir. Davranış farklarının incelenmesi amacıyla ötelenmelere ait grafik gösterimlerinde voksel model ötelenme değerleri sınır değerler olarak alınmıştır. Ötelenmeye etkin bölüm anahtar planda taranmış ve moda ait etkin hareket yönü ok ile gösterilmiştir.

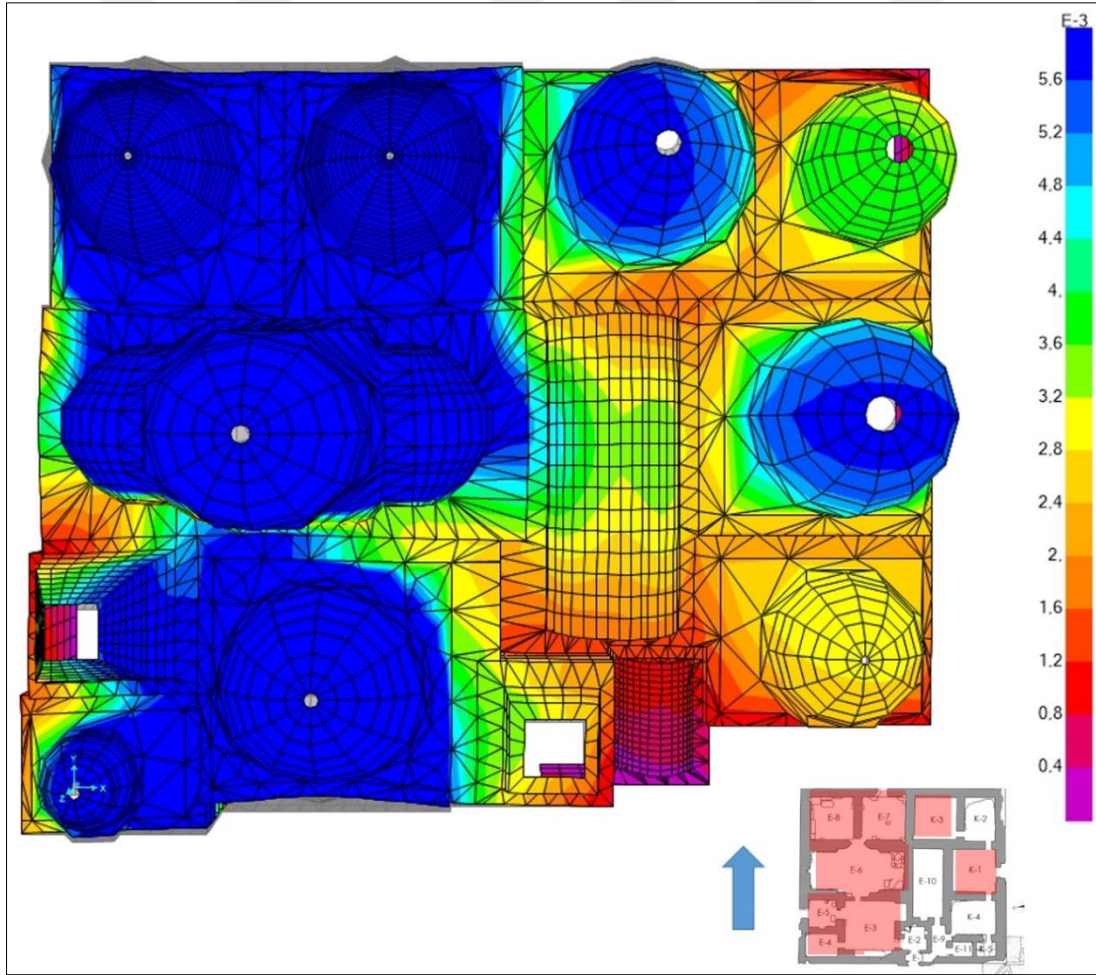


Şekil 3.20. Klasik model 1.mod (min. 0 m /maks.0.023m)

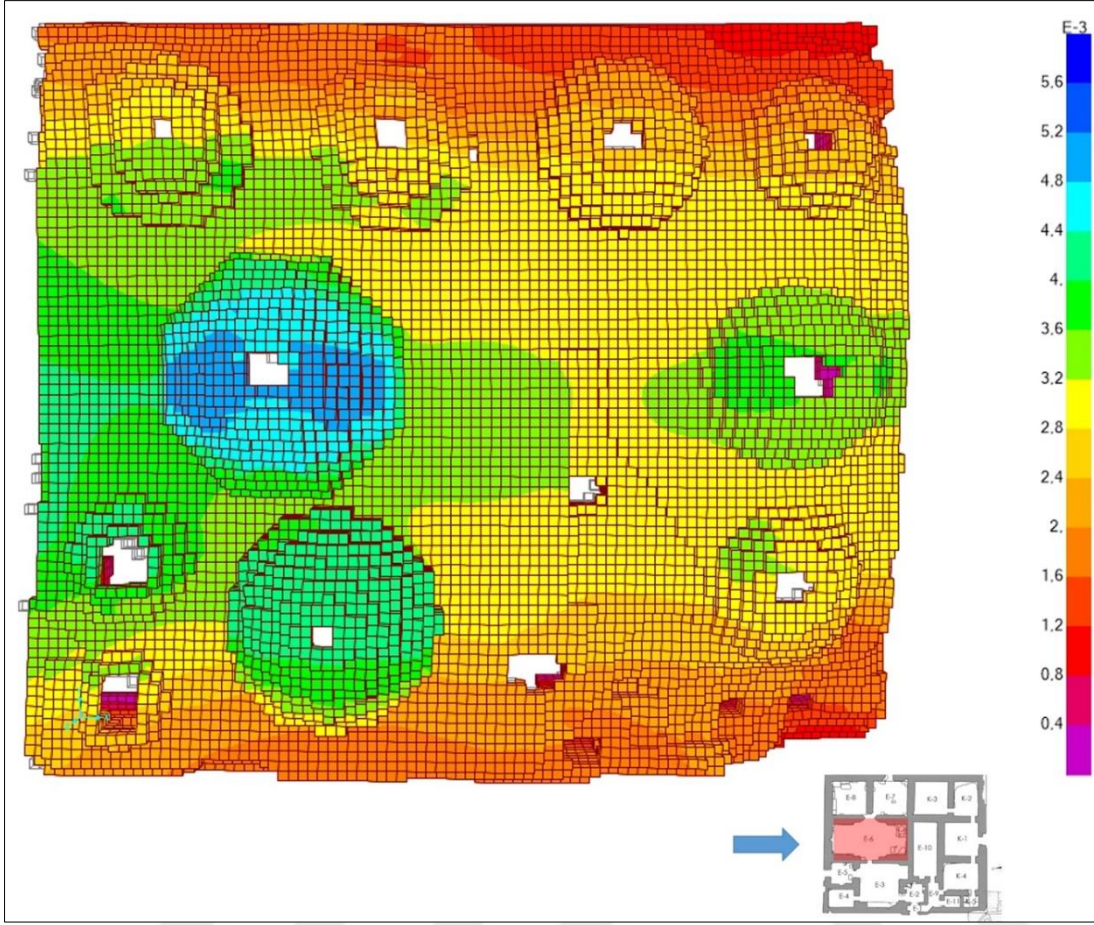


Şekil 3.21. Voksel model 1.mod (min. 0 m / maks.0.007 m)

Mod 2’de klasik model yapı periyodu 0,074 sn.ve voksel model yapı periyodu 0,056 sn.dir. Klasik model 2. modu için belirleyici unsur E ile ifade edilen erkekler bölümünün geneli ile K3 ve K1 bölümleridir. Her iki modelde de yapının tüm kütesinin 2. moda etkin olduğu görülmüştür. Mod 2’de yapı, klasik modelde Y yönünde, voksel modelde ise X yönünde ötelenmeye uğramaktadır. Klasik modelde en büyük toplam yer değıştirme 26 mm, voksel modelde ise E6 bölümünde 5 mm. olarak hesaplanmıştır. Klasik ve voksel model 2. Mod için toplam ötelenmeler Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilmiştir. Davranış farklarının incelenmesi amacıyla ötelenmelere ait grafik gösterimlerinde voksel model ötelenme değeri sınır değeri olarak alınmıştır. Ötelenmeye etkin bölüm anahtar planda taranmış ve moda ait etkin hareket yönü ok ile gösterilmiştir.



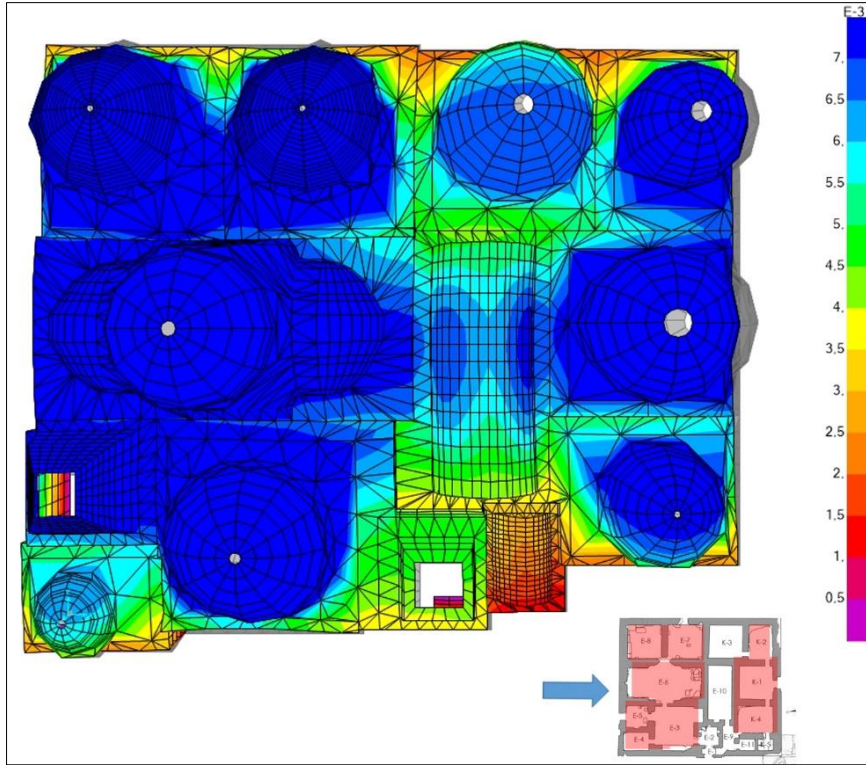
Şekil 3.22. Klasik model 2.mod (min. 0 m /maks.0.026 m)



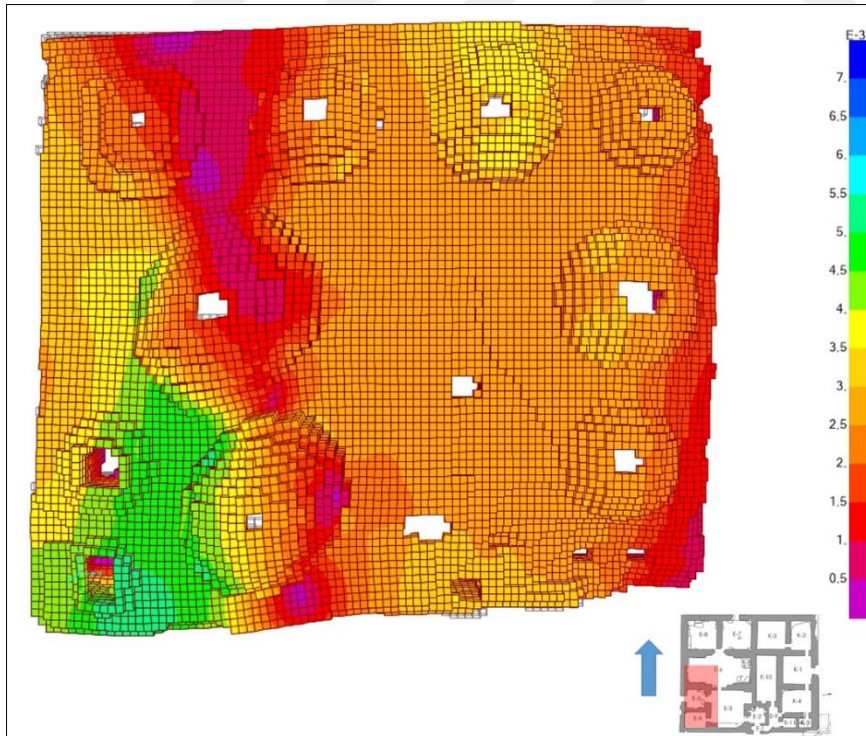
Şekil 3.23. Voksel model 2.mod (min. 0 m / maks.0.005 m)

Mod 3’de klasik model yapı periyodu 0,073 sn.ve voksel model yapı periyodu 0,052 sn.dir. Klasik model ve voksel modelde yapının X yönünde tüm kütesinin 3. moda etkin olduğu görülmüştür. Klasik modelde maksimum toplam yer değiştirme 21 mm. iken voksel modelde maksimum yer değiştirme 7 mm. olarak bulunmuştur(Şekil 3.24 ve Şekil 3.25). Davranış farklarının incelenmesi amacıyla ötelenmelere ait grafik gösterimlerinde voksel model ötelenme değerleri sınır değerler olarak alınmıştır. Ötelenmeye etkin bölüm anahtar planda taranmış ve moda ait etkin hareket yönü ok ile gösterilmiştir.

Modlara ait yer değiştirme davranışlarının daha detaylı incelenmesi amacıyla, hamam yapısını oluşturan her bir bölüme üst örtünün modal hareket yönü işaretlenerek Çizelge 3.3’de verilmiştir. Voksel model için Mod 3’de yapının en büyük kubbesi olan E6 kubbesinde oluşan burulmanın, klasik modelde Mod 8’de ($T=0,061$ sn) oluştuğu görülmüştür.



Şekil 3.24. Klasik model 3.mod (min. 0 m / maks.0.031 m)



Şekil 3.25. Voksel model 3.mod (min. 0 m / maks.0.005 m)

Çizelge 3.3. İlk üç moda ait ayrıntılı hareket yönleri

Mod	Klasik Model	Voksel Model
1		
2		
3		

Klasik model ve voksel modellerin analizinde sisteme etkilene yükler; sabit yükler(G), hareketli yükler(Q), X yönü deprem yükü(E_x) ve Y yönü deprem yükü(E_y)'dür. Tanımlanan yük kombinasyonları;

$G+Q$,

$G+0,6Q+E_x$,

$G+0,6Q+E_y$,

olup, bu yükler sonucunda yapı sisteminde oluşan deplasmanlar klasik model için Çizelge 3.4'de, Voksel model için Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Klasik model ötelenmeler (mm)

	G+Q		G+0,6Q+Ex		G+0,6Q+Ey	
	min	max	min	max	min	max
Ux (mm)	-0,21	0,21	-0,01	0,42	-0,19	0,18
Uy (mm)	-0,26	0,161	-0,27	0,16	-0,01	0,47
Uz (mm)	-0,73	0	-0,73	0	-0,70	0
Toplam (mm)	0	0,80	0	0,89	0	0,87

Çizelge 3.5. Voksel model ötelenmeler (mm)

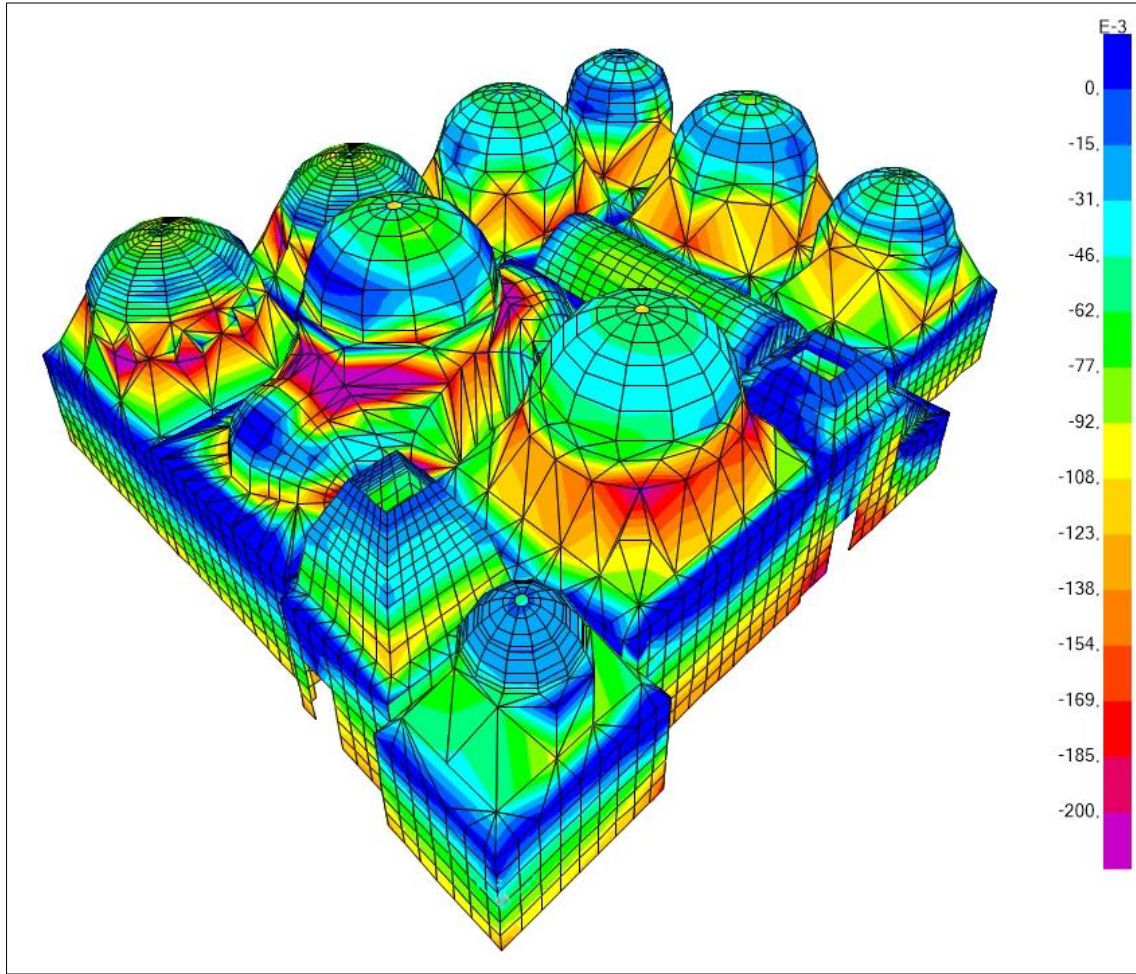
	G+Q		G+Q+Ex		G+Q+Ey	
	min	max	min	max	min	max
Ux (mm)	-0,06	0,07	-0,02	0,26	-0,06	0,06
Uy (mm)	-0,09	0,08	-0,1	0,08	-0,02	0,28
Uz (mm)	-0,48	0,01	-0,49	0,01	-0,50	0,01
Toplam (mm)	0	0,50	0	0,57	0	0,58

Ötelenmeler incelendiğinde klasik model X yönü deprem yüklemesinde yükleme yönünde 0,421 mm olan ötelenme değerinin, voksel modelde 0,268 mm mertebesinde olduğu görülmüştür. Benzer bir durumun Y yönü deprem yüklemesinde de mevcuttur. Klasik model Y yönü deprem yüklemesinde yükleme yönünde olan ötelenme 0,472 mm ile voksel modelde bu ötelenme değeri 0,284 mm olarak hesaplanmıştır. Sabit yükler altında Z yönünde deplasmanlar klasik modelde 0,73 mm iken, voksel modelde 0,487 mm'dir. Bu sonuç doğrultusunda klasik model deplasmanları voksel modele oranla ortalama %57 daha fazladır.

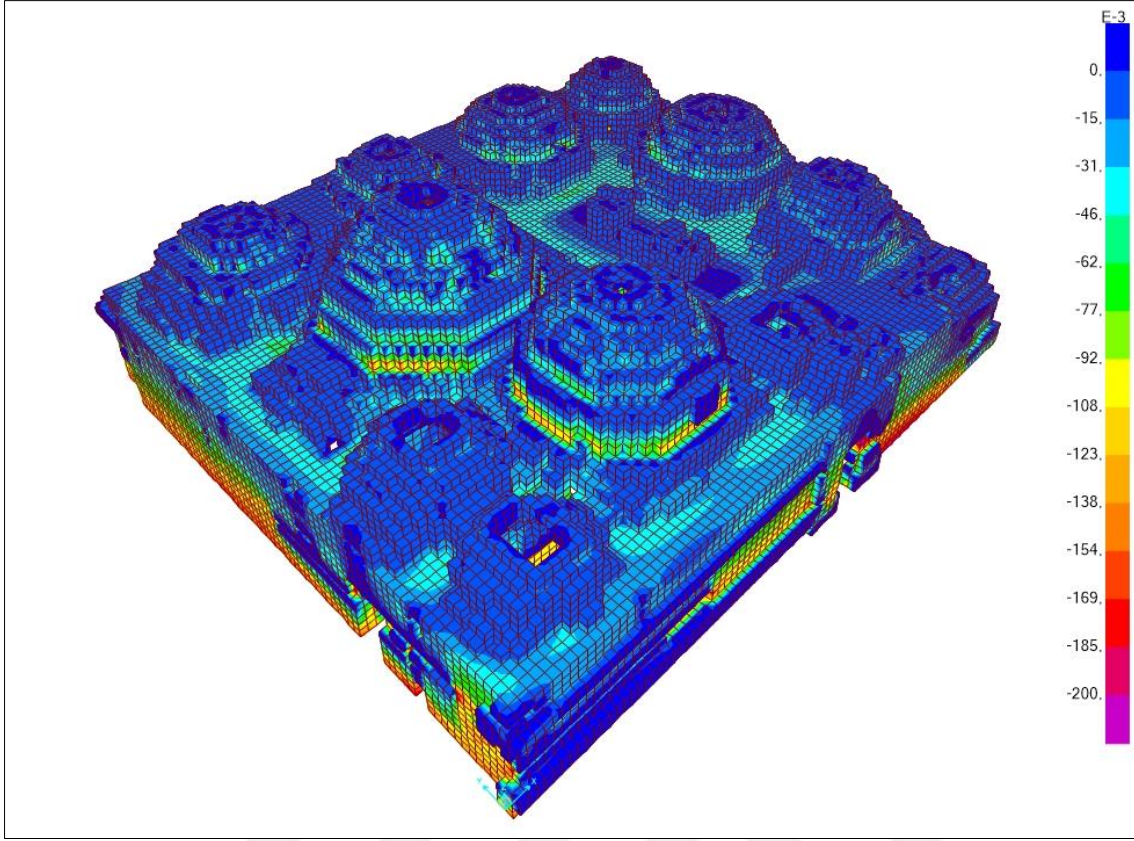
Yapının zati ağırlığı ve hareketli yüklerin etkisi ile düşey taşıyıcılarını teşkil eden beden duvarlarında oluşan aksenal gerilmeler ile kubbe ve tonozlarda oluşan gerilmeler klasik model için Şekil 3.26'da, voksel model için ise Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Gerilme dağılımı her iki modelde paralellik gösterse de özellikle kubbe-duvar geçiş elemanlarında

(pandantiflerde) klasik modele ait sonuçlarda gerilme yığılımlarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Klasik modelde oluşan basınç gerilmesi değeri 0,609 MPa iken voksel modelde oluşan basınç gerilme değeri 0,620 MPa'dır. Yapı geneli için klasik model eksenel gerilme dağılımı Şekil 3.26'da, voksel model eksenel gerilme dağılımı Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.26. Klasik model G+Q yüklemesi eksenel gerilmeler (MPa)

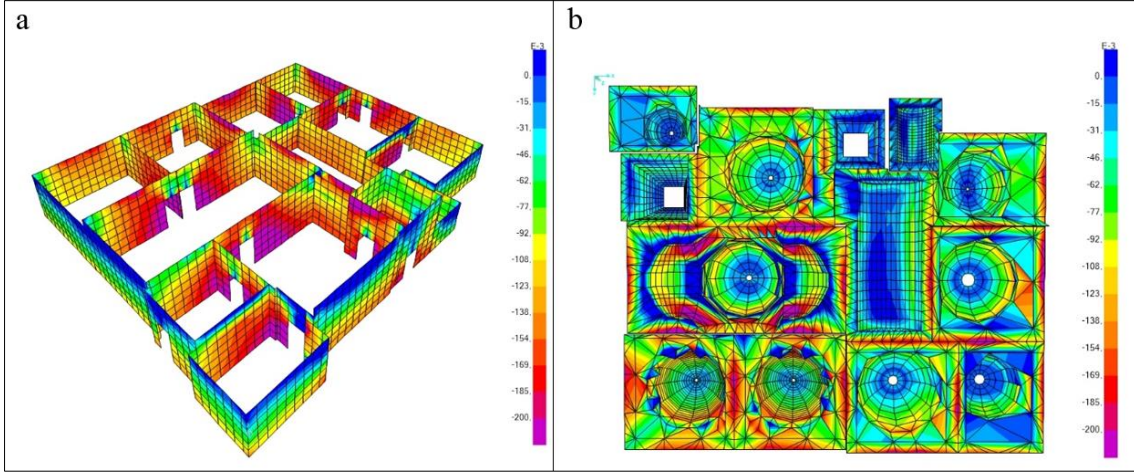


Şekil 3.27. Voksel model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa)

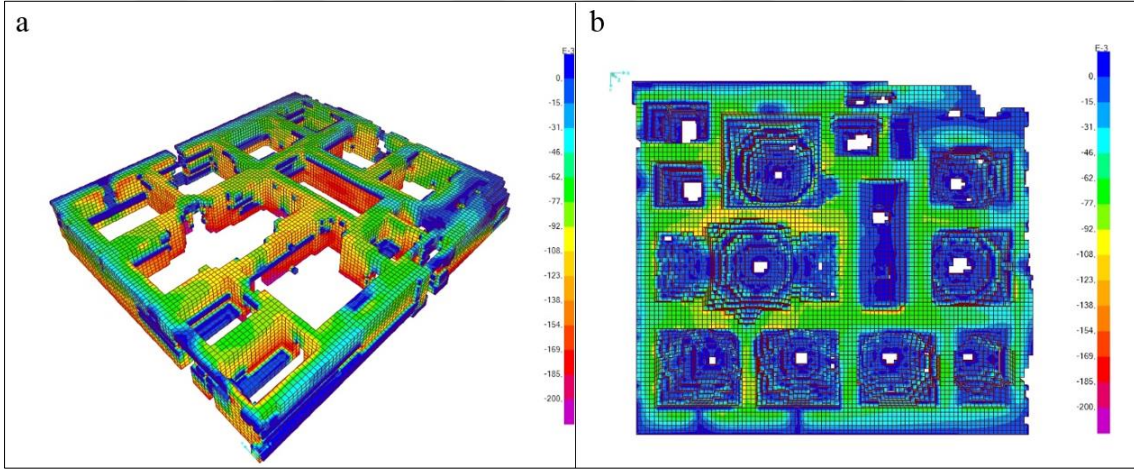
Yapı modellemeleri incelendiğinde E3 kubbesi pandantiflerinde klasik modelde 0,12 MPa basınç gerilmesi oluşurken, voksel model için aynı bölgede 0.09 MPa basınç gerilmesi hesaplanmıştır. E6 kubbesi kemerlerinde ise en büyük aksenal gerilme değeri, klasik modelde 0.07 MPa, voksel modelde 0.03 MPa'dır. G+Q yüklemesi sonucunda yapı duvarları ve pandantiflerinde oluşan aksenal gerilmeler, klasik model için Şekil 3.28'de, voksel model için Şekil 3.29'da verilmiştir. Aksenal gerilme değerleri Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.6. G+Q Yüklemesi aksenal gerilmeleri ve düşey yer değiştirmeler

	G+Q Yüklemesi			
	σ_{\min} (Mpa)	σ_{\max} (Mpa)	δ_{\min} (mm)	δ_{\max} (mm)
Klasik model	-0,609	0,44	-0,73	-0,487
Voksel model	-0,62	0,123	0	0,004

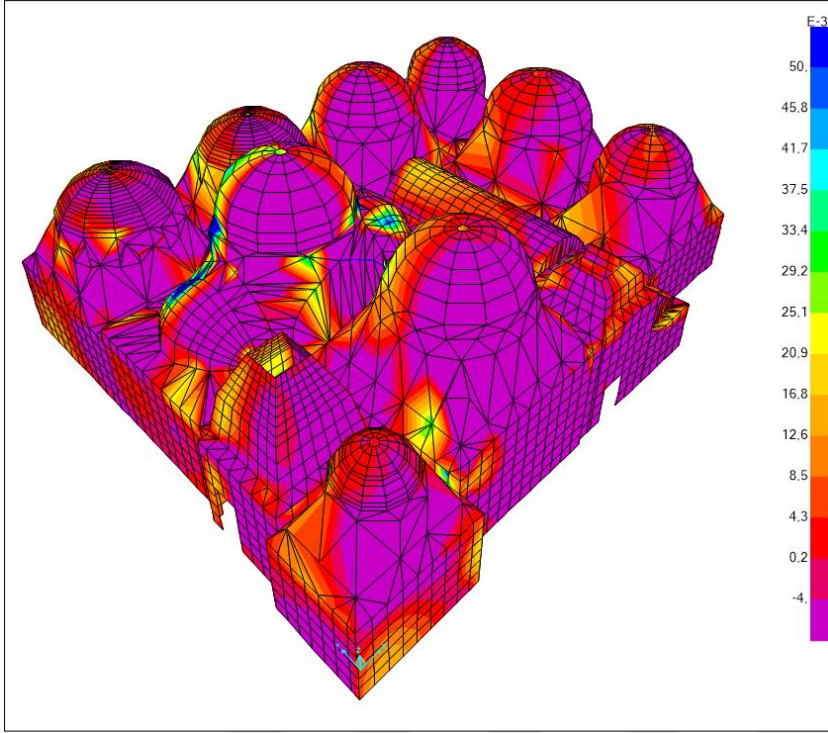


Şekil 3.28. Klasik model, (a) duvar aksenal gerilmeleri, (b) pendentif aksenal gerilmeleri (MPa)

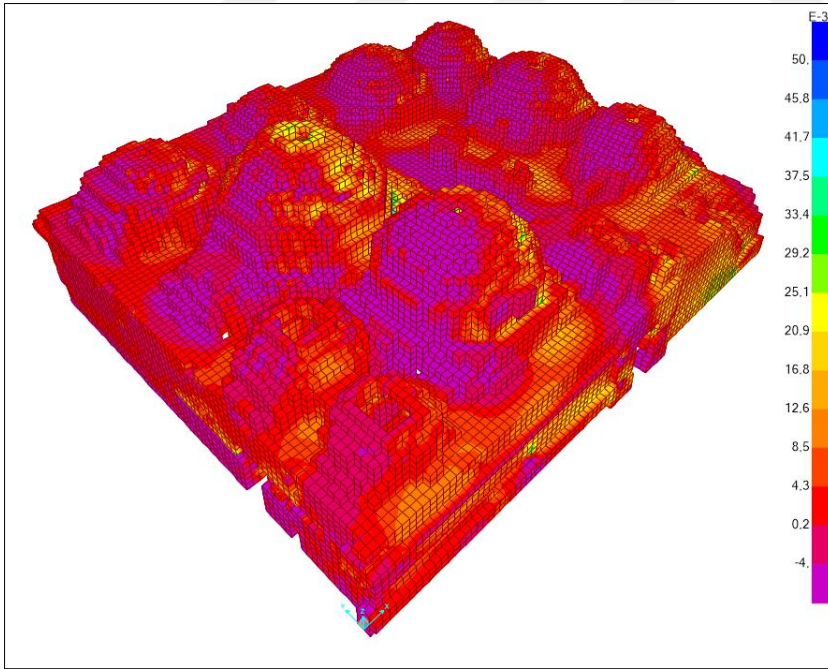


Şekil 3.29. Voksel model, (a) duvar aksenal gerilmeleri, (b) pendentif aksenal gerilmeleri (MPa)

X yönündeki deprem etkisi altında, $G+0,6Q+Ex$ yüklemesi, analiz sonucunda yapı elemanlarında oluşan kayma gerilmesi değerleri klasik model için Şekil 3.29'da, voksel model için Şekil 3.30'da verilmiştir. Oluşan kayma gerilmeleri genel dağılım olarak büyük oranda benzerlik göstermektedir. Fakat klasik modelde X yönü deprem etkisinde oluşan maksimum kayma gerileme değeri 0,345 MPa iken voksel modelde 0,167 MPa olarak hesaplanmıştır.



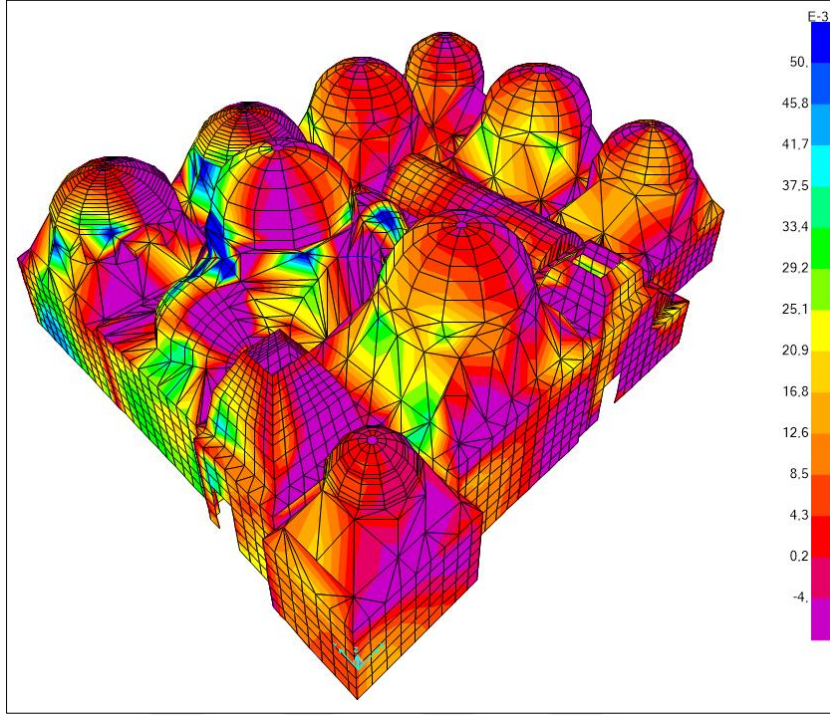
Şekil 3.30. Klasik model G+0.6Q+EX yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)



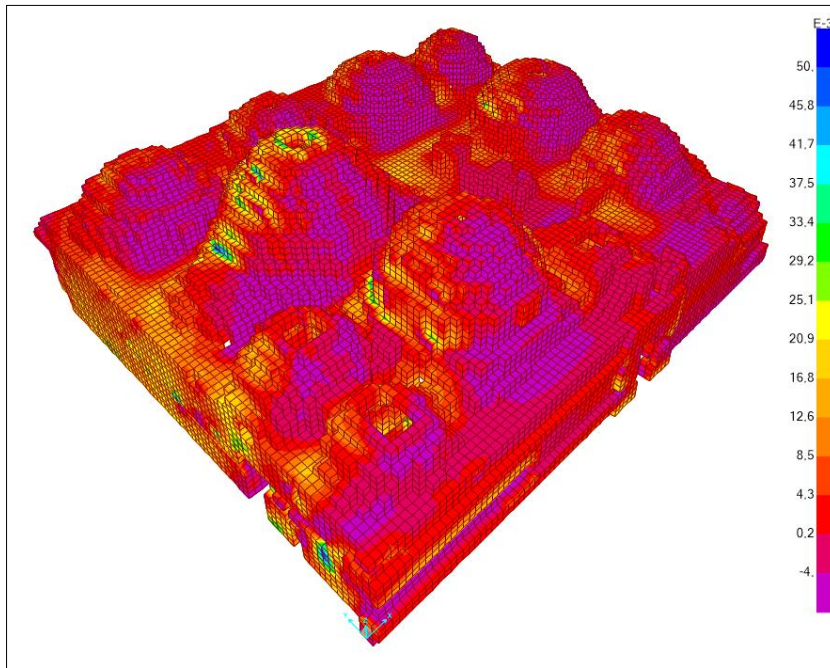
Şekil 3.31. Voksel model G+0.6Q+EX yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)

Y yönündeki deprem etkisi altında, G+0,6Q+E_y yüklemesi, analiz sonucunda yapı elemanlarında oluşan kayma gerilmesi değerleri klasik model için Şekil 3.31'de, voksel model için Şekil 3.32'de verilmiştir. Oluşan kayma gerilmeleri genel dağılım olarak büyük

oranda benzerlik göstermektedir. Fakat Y yönü deprem etkisinde oluşan maksimum kayma gerilemesi değeri klasik modelde maksimum 0,424 MPa iken voksel modelde 0,126 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.32. Klasik model G+0.6Q+EY yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)



Şekil 3.33. Voksel model G+0.6Q+EY yüklemesi kayma gerilmeleri (MPa)

Taş duvarlar için verilen başlangıç kayma dayanımı değerinin duvar örgüsü, duvar tipolojisi, işçilik ve malzeme kalitesi gibi parametreleri detaylı olarak yansıtmadığı ve ancak fikir verici temsili değerler olarak değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Yapı kütlesi incelendiğinde klasik model 1959 ton, voksel model 1904 ton olarak bulunmuştur. Klasik modelde yapı kütlesi için hesaba dâhil edilen dolgu yükleri, modele ek üniform yayılı yük olarak girilmiştir. Voksel modelde böyle bir uygulama olmakla birlikte dolgu alanları üç boyutlu olarak yapı geometrisi oluşturulurken belirlenmekte ve yapı modeline dâhil edilmektedir. Bu nedenle yapı ağırlığı ve yükleri mevcut yapı ve yüklere daha yakındır.

İki farklı teknikte üretilmiş yapı modelleri karşılaştırıldığında, klasik yapı elemanlarından oluşan modelin ilk üç periyodu 0,089-0,074-0,073 sn. mertebesinde iken, voksel tekniği ile üretilen modelin ilk üç modu 0,062-0,056-0,052 sn. mertebesinde oluşmuştur. Voksel model, voksel modele göre daha rijit davranış göstermiştir.

Klasik model, farklı kalınlıklardaki plak elemanlardan oluşmaktadır. Voksel model tüm elemanlarının katı eleman olarak modellenmesiyle oluşturulmuştur. Bu sebeple klasik model periyotlarının voksel modele oranla daha uzun çıkması beklenen bir sonuçtur. Geometrisi daha düzenli olan yapılarda klasik modelleme ve voksel modelleme ile elde edilen yapı periyotları birbirlerine daha yakın hesaplanabilmektedir. Voksel model elemanları arasında tam uyum söz konusu olduğundan, düzensiz geometriye sahip yapılarda, klasik modellemeye oranla daha az modlu çözüm gerektirmektedir. Voksel modelin daha rijit davranış göstermesi sebebiyle modlara ait ötelenme tablosu incelendiğinde, klasik model modal ötelenmelerinin voksel modele oranla 3-5 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Eksenel gerilmeler ve kayma gerilmeleri değerleri incelendiğinde oluşan maksimum gerilmelerde farklılıklar bulunmasına rağmen yapı genelinde gerilme dağılımlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

3.4. Sırbistan Bayraklı Cami Minaresi Analizi

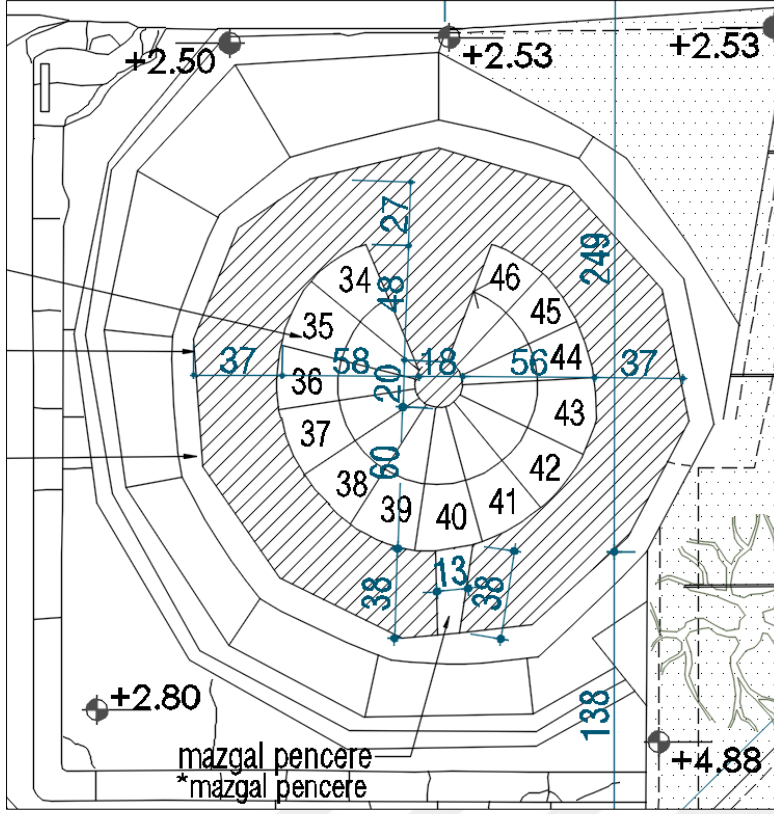
Bayraklı Câmî, Belgrad şehir merkezinde Gaspodar Jevremova Caddesi'nde yer alır. Kitâbesi ve vakfiyesi bulunmayan eserin, kim tarafından ve hangi târihte yapıldığı konusunda kesin bir bilgiye ulaşılamamıştır. Eserin 16.yy sonlarında inşa edildiği tahmin

edilmektedir. Câmînin beden duvarları, içten ve dıştan kesme taş arası moloz taş dolgulu örgüyle yapılmıştır. Kasetleme (sandıklama) tekniğinde yapılan bu duvar örgüsündeki malzeme, kireç harçla tutturulmuştur. Caminin kuzeybatı köşesinde cepheye bitişik vaziyette yükselen çokgen formlu minâresi yer alır(Resim 3.4). Minâre 25,90 metre yüksekliğindedir. Taş kaide kısmı kesme taştan diğer kısımları ise tuğla malzemeden inşa edilen minâre, tek şerefelidir [46]. +5.45 m kotlu minare planı Şekil 3.34’de verilmiştir.

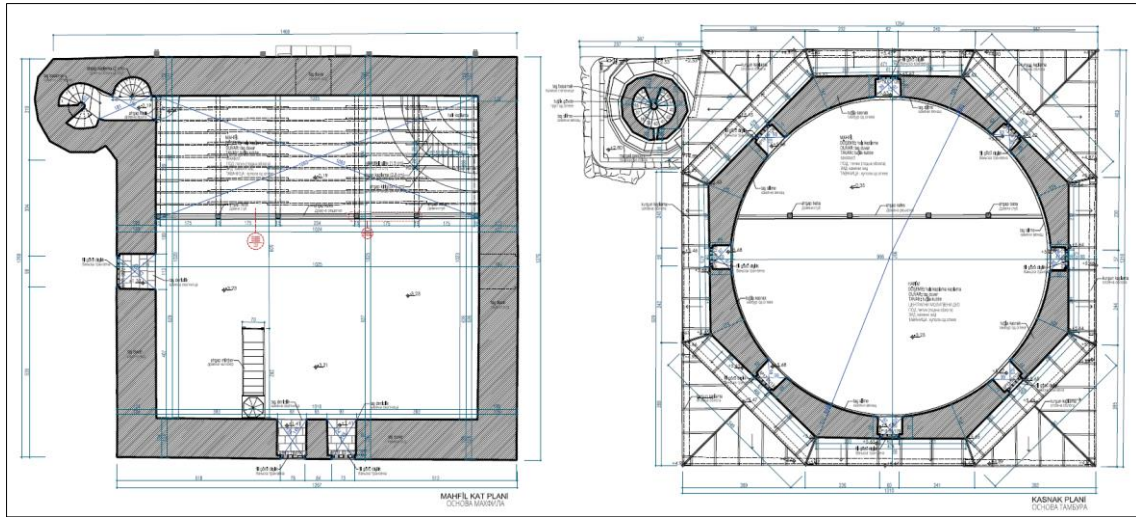


Resim 3.4. (a) Sırbistan Belgrad Bayraklı Cami (b) Minare ve şerefe

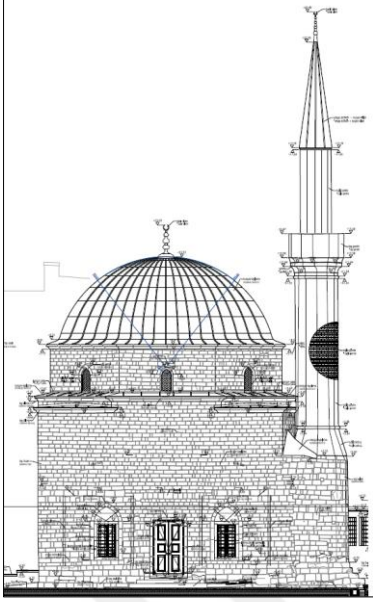
Minâreye çıkış, mahfil katın kuzeybatı köşesindeki kapı açıklığından sağlanmaktadır. Tromp altındaki kapıdan girildikten sonra minâre basamaklarına, üzeri tonoz örtülü ince bir koridorla ulaşılmaktadır. Camiye ait mahfil ve kasnak planı ile cami ön görünüşü Şekil 3.35 ve Şekil 3.36’da verilmiştir.



Şekil 3.34. +5.45 m kotlu minare planı



Şekil 3.35. Belgrad Bayraklı Cami mahfil ve kasnak planı



Şekil 3.36. Belgrad Bayraklı Cami ön görünüşü

Yapının her iki yönle analizi için; deprem yüklerinin belirlenmesinde Belgrad/Sırbistan depremselliği ve yapının bulunduğu zemin koşulları göz önüne alınmıştır. Yapıda deprem parametreleri olarak maksimum yer ivmesi 0,08g ve kısa periyot 0,20 sn. uzun periyot 0,60 sn. olmak üzere zemin sınıfı Tip C zemin için değerler kullanılmıştır. Analiz modelinde zemin için yay tanımlanmamıştır.

Her iki model için, deprem yükleri belirlenirken bina önem katsayısı $I=1,0$ olarak alınmıştır. Deprem analizleri için spektrum katsayısı yığma yapılar için önerildiği üzere 2,5 olarak kabul edilmiştir [45]. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=2$ olarak dikkate alınmıştır. Yapısal analizlerde mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

3.4.1. Klasik model-voksel modelleme

Belgrad Bayraklı Camisi yapısının geometrisinin belirlenmesi için içeriden ve dışarıdan toplamda 35 farklı noktada lazer ölçümü yapılmıştır. Elde edilen yapının 12 milyon noktadan oluşan nokta bulutu görüntüsü Şekil 3.37’de verilmiştir.

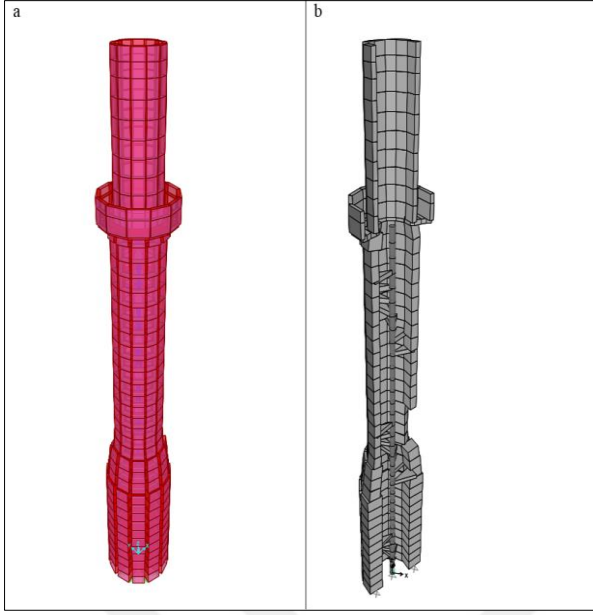


Şekil 3.37. 12 milyon noktadan oluşmuş nokta bulutu görüntüsü

Çalışmada, makro modelleme tekniği kullanılarak iki farklı yöntemle analiz modeli oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan malzemelere ait değerler Çizelge 3.1’de verilmiştir [44].

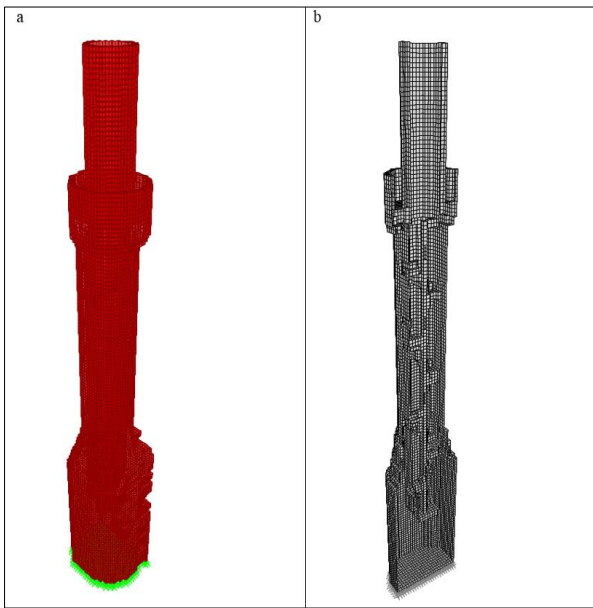
Klasik analiz modelinde nokta bulutundan elde edilen rölöveden yapı geometrisi ve kalınlıklar, mühendislik tecrübeleri dâhilinde değerlendirilerek minare taşıyıcı sistemi elemanları çevre duvarı oluşturulmuştur. Bu modelde duvarlar ve minare merdivenleri için kabuk (Shell) kullanılırken, minareden şerefeye çıkan merdivenlerin orta sütünü için çubuk (frame) elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca yüklemeler ve yükler yine tecrübe ve bilgi dâhilinde belirlenerek modele etki edilmiştir.

Oluşturulan model Sap2000 programına aktarılarak kabuk ve çubuk geometriye sahip yapı elemanlarının modellenmesi sağlanmıştır. Yapıyı oluşturan duvarlar Sap2000 modeli için idealize edilerek farklı kalınlıkları göz önüne alınmıştır. Bu sebeple kürsü duvarları 74, pabuç 57 cm, gövde 31, şerefe 14 cm, petek 17 cm, olmak üzere beş farklı kalınlık kullanılmıştır. Klasik modelleme ile oluşturulan yapı modeline ait üç boyutlu görünüm ve kesit Şekil 3.38’de verilmiştir. Bu modellemede 32 çubuk, 592 plak eleman olmak üzere toplam 624 elemandan oluşan yapı sistemi kullanılmıştır.



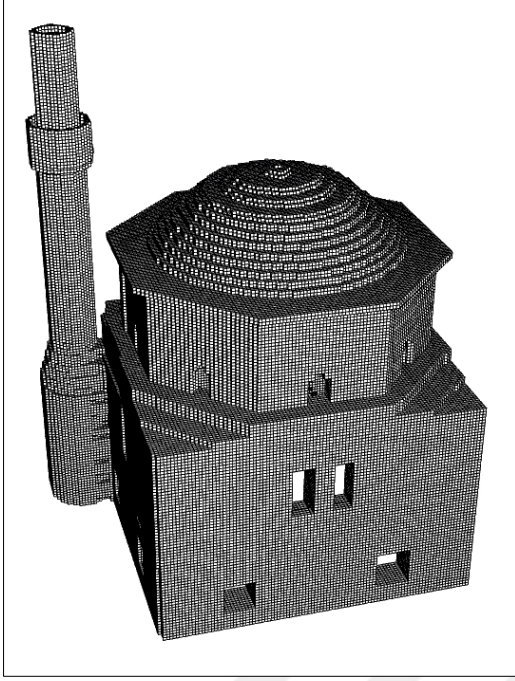
Şekil 3.38. (a) Sap modeli 3d görünüş, (b) Sap modeli kesiti

İkinci modelleme tekniği olarak kullanılan voksel modellemesinde ise sadece nokta bulutu verileri kullanılarak yapı geometrisi oluşturulmuştur. Küp formunda yapı elemanlarından yapı taşıyıcı sistemi ve düşey yükleri oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada $12,5 \times 12,5 \times 12,5$ cm³ hacimli katı (solid) elemanlarla modelleme yapılmıştır. Toplamı yapı yüksekliğine tekabül edecek, 82 adet katmandan oluşan yapı voksel modeli elde edilmiştir (Şekil 3.39). Bu modelleme için toplamda 30266 küp eleman kullanılmıştır.

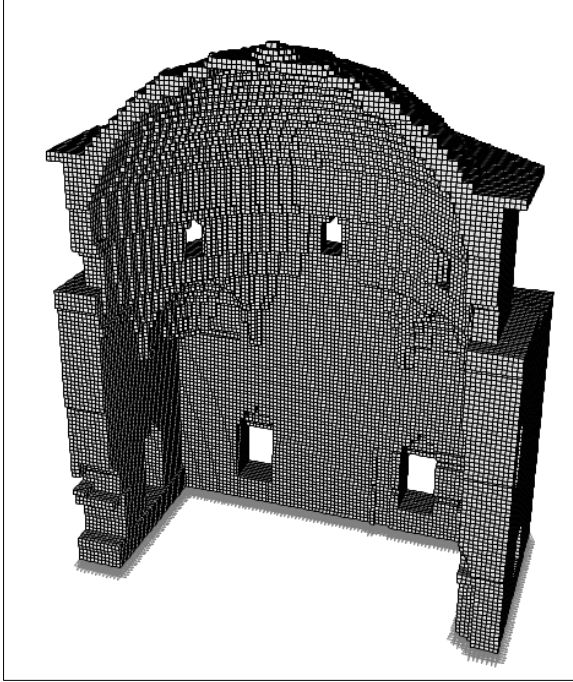


Şekil 3.39. (a)Voksel sap modeli 3d görünüş (b) Voksel sap modeli kesiti

Bayraklı Camii yapısının voksel modelleme detaylarını göstermek amacıyla caminin tamamına ait üç boyutlu modeli Şekil 3.40’da, kesit görünüşü ise Şekil 3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.40. Bayraklı Cami voksel model üç boyutlu görünüş



Şekil 3.41. Bayraklı Cami voksel model kesiti

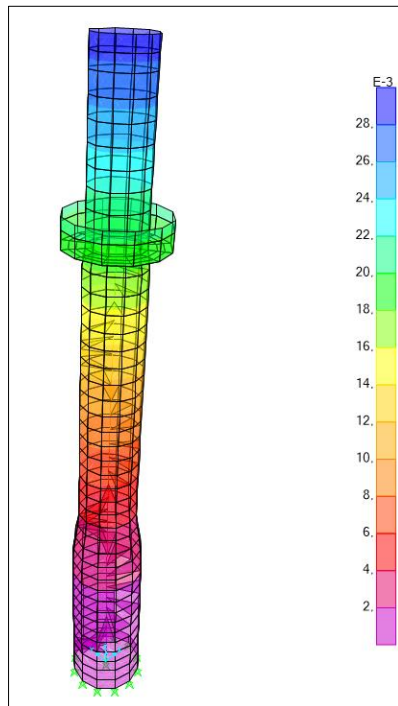
3.4.2. Klasik model-voksel model karşılaştırması

Yapılan hesaplamalarda yapı ağırlığı klasik analiz modeli için 117,27 ton, voksel modeli için ise 113,80 ton olarak bulunmuştur. İlk üç mod için toplam ötelenmeler, Klasik model ve voksel model için karşılaştırma amacıyla Çizelge 3.7’de verilmiştir.

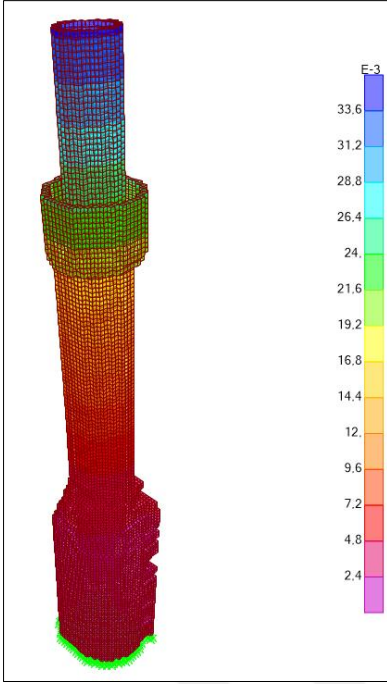
Çizelge 3.7. Bayraklı Cami minaresi modları ve toplam yer değiştirmeler

Mod	Klasik model		Voksel model	
	Periyot(sn)	Toplam ötelenme(m)	Periyot(sn)	Toplam ötelenme(m)
1.mod	0,694	29	0,678	35
2.mod	0,639	30	0,572	35
3.mod	0,186	30	0,168	47

Mod 1’de klasik model yapı periyodu 0,694sn.ve voksel model yapı periyodu 0,678 sn.dir. Klasik modelde maksimum toplam yer değiştirme 29 mm. iken voksel modelde maksimum yer değiştirme 35 mm. olarak bulunmuştur. Klasik modelde yer değiştirmelerin voksel modele oranla %17 daha azdır (Şekil 3.42 ve Şekil 3.43).

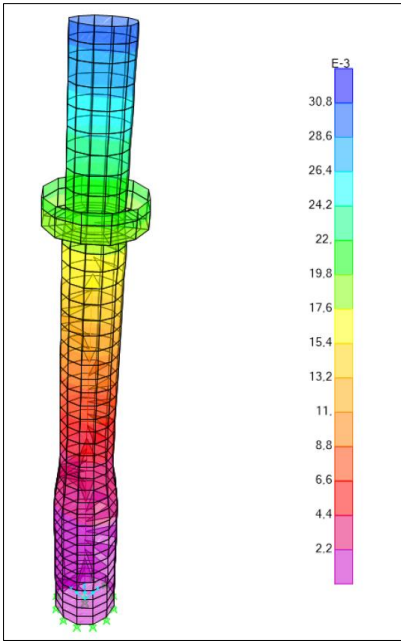


Şekil 3.42. Klasik model 1.mod (min. 0 m /maks.0.03m)

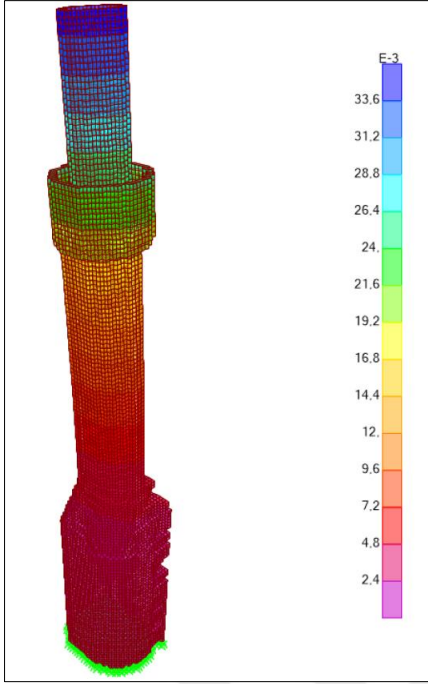


Şekil 3.43. Voksel model 1.mod (min. 0 m /maks.0.035 m)

Mod 2’de klasik model yapı periyodu 0,639 sn.ve voksel model yapı periyodu 0,572 sn.dir. Klasik modelde maksimum toplam yer değıştirme 30 mm. iken voksel modelde maksimum yer değıştirme 35 mm. olarak bulunmuştur. Klasik modelde yer değıştirmelerin, voksel modele oranla % 14 kat daha az olmuştur (Şekil 3.44 ve Şekil 3.45).

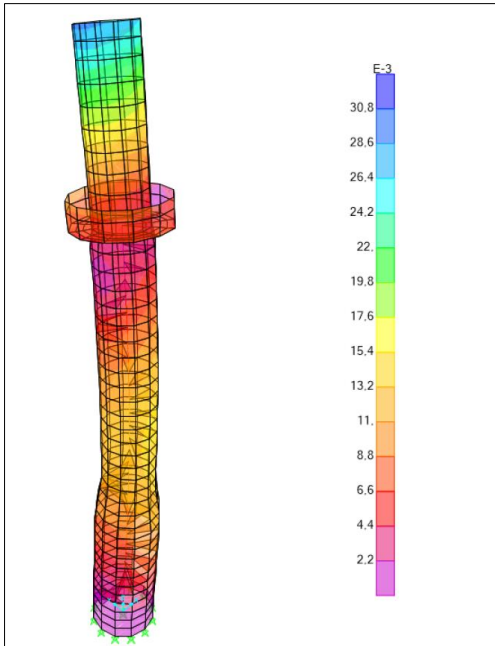


Şekil 3.44. Klasik model 2.mod (min. 0 m /maks.0.03 m)

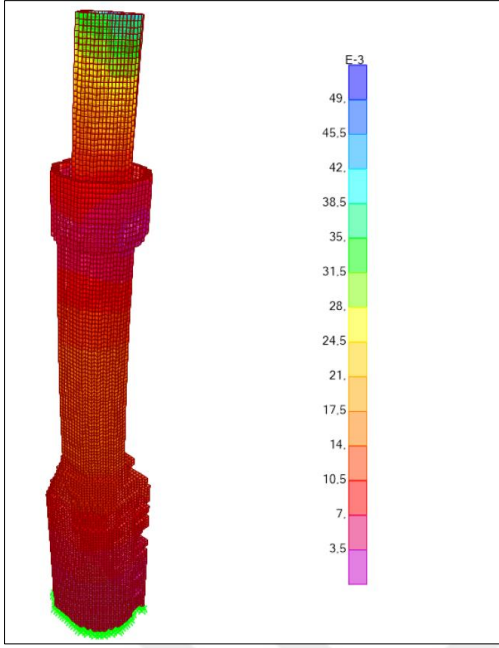


Şekil 3.45. Voksel model 2.mod (min. 0 m / maks.0.035 m)

Mod 3’de klasik model yapı periyodu 0,186 sn.ve voksel model yapı periyodu 0,168 sn.dir. Klasik model yapı periyodu voksel model yapı periyoduna göre %10 daha uzundur. Klasik modelde maksimum toplam yer değıştirme 30 mm. iken voksel modelde maksimum yer değıştirme 47 mm. olarak bulunmuştur (Şekil 3.46 ve Şekil 3.47).



Şekil 3.46. Klasik model 3.mod (min. 0 m /maks.0.03 m)



Şekil 3.47. Voksel model 3.mod (min. 0 m / maks.0.047 m)

Klasik model ve voksel modellerin analizinde sisteme etkitilen yükler; sabit yükler (G), hareketli yükler (Q), X yönü deprem yükü (Ex) ve Y yönü deprem yükü (Ey)'dür. Tanımlanan yük kombinasyonları;

G+Q,

G+0,6Q+Ex,

G+0,6Q+Ey,

olup, bu yükler sonucunda yapı sisteminde oluşan deplasmanlar klasik model için Çizelge 3.8'de, Voksel model için Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Bayraklı Camii minaresi klasik model ötelenmeler (mm)

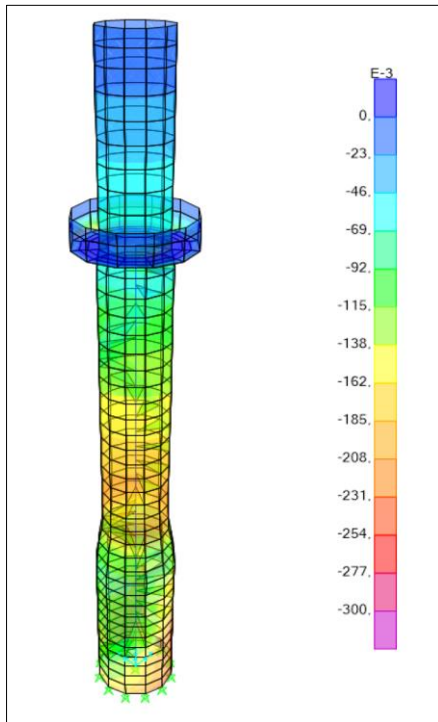
	G+Q		G+Q+Ex		G+Q+Ey	
	min	max	min	max	min	max
Ux (mm)	-0,01	2,81	0	45,70	-0,90	3,02
Uy (mm)	-0,21	0,06	-0,21	0,17	0	40
Uz (mm)	-2,46	0,01	-6,41	2,77	-5,74	2,57
Toplam (mm)	0	3,74	0	46,15	0	40,53

Çizelge 3.9. Bayraklı Camii minaresi voksel model ötelenmeler (mm)

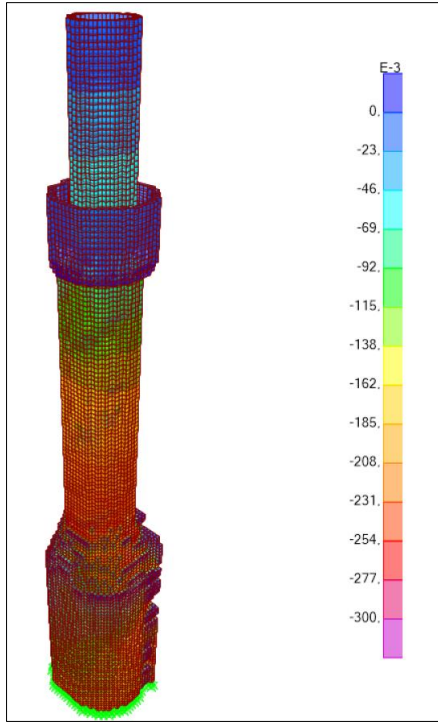
	G+Q		G+Q+Ex		G+Q+Ey	
	min	max	min	max	min	max
U _x (mm)	-0,2	2,31	-0,008	54,24	-0,06	4,21
U _y (mm)	-0,42	0,05	-0,25	1,19	-0,003	42,14
U _z (mm)	-1,49	0	-6,87	3,29	-5,55	2,97
Toplam (mm)	0	2,78	0	54,68	0	42,72

Yapının zati ağırlığı ve hareketli yüklerin etkisi ile düşey taşıyıcılarını teşkil eden minare duvarlarında oluşan aksenal gerilmeler klasik model için Şekil 3.48’de, voksel model için ise Şekil 3.49’da gösterilmiştir.

Gerilme dağılımı her iki modelde paralellik gösterse de özellikle kaide-gövde geçişinde klasik modele ait sonuçlarda gerilme yığılımlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Klasik modelde oluşan maksimum aksenal gerilme değeri 0,61 MPa iken voksel modelde oluşan aksenal gerilme 0,57 MPa’dır. Ortalama gerilme klasik modele göre voksel modelde %6 daha düşüktür.



Şekil 3.48. Klasik model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa)



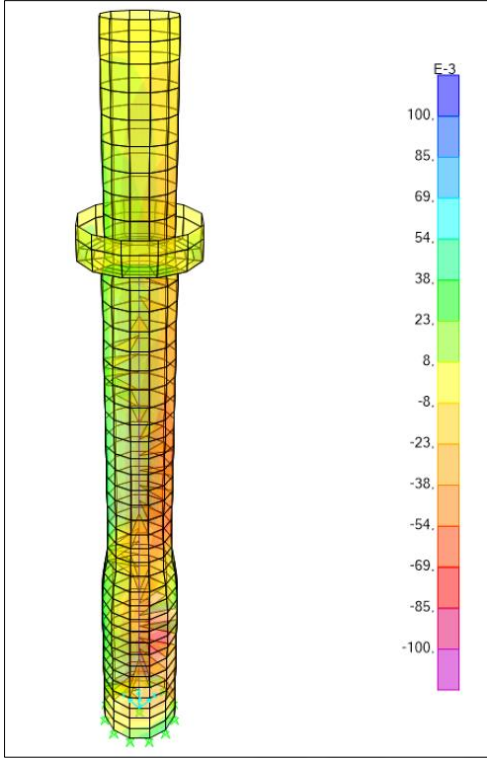
Şekil 3.49. Voksel model G+Q yüklemesi aksenal gerilmeler (MPa)

Eksenal gerilme değerleri ve düşey deplasmanlar Çizelge 3.10'da özetlenmiştir.

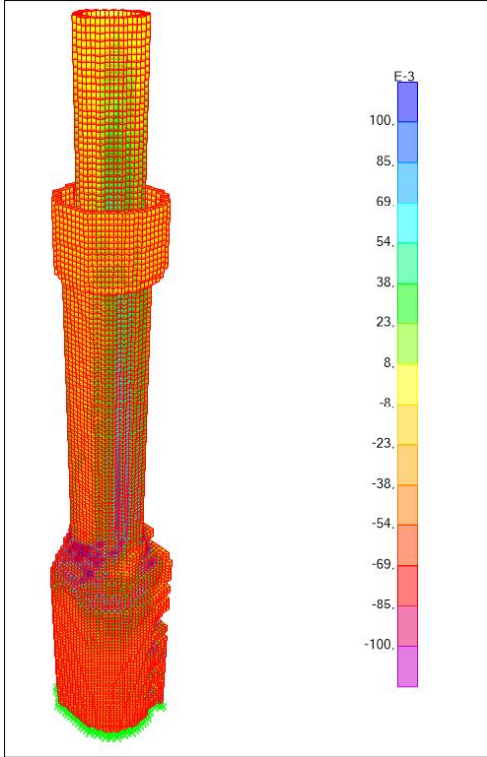
Çizelge 3.10. G+Q Yüklemesi aksenal gerilmeleri ve düşey yer değiştirmeler

	G+Q Yüklemesi			
	σ_{\min} (Mpa)	σ_{\max} (Mpa)	δ_{\min} (mm)	δ_{\max} (mm)
Klasik model	-0,61	0,61	-2,46	0,01
Voksel model	-0,57	0,11	-1,49	0

X yönündeki deprem etkisi altında, G+Q+Ex yüklemesi, analiz sonucunda yapı elemanlarında oluşan kayma gerilmesi değerleri klasik model için Şekil 3.50'de, voksel model için Şekil 3.51'de verilmiştir. Oluşan kayma gerilmeleri klasik modelde maksimum 0,23 MPa iken voksel modelde 0,49 MPa olarak hesaplanmıştır.

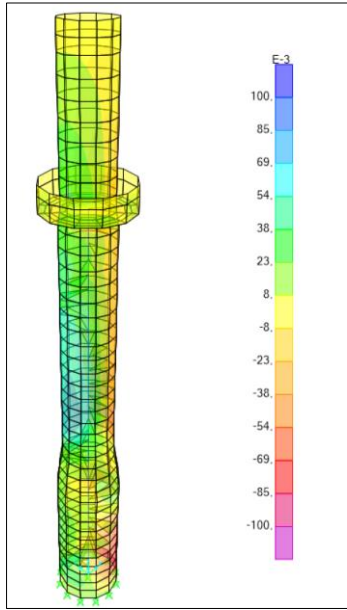


Şekil 3.50. Klasik model G+0.6Q+EX kayma gerilmeleri (MPa)

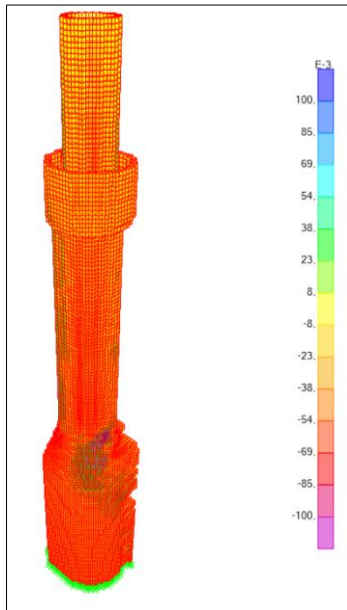


Şekil 3.51. Voksel model G+0.6Q+EX kayma gerilmeleri (MPa)

Y yönündeki deprem etkisi altında, G+Q+Ey yüklemesi, analiz sonucunda yapı elemanlarında oluşan kayma gerilmesi değerleri klasik model için Şekil 3.52’de, voksel model için Şekil 3.53’de verilmiştir. Oluşan kayma gerilmeleri klasik modelde maksimum 0,21 MPa iken voksel modelde 0,51 MPa olarak hesaplanmıştır. Klasik model için Y yönü deprem etkisinde hesaplanan kayma gerilmesi değeri voksel modele oranla %58 daha düşüktür.



Şekil 3.52. Klasik model G+0.6Q+EY kayma gerilmeleri (MPa)



Şekil 3.53. Voksel model G+0.6Q+EY kayma gerilmeleri (MPa)

Yapı kütlesi incelendiğinde klasik model 117,27 ton, voksel model 113,80 ton olarak bulunmuştur. Klasik modelde minare duvar kalınlıklarında idealleştirme yapılarak 7 farklı kalınlık kullanılmıştır. Voksel modelde böyle bir uygulama olmakla birlikte duvar kalınlıkları 12,5 cm birim küplerden oluşmaktadır ve yapı geometrisi ile uyumlu olarak modele aktarılmıştır. Bu nedenle yapı ağırlığı voksel modelde gerçeğe daha yakındır.

İki farklı teknikle üretilmiş yapı modelleri karşılaştırıldığında, klasik yapı elemanlarından oluşan modelin ilk üç periyodu sırasıyla 0,694 sn., 0,639 sn. ve 0,186 sn. mertebesinde iken, voksel tekniği ile üretilen modelin ilk üç modunun 0,678 sn., 0,572 sn. ve 0,168 sn. mertebesinde oluştuğu görülmüştür. Voksel model, klasik modele göre daha rijit davranış göstermiştir.

3.5. İnceleme ve Değerlendirmeler

Nokta bulutu verilerinden rölöve proje çıkarılması aşaması klasik yöntem için zaruridir. Dolgu yüklerinin de rölövede belirlenmesi gerekirken voksel modellemede rölöveye ihtiyaç duyulmamaktadır. Nokta bulutu verileri ile modellemeye geçilebilmektedir. Yapılacak modellemelerde yapı davranışında önemli bölgelerin model küp boyutlarının değiştirilerek daha ayrıntılı sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilir. Bu tip modellemelerde yapının gerçek davranışına yaklaşabilmek için yapı malzemeleri ve birleşim elemanlarının mekanik özelliklerinin analizine önem verilmelidir [47].



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Klasik modelde, yapı elemanlarının tanımlanabilmesi için, rölöve çizimlerinden yararlanılarak duvar, kubbe, tonoz, kemer gibi taşıyıcı elemanlardan sistem model oluşturulmuştur. Voksel modelde, nokta bulutu verileri kullanılarak tüm yapı, küp birim elemanlara dönüştürülmüştür. Bu nedenle, voksel modellemede rölöve çizimlerine ihtiyaç olmadığı gibi yapı elemanlara da ayrıştırılmıştır.

Mihâl Bey Hamamı analizlerinde klasik model ve voksel model için ilk üç mod incelendiğinde yapı periyotlarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu bulunmuştur. Voksel model periyotları klasik modele oranla ortalama %27 daha kısadır. Mod şekilleri incelendiğinde 1.modlarının benzer olduğu diğer 2. ve 3. modların ise farklı olduğu görülmektedir. Farklı modlarda her iki modellemede de benzer salınım hareketleri yakalanmıştır. Periyotların birbirlerine oldukça yakın olduğu durumlarda bu davranış gözlemlenmektedir. Her iki modellemede de ilk üç mod için modal deplasman değerleri 1 mm den düşük olup, klasik model deplasman değerleri voksel modele oranla ortalama üç kat daha fazla hesaplanmıştır. Kütle katılım oranlarının istenilen değerde sağlanabilmesi için voksel modelde 20 modda klasik modelde 60 modlu çözüm gerekmiştir.

Sabit yükler altında düşey deplasmanlar klasik modelde 0,73 mm iken voksel modelde 0,48 mm'dir. Her iki modelde sabit yükler altında oluşan basınç gerilmesi 0,60 MPa seviyelerindedir. Yapı deprem hesaplarında Türk Deprem Yönetmeliği 2007 kullanılmış olup X yönü depremi için X yönündeki deplasman, klasik modelde 0,42 mm voksel modelde 0,26 mm hesaplanmıştır. Y yönü deprem incelendiğinde, Y yönündeki deplasman klasik modelde 0,47 mm voksel modelde 0,28 mm'dir.

Yapı taşıyıcı sisteminin plan düzleminde kareye yakın olması sebebiyle deplasman değerleri ilgili yükleme yönlerinde oldukça yakın değerler alırken, voksel modelin klasik modele oranla daha rijit davrandığı tespit edilmiştir. Deprem etkisiyle oluşan kayma gerilme değerleri klasik model ve voksel modelde büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Modelleme tekniklerinin farklı olması sebebiyle, gerilme yığılımları incelendiğinde, geçiş elemanlarına (pandantif) ait bölgelerde, klasik modelde oluşan maksimum kayma

gerilmelerin voksel modele oranla dört kata kadar daha fazladır. Bunun nedeni klasik modelde geçiş elemanlarının kabuk elemanlarla, voksel modelde ise katı elemanlarla sağlanmasıdır. Katı elemanlar kabuk elemanlara oranla daha fazla sayıda düğüm noktası ile bağlantı sağladığı için gerilme yığılım değerlerini azaltmaktadır.

Sırbistan Bayraklı Camii Minaresi analizlerinde klasik model ve voksel model için ilk üç mod incelendiğinde yapı periyotlarının birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu hesaplanmıştır. Fakat voksel model periyotları klasik modele oranla ortalama %8 daha kısadır. Mod şekilleri incelendiğinde ilk üç modun benzer olduğu görülmüştür. İlk üç mod için modal deplasman değerleri 0,5 cm'den düşük olup, klasik model deplasman değerleri ve voksel model deplasman değerleri birbirine oldukça yakındır. Yapı geometrisinin basit yapısı sebebiyle her iki modelde kütle katılım oranının sağlanabilmesi için 20 modlu çözüm yeterli olmuştur.

Sabit yükler altında düşey deplasmanlar klasik modelde 2,46 mm iken voksel modelde 1,49 mm'dir. Her iki modelde sabit yükler altında oluşan basınç gerilmesi 0,60 MPa seviyelerindedir. Yapı deprem hesaplarında Sırbistan'a ait yerel haritalar ile Eurocode 8 kullanılmış olup, X yönü depremi için X yönündeki deplasman, klasik modelde 45 mm voksel modelde 54 mm hesaplanmıştır. Y yönü deprem incelendiğinde, Y yönündeki deplasman klasik modelde 40 mm, voksel modelde 42 mm'dir.

Deprem etkisiyle oluşan kayma gerilme değerleri klasik model ve voksel modelde benzerlik göstermektedir. Modelleme tekniklerinin farklı olması sebebiyle, gerilme yığılımları incelendiğinde, pabuç bölümünde, klasik modelde oluşan maksimum gerilmelerin voksel modele oranla ortalama %45 daha düşük hesaplandığı görülmüştür.

Klasik modelde yapı kemer, tonoz ve kubbeleri, kalınlıkları sabit elemanlarla oluşturulur. Voksel modelde ise en kesit kalınlığı değişken elemanların tanımlanabilmesi daha kolaydır. Bu sebepten dolayı, en kesit alanı değişkenliğinin fazla olduğu bölgelerde, elde edilen gerilme değerlerinin, klasik modelde, voksel modele oranla daha yüksek gerilmeler oluşturduğu görülmüştür.

Mevcut yapıdaki kubbe ve tonoz gibi eğrisel yüzeye sahip elemanların ana yapıya bağlantısını sağlayan geçiş elemanları, voksel modelde gerçek boyut ve kütesine daha yakın

değerlerde tanımlanabilmektedir. Bu nedenle, voksel modelde geçiş elemanlarının yapıya ve kubbeye bağlantıları gerçeğe daha yakın modellenebilmektedir.

Yapı analiz sonuçlarının karşılaştırması amacıyla her iki modelleme tekniğinde Sap 2000 sonlu eleman analiz programı kullanılmıştır. Bu program klasik modelleme yönteminde eleman sayısının azlığı nedeniyle hızlı çözümler yapmasına rağmen, voksel modelleme için sunduğu çözümler oldukça fazla zaman almakta veya düğüm nokta sayısının fazlalığından ötürü çözüm gerçekleştirememektedir.

Yapıların farklı modelleme teknikleriyle analiz modeli oluşturulması için gerekli incelendiğinde voksel modelleme tekniği ile üretilen modelin daha fazla çalışma gerektirdiği anlaşılmıştır. Fakat yığma eleman geometrisinin tanımlanmasındaki hassasiyeti, fazla çalışma sürelerini makul kılmaktadır. İlerleyen süreçte voksel modelin oluşturulmasına yönelik programların hazırlanması, modelleme sürelerini oldukça kısaltacaktır.



KAYNAKLAR

1. Lourenço, P. B. (2001). *Analysis of historical constructions: From thrust-lines to advanced simulations*, Possibilities of numerical and experimental techniques proceedings of the 3rd International Seminar, Guimarães, Portekiz, 91-116.
2. Ahunbay, Z. (1996). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon* (5. Baskı). İstanbul: YEM, 32,40,52.
3. İnternet: Venedik tüzüğü. URL: http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018.
4. İnternet: Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzu. URL: https://cdn.vgm.gov.tr/organizasyon/organizasyon12_030619/kilavuz.pdf, Son Erişim Tarihi: 21.03.2018.
5. İnternet: Tarihi alanların korunması ve çağdaş rolleri konusundaki tavsiyeler bildirgesi. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000114038>, Son Erişim Tarihi: 17.06.2019.
6. Choisy, A. (1773). *L'architecture et l'art de bâtir*. France: Librairie Générale de l'Architecture et des travaux publics.
7. Adam, J. P. (1994). *Roman Building Materials and Techniques*. London: Routledge Taylor&Francis Group.
8. Taylor, F. N. (1915). *Masonry As Applied to Civil Engineering*. London: Constable & Company Ltd.
9. Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton* (Second Edition). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1-45.
10. Hendry, A. W., Sinha, B. P., and Davies, S. R. (2004). *Design Of Masonry Structures*. London: E&FN SPON.
11. Ayverdi, E. H. (1953). *Fatih Devri Mimarisi*. İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti.
12. Ayverdi, E. H. (1966). *Osmanlı Mimari Çağının Menşei*. İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti.
13. Ayverdi, E. H. (1966). *Osmanlı Mimarisinin İlk Devri*. İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti.
14. Ayverdi, E. H. (1973). *Osmanlı Mimarisinde Fatih Devri*. İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti.
15. Ayverdi, E. H. (1981). *Avrupa'da Osmanlı Mimari Eserleri*. İstanbul: İstanbul Fetih Cemiyeti.

16. Hüsrev, T. (2007). *Geleneksel Türk Mimarisinde Yapı Sistem ve Elemanları*. İstanbul: Türkiye Anıt Çevre Turizm Değerlerini Koruma Vakfı.
17. Çamlıbel, N. (1998). *Sinan Mimarlığında Strüktürün Analitik İncelemesi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
18. Bingöl, O. (2004). *Arkeolojik Mimari'de Taş*. İstanbul: Homer Kitapevi.
19. İnternet: Diagnosis and strengthening of the Brunelleschi Dome. URL: <http://doi.org/10.5169/seals-53328>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2019.
20. İnternet: Structural assessment of the leaning tower of Pisa. URL: <http://doi.org/10.5169/seals-53323>, Son Erişim Tarihi: 20.07.2019.
21. Croci, G., Viscovik, A. (1993). *Causes of failures of Colosseum over the centuries and evaluation of the safety levels*. Public Assembly Structures from Antiquity to the Present, İstanbul: Mimar Sinan Üniversitesi. 29-52.
22. Croci, G. (1996). The Colosseum safety evaluation and preliminary. *Structural Analysis of Historical*, 154-165.
23. Roca, P., Cervera, M., Gariup, G. ve Pela, L. (2010). Structural analysis of masonry historical constructions, classical and advanced approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering*, (17), 299-325.
24. Cardani, G., Angjeliu, G. (2016). *Challenges from building information modeling to finite element analysis of existing buildings*. Structural Analysis of Historical Constructions Anamnesis, diagnosis, therapy, controls, Londra: Taylor&Francis Group, 120-124.
25. Castellazzi, G., D'Altri, A. M., Bitelli, G., Selvaggi, I., and Lambertini, A. (2015). From laser scanning to finite element analysis of complex buildings by using a semi-automatic procedure. *Sensors-Open Access Journal*, (15), 18360-18380.
26. Castellazzi, G., D'Altri, A. M., Miranda, S. D., and Ubertini, F. (2016). An innovative numerical modeling strategy for the structural analysis of historical monumental buildings. *Engineering Structures*, (132), 229-248.
27. Castellazzi, G., D'Altri, A. M., Miranda, S., Ubertini, F., Bitelli, G., Lambertini, A. and Tralli, A. (2016, 5-10 Haziran). *A Mesh Generation Method For Historical Monumental Buildings: An Innovative Approach*. VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Ferrara, İtalya.
28. İnternet: Kültür ve tabiat varlıklarını koruma kanunu ile çeşitli kanunlarda değişiklik yapılması hakkında kanun. URL: <https://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k5226.html>, Son Erişim Tarihi: 13.03.2018.

29. İnternet: Taşınmaz kültür varlıklarının gruplandırılması, bakım ve onarımları. URL: <https://kvmmgm.ktb.gov.tr/TR-44311/ilke-karari--karar-no-660--karar-tarihi-05111999.html>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018.
30. Akın, M. (2006). Yapı Taşı Olarak Travertenler; Bozunmanın Traverterler Üzerindeki Etkileri. *Mavi Gezegen*, (13), 32-36.
31. İnternet: The old bridge of Mostar, a symbol of hope. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=DYJYFwFs7jM>, Son Erişim Tarihi: 16.08.2019.
32. Öcal, A. D., Dal, M. (2012). *Doğal Taşlardaki Bozulmalar*. Kırklareli: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, 25,72,74,101,106.
33. Zakar, L., Eyüpgiller, K. K. (2015). *Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri*. İstanbul: Ömür Matbaacılık A.Ş.
34. İnternet: Kâgir. URL: <http://sozluk.gov.tr> , Son Erişim Tarihi: 01.07.2019.
35. İnternet: Hipokaust. URL: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hipokaust>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2019.
36. Hasol, D. (1979). *Anlislopedik Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi, 57,311,326,387,510.
37. Usta, G. K. (2001). *Anadolu Türk Mimarlığı İçin Görsel Sözlük*. Trabzon: Sonhaber Matbaacılık.
38. Ünay, A. İ. (2002). *Tarihi Yapıların Deprem Dayanımı*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi, 56.
39. Giordano, A., Mele, E., and Luca, A. D. (2002). Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*(24), 1057-1069.
40. Ural, A., Doğangün, A. (2007, 22-26 Ekim). *Mikro Modelleme Tekniği Kullanılarak Yığma Yapıların Deprem Performanslarının İncelenmesi*. International Earthquake Symposium, Kocaeli.
41. Çavuş, M. (2011). *Tarihi Yapılarda Üst Örtülerin Çelik Malzeme İle Sağlamlştırılmasının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 35.
42. Alicandro, M. (2017). Optimization and automation of the post-processing high resolution UAV photogrammetric data. *Ricerche di Geomatica*, 25-34.
43. Asır Proje. (2017). *Edirne Merkez Gâzi Mihâl Bey Hamamı sanat tarihi raporu*, Edirne Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Edirne, 9-16.

44. Magenes, G., Penna, P. (2009). *Existing Masonry Buildings: General Code Issues And Methods Of Analysis And Assessment*. Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Napoli, Italy,185-189.
45. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
46. Asır Proje. (2019). *Belgrad Bayraklı Camii Röleve Raporu*, Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı , Ankara, 5-18.
47. Demirel, Y., Aydoğmuş, F. (2019). Nokta Bulutu Verileri Kullanarak Tarihi Edirne Mihalbey Hamamı'nın Farklı Modellerle İrdelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 738-747.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDOĞMUŞ, Fatih
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 13.03.1981, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (555) 305 31 30
 Faks : 0 (312) 484 70 44
 e-mail : fatih.aydogmus@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2007
Lise	Gaziçiftliği Y.D.A. Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Asır Proje Restorasyon Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2008-2016	TÜMAŞ A.Ş.	Proje Müdürü
2007-2008	Küre Mühendislik A.Ş.	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Demirel, Y., Aydoğmuş, F. (2019). Nokta Bulutu Verileri Kullanarak Tarihi Edirne Mihalbey Hamamı'nın Farklı Modellerle İrdelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 738-747.

Hobiler

Bağlama, Gitar, Fotoğrafçılık, Model Gemi



GAZİ GELECEKTİR..