

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİMAR SİNAN CAMİLERİNDE KOLON TİPLERİ VE BUNLARIN DÜŞEY
VE YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Okan TÜRKMEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2022**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİMAR SİNAN CAMİLERİNDE KOLON TİPLERİ VE BUNLARIN DÜŞEY
VE YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Okan TÜRKMEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	6
3.1 Materyal	6
3.1.1 Mimar Sinan'ın hayatı	6
3.1.2 Mimar Sinan camilerinin genel özellikleri	7
3.1.2.1 Üsküdar Mihrimah Sultan Camii	7
3.1.2.2 Şehzade Mehmet (Şehzadebaşı) Camii	9
3.1.2.3 Beşiktaş Sinan Paşa Camii	10
3.1.2.4 Süleymaniye Camii	12
3.1.2.5 Rüstem Paşa Camii	14
3.1.2.6 Kara Ahmet Paşa Camii	15
3.1.2.7 Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii	17
3.1.2.8 Selimiye Camii	19
3.1.2.9 Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Camii	21
3.1.2.10 Kılıç Ali Paşa Camii	23
3.2 Yöntem	25
3.2.1 Mimar Sinan Camilerinde kullanılan malzemeler ve kolon tipleri	25
3.2.2 Kolonlarda (ayaklarda) kullanılan malzemeler ve özellikleri	25
3.2.3 Kolon tipleri	27
3.2.3.1 Üsküdar Mihrimah Sultan Camii	27
3.2.3.2 Şehzade Mehmet (Şehzadebaşı) Camii	28
3.2.3.3 Beşiktaş Sinan Paşa Camii	29
3.2.3.4 Kılıç Ali Paşa Camii	30
3.2.3.5 Süleymaniye Camii	31
3.2.3.6 Selimiye Camii	33
3.2.4 Kolonların dokusu için gerilme – şekil değiştirme ilişkileri	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	37
4.1. Analizler	37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİMAR SİNAN CAMİLERİNDE KOLON TİPLERİ VE BUNLARIN DÜŞEY VE YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Okan TÜRKMEN

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. M. Arif GÜREL
Yıl: 2022, Sayfa:50**

Dünya mimarlık ve mühendislik tarihinin en büyük ustalarından biri hiç kuşkusuz Mimar Sinan'dır. İnşa ettiği birçok eser bulunmaktadır. Mimar Sinan denildiği zaman akla gelen ilk yapı türü camilerdir. Mimar Sinan'ın Şehzade Camisi çıraklık eseri, Süleymaniye Camisi kalfalık eseri ve Selimiye Camisi ustalık eseri olup bu camiler kendisi için mihenk taşı olmuştur. Bu nedenle Mimar Sinan Camileri sanatsal ve mühendislik açısından birçok çalışmaya konu olmuştur. Duvarlar, kolonlar (ayaklar ve sütunlar), payandalar, kemerler, kubbeler ve temeller tarihi cami türü yapıların ana taşıyıcı elemanlarıdır. Genel literatürde bu elemanlarla ilgili birçok değerli çalışma yapıldığı görülmektedir. Mimar Sinan'ın camileri ile ilgili kitaplar, bu eserleri sanatsal açıdan değerlendiren çalışmalar ve mühendislik özellikleri ile deprem dayanımları gibi konuları ele alan makale ve tez çalışmaları mevcuttur. Tarihi yapılardaki kolonlar ve duvarlar düşey ve yatay yüklerin taşınması için hayati öneme sahip taşıyıcı elemanlardır. Sinan'ın tasarlamış olduğu camiler incelendiğinde kolon kesitleri için geniş bir çeşitlilik olduğunu görmekteyiz. Bu çeşitlilik bizleri özel olarak bu konu üzerinde çalışmaya, kolonların geometrik özelliklerini, yatay ve düşey yük taşıma kapasitelerini araştırmaya teşvik etmiştir. Bilindiği kadarıyla özel olarak bu konuda ve bu kapsamda bir çalışma yapılmamıştır. Buradan hareketle bu tez çalışmasında Mimar Sinan Camilerindeki kolon tipleri ile bunların düşey ve yatay yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Bu çalışmanın ulusal ve uluslararası yapı mühendisliği literatürü için özgün ve yararlı bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Mimar Sinan, Cami, Kolon, Geometrik özellikler, Dayanım

ABSTRACT

MSc Thesis

COLUMN TYPES IN MIMAR SINAN'S MOSQUES AND DETERMINATION OF THEIR VERTICAL AND LATERAL LOAD CARRYING CAPACITIES

Okan TÜRKMEN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. M. Arif GREL
Year: 2022, Page:50**

One of the great masters of world architecture and engineering history is undoubtedly Mimar Sinan. There are many works that he has built. Mosques are the first building type that comes to mind when Mimar Sinan is mentioned. Architect Sinan's Şehzade Mosque is a work of apprenticeship, Süleymaniye Mosque is a work of journeyman, and Selimiye Mosque is a work of mastery, and these mosques have been a touchstone for him. For this reason, Mimar Sinan Mosques have been the subject of many works in terms of art and engineering. Walls, columns (pillars and columns), buttresses, arches, domes and foundations are the main bearing systems of historical mosque-type structures. In the general literature, there are many valuable studies on these elements. There are books about Mimar Sinan's mosques, studies evaluating these works from an artistic point of view, and articles and thesis dealing with engineering features and earthquake resistance. Columns and walls in historical buildings are vital elements for vertical and horizontal loads. When the mosques designed by Sinan are examined, we look that there is a wide variety of column sections. This diversity has encouraged us to work specifically on this subject, to investigate the geometric properties of columns, their horizontal and vertical load-carrying capacities. As far as is known, no study has been carried out specifically on this subject and in this context. In this thesis, column types in Mimar Sinan Mosques and their vertical and horizontal load-bearing capacities will be examined. This is considered that the work will be an original and useful study for the national and international structural engineering literature.

KEY WORDS: Architect Sinan, Mosque, Column, Geometric properties, strength

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma sürecinde bana yardım eden ve akademik gelişimim için bana rehber olan sayın Prof. Dr. M. Arif GÜREL ve Arş. Gör. Rabia İZOL hocama, tezin araştırma sürecinde katkı da bulunan İnş. Müh. Harun POLAT ve Mimar M. Hakkı KAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Son olarak eğitim ve öğrenim hayatım süresince desteklerini ve dualarını benden esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii dış görünüş	8
Şekil 3.2. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii iç görünüşler	8
Şekil 3.3. Şehzade Camii dış görünüş	9
Şekil 3.4. Şehzade Camii güneydoğudan dış görünüş ve iç mekan	10
Şekil 3.5. Beşiktaş Sinan Paşa Camii dış görünüş	11
Şekil 3.6. Beşiktaş Sinan Paşa Camii iç görünüş	11
Şekil 3.7. Süleymaniye Camii dış görünüş	12
Şekil 3.8 Süleymaniye Camii havadan bir görünüş	13
Şekil 3.9. Süleymaniye Camii iç mekan görünüşleri	14
Şekil 3.10. Rüstem Paşa Camii dış görünüş	15
Şekil 3.11. Rüstem Paşa Camii iç mekanından iki detay	15
Şekil 3.12. Kara Ahmet Paşa Camii dış görünüş	16
Şekil 3.13. Kara Ahmet Paşa Camii iç mekan görünüşleri	17
Şekil 3.14. Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii dış görünüş	17
Şekil 3.15. Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii içten kubbe görünüşü	18
Şekil 3.16. Selimiye Camii'nin genel bir görünüşü	19
Şekil 3.17. Selimiye Camii iç mekanından bir görünüş	20
Şekil 3.18. Selimiye Camii kubbesinin içten muhteşem görünüşü	21
Şekil 3.19. Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Camii avlusundan caminin bir görünüşü	22
Şekil 3.20. Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde içten kubbenin görünüşü	23
Şekil 3.21. Kılıç Ali Paşa Camii dış görünüş	24
Şekil 3.22. Kılıç Ali Paşa Camii kubbe ve iç mekanından görünüşler	24
Şekil 3.23 Üsküdar Mihrimah Sultan Camii planı	28
Şekil 3.24. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)	28
Şekil 3.25. Şehzade Camii planı	29
Şekil 3.26. Şehzade Camii; a) kolon resmi, (b) kolon kesiti ve boyutları (cm)	29
Şekil 3.27. Beşiktaş Sinan Paşa Camii planı	30
Şekil 3.28. Beşiktaş Sinan Paşa Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)	30
Şekil 3.29. Kılıç Ali Paşa Camii planı	31
Şekil 3.30. Kılıç Paşa Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve yarıçapı	31
Şekil 3.31. Süleymaniye Camii planı	32
Şekil 3.32. Süleymaniye Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)	32
Şekil 3.33. Selimiye Camii planı	33
Şekil 3.34. Selimiye Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)	34
Şekil 3.35. Hognestad'ın (1951) basınçta beton için önerdiği $\sigma - \epsilon$ grafiği	35
Şekil 3.36. Massicotte ve ark.'nın (1990) çekmede beton için önerdiği $\sigma - \epsilon$ grafiği	35
Şekil 4.1 Kolonlara ait sonlu eleman ağırları, eleman ve düğüm noktası sayıları: a) Üsküdar Mihrimah Sultan, b) Beşiktaş Sinan Paşa, c) Kılıç Ali Paşa , d) Şehzade, e) Selimiye ,f) Süleymaniye	38
Şekil 4.2. Üsküdar Mihrimah Sultan Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşeydeplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	40
Şekil 4.3. Beşiktaş Sinan Paşa Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	41
Şekil 4.4. Kılıç Ali Paşa Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	41
Şekil 4.5 Şehzade Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	41
Şekil 4.6. Selimiye Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	42
Şekil 4.7. Süleymaniye Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği	42
Şekil 4.8. Üsküdar Mihrimah Sultan Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay	

deplasman – taban kesme kuvvet grafiği.....	44
Şekil 4.9. Beşiktaş Sinan Paşa Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği.....	44
Şekil 4.10. Kılıç Ali Paşa Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği.....	44
Şekil 4.11. Şehzade Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman - taban kesme kuvvet grafiği.....	45
Şekil 4.12. Selimiye Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman - taban kesme kuvvet grafiği.....	45
Şekil 4.13. Süleymaniye Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan deplasman – taban kesme kuvvet grafiği.....	45



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Mimar Sinan'ın camilerinde kullandığı malzemelere ait özellikler	26
Çizelge 3.2. Hesaplarda kullanılan malzeme değerleri	26
Çizelge 3.3. Analizlerde kullanılan hasar parametreleri.....	27
Çizelge 4.1. Düşey yük taşıma kapasiteleri için elde edilen sonuçlar	39
Çizelge 4.2. Yatay yük taşıma kapasiteleri için elde edilen değerler	43



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan
d	Hasar parametresi
E	Elastisite Modülü
ϵ	Eksantiriste
ϵ	Birim kısalma
f	Maximum basınç dayanımı
f_c	Basınç dayanımı
f_m	Harcın basınç dayanımı
f_s	Taşın basınç dayanımı
f_t	Çekme dayanımı
H_{maks}	Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi
N	Toplam yük
N_{gelen}	Kolona gelen düşey yük
$N_{kapasite}$	Kolon düşey yük kapasitesi
r	Yarıçap
μ	Viskozite parametresi
ψ	Dilatasyon açısı
ν	Poisson oranı
V	Kolon hacmi
W_{zati}	Kolon zati ağırlığı
σ	Basınç gerilmesi
γ	Birim hacim ağırlığı

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar geçmişten günümüze kadar ulaşan ve yaşayan birer vesikadır. Yapılmış olduğu dönemdeki toplumun sosyokültürel yapısı hakkında bizlere bilgi veren, medeniyetlerin teknik ve sanat niteliği hakkında bizleri aydınlatan, siyasi otoritenin gücü hakkında kafamızda fikirler oluşturan önemli eserlerdir. Tarihi yapıları korumak ve gelecek nesillere aktarmak tüm insanlığın ortak vazifesidir.

Dünya mimarlık ve mühendislik tarihinde önemli isimler yer alır. Bu isimlerden biri de tartışmasız Mimar Sinan'dır. Osmanlı İmparatorluğunun yaklaşık elli yıl boyunca Baş Mimarlık görevini ifa eden Sinan'ın 370 den fazla eseri çağları aşp günümüze kadar ulaşmıştır. İnşa ettiği 81 cami, 55 medrese, 51 mescit, 26 Kuran okuma yeri, 17 türbe, 17 hayır kurumu, 3 hastane, 20 kervansaray, 5 su yolu, 8 köprü, 36 saray, 48 hamam ve 8 mahzen bulunmaktadır (<http://www.edirne.gov.tr>, 2021).

Müslümanların ibadet mekanları olan camiler Mimar Sinan'ın baş yapıtları arasında yer alır ve bütün ihtişamıyla çağımız modern yapılarına meydan okur. İmar edildikleri şehirlerin çehresi haline gelen camiler Sinan'ın meslek hayatı içerisinde önemli bir yer tutar. Mimar Sinan'ın tasarladığı bu yapılar günümüz bilim insanları ve araştırmacıları için de birçok makaleye araştırma konusu olmuştur.

Mimar Sinan'ın eserlerinde kullanmış olduğu malzemeler ele alındığında ana malzemelerini taş, tuğla ve ağacın oluşturduğu görülür. Bu malzemelerin bağlayıcılığı için ise kireç ve horasan harcı, farklı boyutlarda çivi, kenet ve zıvanalar kullanılmıştır. Günümüze kadar gelen yapıları tümüyle kârgir veya karma (kârgir duvarlı, ahşap çatılı) strüktürlerdir. Mimar Sinan'nın yapılarında kullanmış olduğu küfeki taşı günümüze kadar ulaşan eserlerinde gözlemlemek mümkündür. Ayrıca tarihi nitelikteki evraklardan, inşaat defterleri ve malzeme temini ile alakalı yazışmalardan bu konu ile ilgili bilgi sağlanabilmektedir (Ahunbay, 1988).

Tarihi camilerin ve benzeri yapıların ana taşıyıcı elemanlarını duvarlar, kolonlar (ayaklar ve sütunlar), payandalar, kemerler, kubbeler ve temeller oluşturmaktadır. Bu elemanlarla ilgili literatürde önemli çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Çalışmamız kapsamında yapılacak olan araştırmalar ve analizler Mimar Sinan camilerindeki kolonlar üzerinedir. Tarihi yapılardaki en önemli taşıyıcı elemanlar kolonlardır. Kolonlar; sütunlar ve ayaklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sütunlar; şekil verilmiş tek parça taştan veya birkaç taştan oluşturulan düşey eksenli elemanlardır. Ayaklar ise çok sayıda taş, tuğla veya her ikisinin birlikte kullanımı ile örülerek yapılmış olan düşey eksenli elemanlardır. Bu iki ana taşıyıcının genel adlandırmasına kolon denir. Kolonlar ve duvarlar düşey ve yatay yüklerin beraber taşınmasında önemli rol alırlar. Mimar Sinan camilerindeki kolon şekilleri, kesitleri ve boyutları bakımında çeşitlilik göstermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında ilk önce yığma kolonlarla ilgili önceki çalışmalara göz atılmıştır. Ardından Mimar Sinan'ın tasarlayıp yaptığı Üsküdar Mihrimah Sultan, Şehzade, Beşiktaş Sinan Paşa, Süleymaniye, Rüstem Paşa, Kara Ahmet Paşa, Edirnekapı Mihrimah Sultan, Selimiye, Sokullu Mehmet Paşa ve Kılıç Ali Paşa Camileri ile ilgili özet bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu camilerden bazılarının geometrileri, kolon tipi ve boyutları, camilerin yapımlarında kullanılan küfeki taşı, marmara mermeri ve horasan harcının özellikleri ile ilgili bilgiler büyük ölçüde literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak ele alınmıştır. Çalışmanın ana kısmını oluşturan sonraki bölümde ise Beşiktaş Sinan Paşa, Üsküdar Mihrimah Sultan, Kılıç Ali Paşa, Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye Cami kolonlarının düşey yük taşıma kapasiteleri ile deprem dayanımı açısından önemli olan yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanıp, sonuçlar irdelenmiştir. Hesaplar için Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanan “Abaqus” programından yararlanılmıştır. Çalışma, elde edilen sonuçların sunulması ve referansların verilmesi ile bitirilmiştir.

Bu çalışmanın, Osmanlı Camileri içerisinde önemli bir yer tutan Mimar Sinan camileri ile ilgili özgün bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapılan tez çalışması ile ilişkili olan önceki çalışmalar öz bir şekilde sunulmuştur.

Chapman ve Slatford (1957), basınçta elastik, çekmede gevrek kolonların burkulması üzerine ayrıntılı bir teorik çalışma yapıp, elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Yokel (1971), çekme dayanımı olmayan malzemeden yapılmış dikdörtgen kesitli taşıyıcı elemanların dış merkez düşey yük etkisinde stabilitesini ve yük taşıma kapasitesini incelemiştir.

Frisch-Fay (1975), dışmerkez yüklü, dikdörtgen kesitli yığma kolonların stabilitesini analitik olarak ve matris-deplasman yaklaşımını kullanarak araştırmış ve 1980’de yine aynı kolonların kendi ağırlıkları altında burkulmasını incelemiştir.

Ahunbay (1988), Mimar Sinan’ın eserlerinde kullandığı malzemeleri ve yapım teknikleri konusunu ele almıştır. Sinan’ın camilerindeki ana taşıyıcı elemanlar ve bunların malzemeleri hakkında değerli bilgiler vermiştir.

La Mendola ve Papia (1993), yaptığı çalışma kapsamında dikdörtgen kesitli yığma taşıyıcı elemanların hem kendi ağırlıklarını hem de dışmerkez düşey yük etkisini dikkate alarak stabilitesini incelemişlerdir. Taşıyıcı elemanın sonlu sayıda alt elemana ayrıldığı bir model kullanıp, stabilite analizi için önemli bir sayısal çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. 1995’de bu çalışmalarındaki sayısal yöntemi yatay deprem yüklerine maruz kalan yığma duvarların analizine uygulamış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

De Falco ve Lucchesi (2002), Yokel'in (1971) çalışmasını, çekme dayanımı olmaması yanında, basınç dayanımı ve deformasyon kapasitesi sınırlı olan malzemeden yapılmış kolonların stabilite analizine genişletmişlerdir.

Arioğlu ve Arioğlu (2005), "Usta Mimar Sinan'ın küfeki taşının gizemi" başlıklı kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Sinan tarafından İstanbul'daki eserlerinde büyük ölçüde kullanılmış olan bu taşla ilgili deneysel çalışmalarının sonuçlarını özetlemişlerdir. Ayrıca, küfeki taşının kullanımının muhtemel sebeplerine değinmişlerdir.

Gürel ve ark. (2011), çatlama ve ikinci mertebe etkileri yakalayabilen sayısal bir model kullanarak, dikdörtgen yığma kolonların yanal rijitliğini araştırmışlardır.

Gürel ve ark. (2012), sismik yatay kuvvetler altında silindirik yığma kolonların taşıma kapasitelerini ele almışlardır. Duvar elemanların stabilite analizi için geliştirilen sayısal bir model kullanılmış ve silindirik kolonlar için uyarlanmıştır. Çatlamayı ve ikinci mertebe etkilerini dikkate alan sayısal modelde, kolonlar ideal olarak her biri düzgün eğriliğe sahip olan yeterince yüksek sayıda elemana bölünmüştür. Kolonlar kendi ağırlıkları, eksantrik düşey yükler ve atalet kuvvetlerine eşdeğer yayılı ve konsantre yatay yükler etkisindeki prizmatik konsollar olarak modellenmiştir.

Şeker (2011), Mimar Sinan camilerinin dinamik ve statik yükler etkisinde davranışlarını incelemiştir. Tarihi camilerin yapım teknikleri, kullanılan malzemeler ve bunların özelliklerini ele almış ve Sinan'ın 28 camisinin üç boyutlu modellerinde statik ve dinamik analizler gerçekleştirmiştir.

Gürel (2016), yapmış olduğu çalışma kapsamında kendi ağırlığı ve eksantrik düşey yük etkisindeki dairesel kesitli narin yığma kolonların stabilitesini incelemiştir. Çalışmasında malzemenin basınç altında sonsuz doğrusal elastik davranışa sahip olduğu ve çekme mukavemetinin olmadığını göz önüne almıştır.

Crespi ve ark. (2016), L'Aquila'daki (İtalya) S. Maria di Collemaggio Bazilikası'nın sismik değerlendirmesini, dikkatlerini büyük ölçüde neflerin sekizgen kesitli taş kolonlarının davranışına odaklayarak gerçekleştirmiştir.

Çaktı ve ark. (2017), Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami'nin sismik davranışını incelemişlerdir. Çalışmadaki amaç büyük bir depremde yapının davranışını anlayabilmektir. Bundan dolayı tarihi yapıların deprem güvenliğinin araştırılması noktasında önemli bir çalışma olmuştur. Yapının dayanımını değerlendirmek için tahribatsız test yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır.

Literatür çalışmalarında yığma yapılardaki kolonlar üzerine çalışmalar yapıldığı, ayrıca Mimar Sinan camilerinin malzeme özellikleri, düşey yük ve deprem yükü davranışlarının bazı açılardan ele alındığı görülmektedir. Ancak Mimar Sinan camilerinin kolon tipleri ve bu kolonların yatay ve düşey yük kapasiteleri ile ilgili literatürde özel bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Tez çalışmasının ana motivasyon noktasını bu durum oluşturmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Metaryal

3.1.1 Mimar Sinan'ın hayatı

Sinan Kayseri'nin Ağırnas isimli köyünde (1490-1492 yılları arası tahmin edilmekte) dünyaya gelmiştir. Yavuz Sultan Selimin padişah olduğu zamanda devşirilmiş haseki rütbesine kadar yükselmiş ve 25 yılda yaklaşık sekiz veya on “seferi-i hümayun” da görev almıştır. Bu görevlerinde Bağdat, Pulya, Rodos, Viyana gibi birçok yeri görmüştür. Osmanlı devletinin tüm inşaat işlerinden sorumlu Hassa Mimarlar Ocağının başına, 1. Süleyman döneminde “Mimarbaşı” göreviyle getirilmiştir. Aynı görevde Sultan II. Selim ve III. Murad dönemlerinde de bulunmuştur. Mimar Sinan yaşam öyküsünü, çalışmalarını ve eserlerinin listesini arkadaşı nakkaş şair sai Mustafa Çelebi'ye, “Tezkiret'ül-ebniye”, “Tezkiret'ül-bünyan” ve “Tuhfet'ül-mimarin” isimlerini taşıyan tezkereler halinde beyan ederek yazdırmıştır. Tuhfet'ül-mimarin'de yer alan, kendi ifadeleri ile hayat hikayesin de, “mi'mar-ı akil” (olgun mimar) tanımlamasının hemen akabinde, kendisinden “mühendisi zufünün”(fenni bilen mühendis) diye söz eden Mimar Sinan'ın çalışmalarında da, inşaat mühendisliği tarafı mimarlık tarafı gibi ön plana çıkmaktadır (Öziş ve ark., 2018).

Dünya ve Türk mimarlık ve mühendislik tarihinde önemli bir mihenk taşı olan Mimar Sinan 1588 yılında hayatını kaybetmiştir. Yapmış olduğu eserlerinden Selimiye Cami ve Külliyesi 2011 senesinde UNESCO'nun “Dünya Mirası” listesinde yer almıştır.

Dünya tarihinde hiçbir insana Mimar Sinan kadar eser bırakmak nasip olmamıştır. Sadece mimarlık alanında değil, yapı mühendisliği, zemin mühendisliği, malzeme mühendisliği, su mühendisliği ve iç organizasyonu gibi pek çok alanda yetkin olan Sinan'ın bu kadar çok eser vermesinde, Osmanlı İmparatorluğu'nun en güçlü devrine rast gelmesi de şüphesiz en önemli etkenlerdendir. Yerli ve yabancı istisnasız tüm uzmanlar bu büyük dehanın eserlerini her açıdan çok değerli bulmaktadır. Bu durumun doğal sonucu olarak Sinan ve eserleri üzerine sayısız denebilecek çalışma (tezler, makaleler, çeşitli araştırmalar vs) yapılmıştır. Bundan sonra da Sinan ve eserleri şüphesiz incelenecektir.

3.1.2 Mimar Sinan camilerinin genel zellikleri

Bu alt bölümde Mimar Sinan'ın seçtiğimiz bazı camilerinin genel özellikleri üzerinde durulmuştur.

3.1.2.1 şkdar Mihrimah Sultan Camii

Mihrimah Sultan Camisini, Kanuni Sultan Süleyman'ın kızı olan Mihrimah Sultan 1580-1584 yıllarında inşa ettirmiştir. Külliye, cami, medrese, tabhane, imaret, sıbyan mektebi ve türbelerden oluşturulmuştur. Cami, İstanbul şkdar İskele Meydanında bulunmaktadır, şekil 3.1.



Şekil 3.1. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii dış görünüş (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

Üsküdar Mihrimah Sultan Camisi dört ayağa oturmuş ana kubbe ve yarım kubbelerden meydana gelmiştir. Cami dış ölçüleri 27.30 m × 21.80 m olan dikdörtgen bir plan içerisinde yer almaktadır. Ana kubbe çapı 11.40 m ve merkezi 24.20 m yüksekliğe sahiptir. Mimar Sinan ana kubbenin etrafındaki yarım kubbeleri ilk olarak bu camide tasarlamıştır. Ana kubbeyi yanlardan üç yarım kubbe desteklemektedir. Ana kubbe ve yarım kubbeler yonca şeklindeki ayaklar ve kemerlerle taşınmaktadır, Şekil 3.2. Kubbeye geçişte pandantifler görülür. Pandantifler dışta belirtilmemiş olduğundan kubbe, büyük kemerlere binen kare taban üzerinde yükselir. Kubbe bir kasnakla kuşatılmış ve kemerli payanda ile desteklenmiştir (Kuran, 1975).



Şekil 3.2. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii iç görünüşler (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

Camide tek şerefeli iki minare vardır. Üsküdar Mihrimah Sultan Caminin duvarlarında iki sıra pencere bulunmaktadır. Kible kapısı bulunan cephenin sağında

ve solunda sıra halinde ikişer pencere vardır. Alt sırada bulunan pencereler sağır kemerli, üst sırada bulunan pencereler sivri kemerlidir.

3.1.2.2 Şehzade Mehmet (Şehzadebaşı) Camii

Şehzade Camii 1543-1548 yılları arasında Mimar Sinan'ın mimarbaşı unvanı ile yapmış olduğu ilk camidir. Külliye Kanuni Sultan Süleyman vefat eden evladı, Şehzade Mehmet adına yaptırmıştır. Külliye İstanbul'un Fatih ilçesinde Şehzade Caddesinde bulunmaktadır. Cami, Sinan'ın büyük boyutlarda yaptığı ilk cami olup, kendi ifadesiyle çıraklık eseridir. Külliye caminin yanı sıra türbe, imaret, medrese, sıbyan mektebi, tabhane ve kervansaray vardır.



Şekil 3.3. Şehzade Camii dış görünüş (www.mimarsinaneserleri.com, 2020)

Şehzade Cami dört ayağa oturmuş ana kubbe ve yarım kubbelerden oluşmuştur. Yapı kare bir plana sahip olup mekan düşey bir eksen çevresinde oluşur ve ana kubbeyi dört yarım kubbe destekler. Ana kubbe yaklaşık olarak 19 m çapında ve 37 m yüksekliğindedir (Güney, 2021). Kubbeye dışarıdan bakıldığında kubbenin ve kemerlerin itki gücünü karşılayan dört tane ağırlık kulesi görülmektedir, Şekil 3.3. Kubbedeki bu örtü sistemi Osmanlı Mimarlığında merkezi kubbe şemasında yeni bir deneme olarak karşımıza çıkmaktadır. Kubbeden kemerlere geçiş pandantiflerle

sağlanmıştır. Ana kubbe dört büyük ayak tarafından taşınmaktadır, şekil 3.4. Camide yatay yüklerin karşılanması bakımından önemli olan payandalar da bulunmaktadır.

Caminin ince uzun görünümlü iki şerefeli iki minaresi vardır. Camiye giriş yapmadan önce dış avlu bulunmaktadır. Dış bahçenin beş, i bahçenin de  kapısı mevcuttur. Kuzey kısımdaki avlu on iki sütuna oturan on altı revakla çevrilmiş olup, avlunun ortasında birde şadırvan yer alır.



şekil 3.4. şehzade Camii güneydoğudan dış görünüş ve iç mekan (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

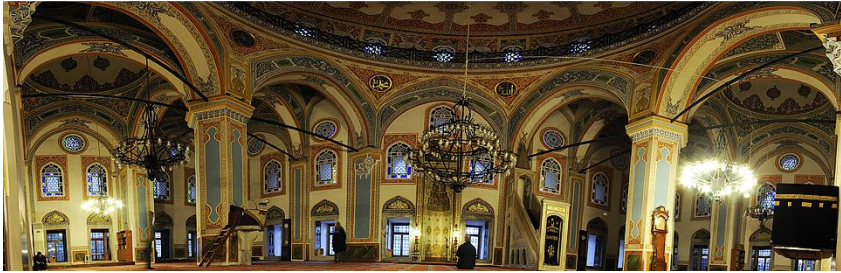
3.1.2.3 Beşiktaş Sinan Paşa Camii

Kaptan-ı Derya Sinan Paşa bu camiye kendi adına Mimar Sinan'a yaptırmıştır. Yapı, Sinan Paşa'nın vefatından sonra 1555 yılında tamamlanmıştır. Beşiktaş Barbaros Bulvarı ile Beşiktaş Caddesinin birleştiği yerde bulunmaktadır, şekil 3.5.



Şekil 3.5. Beşiktaş Sinan Paşa Camii dış görünüş (www.turanakinci.com, 2021)

Külliye, cami, medrese ve şu anda yıkılmış durumda olan hamamdan meydana gelmektedir. Caminin çeşmesi, 1938 yılında Barbaros Meydanında yapılan çalışmalar esnasında başka bir yere taşınmıştır. Hamam, külliye yapılarından uzak bir konumda, günümüzde ki Dolmabahçe Sarayı'nın dış avlusu yakınlarında, bulunmaktaydı (Kuban, 1994). 1957 yılında yapılan yol çalışmalarında yolu genişletmek için hamam yıktırılmıştır (Kuran, 1986).



Şekil 3.6. Beşiktaş Sinan Paşa Camii iç görünüş (www.nenerede.com.tr, 2021)

Cami altı dayanağa oturmuş orta kubbe ve küçük kubbelerden meydana gelmiştir. Caminin tek şerefeli bir minaresi bulunmaktadır. Altı dayanaklı taşıyıcı sisteme 12.6 m çapında orta kubbe oturmakta olup yan kısımlardaki açıklıklar ise ikişer kubbe ile örülmüştür. Kubbeden ayaklara geçiş pandantifler ile sağlanmıştır. Ayaklar altıgen şeklinde olup camiye farklı bir hava vermiştir, Şekil 3.6. Ayaklar

caminin doğu ve batısında serbest, kuzey ve güneyinde duvar içindedir. Duvarlardaki taş ve tuğla sıraları güzel bir ahenk içindedir. Beş gözlü son cemaat yerinin üstü, arkada ve yanlarda ikişer aynalı tonoz ile örtülmüştür. Sinan Paşa Cami'nin kubbe kasnağında on iki pencere bulunur, kible duvarında dört tane yuvarlak pencere bulunup solda on, sağda on üç, kapı tarafında ise dokuzar pencere vardır. Sinan Paşa Camii ile Edirne Üç Şerefeli Cami'nin pencere düzenlerinin aynı olduğu görülmektedir (Gündüz, 2009).

3.1.2.4 Süleymaniye Camii

Süleymaniye Cami, Sinan'ın kalfalık eseridir. İstanbul'da Süleymaniye Mahallesinde bulunmaktadır. Osmanlı Sultanı 1. Süleyman (Kanuni Sultan Süleyman) döneminde 1551-1558 yıllarında kendi adına yaptırılmıştır.



Şekil 3.7. Süleymaniye Camii dış görünüş (www.mimarsinaneserleri.com, 2020)

Süleymaniye Camisi, Osmanlı mimarisinin başyapıtlarından birisidir. Cami yaklaşık olarak 3500 metrekarelik alana sahiptir. Caminin eni 58 metre, boyu ise 58 metredir. Caminin ikisi üç şerefeli ve 76 metre yüksekliğinde, diğer ikisi ise iki şerefeli 56 metre yüksekliğinde toplam dört minaresi vardır, Şekil 3.7. Mabedin zemini mermerle kaplı olup etrafında 28 kubbeli revaklar bulunur. Üç kapılı geniş bir iç

avluya sahiptir. Avlu kubbelerinin kemerleri 24 sütuna dayanmaktadır. Bu sütunların 10 tanesi mermer, 12 tanesi granit ve 2 tanesi de somaki mermerden yapılmıştır. Takribi 6 bin metrekarelik bir oturumu bulunan caminin bahçesinde 11 kapı vardır. Bahçenin çevresinde Süleymaniye Medreseleri olarak bilinen yedi medrese bulunmaktadır. Bu medreselerin beşi lise seviyesinde, ikisi de fakülte seviyesindedir (www.kulturportali.gov.tr, 2020).



Şekil 3.8 Süleymaniye Camii havadan bir görünüş (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

Süleymaniye Camisi mekan ve strüktür bakımından sofistike bir yapıdır. Caminin yapımında mihrap duvarının temelini atılması sembolik bir başlangıç olmuştur. Camiyi ayakta tutan strüktürün yapımı öncelikle taşıyıcı elemanların oluşturulmasıyla başlamış, inşaat süreci kemerlerin ve örtü sisteminin yapılmasıyla tamamlanmıştır. Süleymaniye dört fil ayağına oturmuş ana kubbe ve yarım kubbelerden oluşturulmuştur. Sinan'ın tasarlayıp inşa ettiği en büyük cami olma özelliğini taşımaktadır. Caminin bir adet büyük ana kubbesinin yanı sıra, iki yarım, iki çeyrek ve on küçük kubbesi bulunur. 26 m çapındaki kubbenin basıklığı (kubbenin yüksekliği/ kubbe çapı) 0.347'dir. Kubbe, kesit boyutları ön ve arkada 2.65 m × 1.80 m, yanlarda 5.60 m × 2.90 m, açıklığı 23 m olan dört dev kemere pandantifler ile

oturmaktadır. Fil ayakları askı kemerlerini taşıırken, askı kemerleri o yöndeki farklı itkileri karşılar. Ağırlık kuleleri kubbenin ve kemerlerin itme gücüne karşı koyar. Ayaklar girintili kenar ve köşelerle ince gösterilmeye çalışılmıştır, Şekil 3.9. 23 metreye ulaşan dev payandalar yatay yüklerin doğrudan karşılanmasında önemli rol oynarken ayaklara önemli ölçüde destek sağlamaktadır (Günay, 2002).



Şekil 3.9. Süleymaniye Camii iç mekan görünüşleri (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

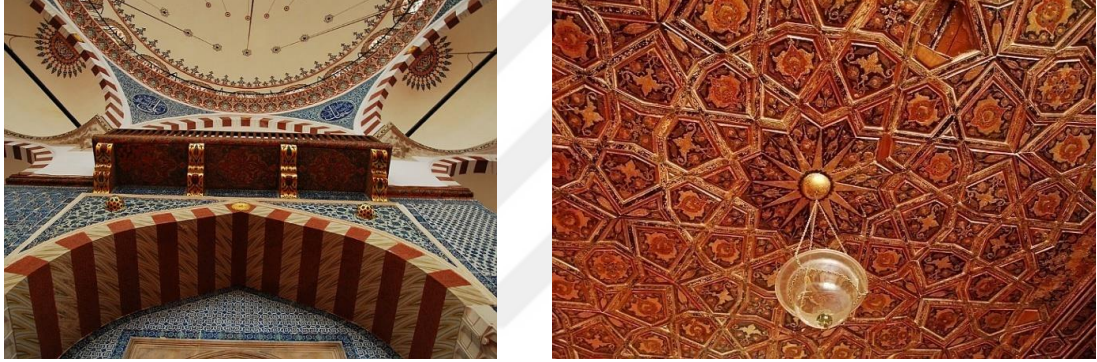
3.1.2.5 Rüstem Paşa Camii

Rüstem Paşa Camii, Şekil 3.10. Kanuni Sultan Süleyman'ın sadrazamı, Rüstem Paşa tarafından Mimar Sinan'a inşaa ettirilmiştir. Külliye 1562 senesinde tamamlanmış olup, İstanbul'un Fatih ilçesi, Tahtakale Semtinde Hasırcılar Çarşısında bulunmaktadır. Külliye; cami, depolar, çeşme iki han ve dükkanlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.10. Rüstem Paşa Camii dış görünüş (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

Rüstem Paşa Camii dikdörtgen bir plana sahip olup, eni 26.8 metre ve boyu 19.6 metredir. Ana kubbenin çapı 15.2 metre ve yüksekliği 22.8 metredir (Erçağ, 1987). Ana kubbeyi caminin giriş ve kible taraflarında bulunan duvarlarla beraber orta kısımda yer alan sekizgen plana sahip ayaklar taşımaktadır. Bu ayaklar kemerlerle birbirine bağlanır ve ana kubbenin oturtulduğu sekizgen alanı oluşturur. Dört köşede bulunan kemerlerin arkasında sağır yarım kubbeler bulunur. İçte mahfil şeklinde tasarlanan bu yerlerin altı dörder aynalı tonozlu yapılmıştır (Tokay, 2008).



Şekil 3.11. Rüstem Paşa Camii iç mekanından iki detay (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

İznik Çinilerinin kullanımı bu camide dikkat çekmektedir. Caminin duvar, ayak, payanda, pandantif gibi elemanlarında dönemin en güzel İznik çinileri uygulanmıştır. Yarım kubbe ve tonozların içlerinde sıva ve kalem işi bezemeler bulunur. Bu kısımlara ait özgün bezemeler maalesef 19. yüzyılda kaldırılmış, yerine klasik dönem mimarisi ile alakası olmayan süslemeler yapılmıştır (Tokay, 2008).

3.1.2.6 Kara Ahmet Paşa Camii

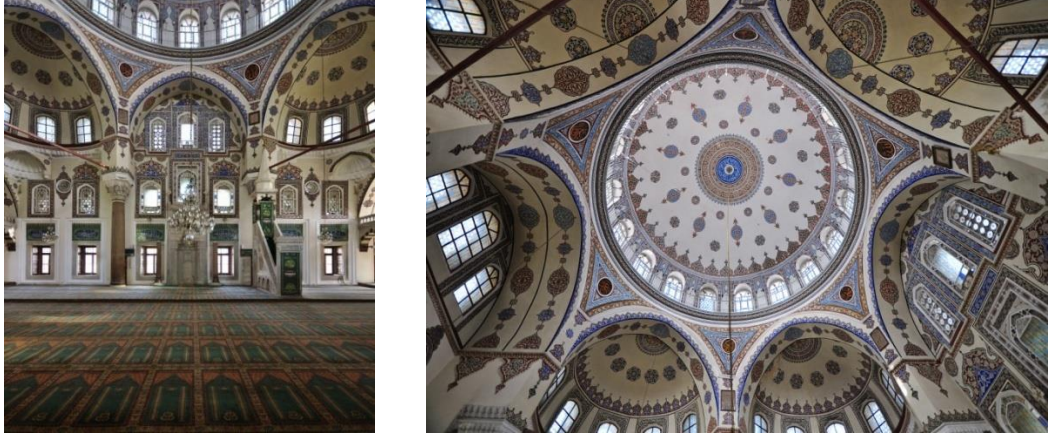
Kara Ahmet Paşa Camii, Şekil 3.12. Sultan Süleyman'ın sadrazamı Kara Ahmet Paşa tarafından yaptırılmıştır. Mimar Sinan cami inşaatına 1554 yılında başlamış, 1555 yılında idam edilen Ahmet Paşa'nın idamından yaklaşık yedi yıl sonra

1562 yılında beraatına karar verilince inşaata eşi Fatma Sultan devam ederek 1571 yılında tamamlatmıştır. Cami İstanbul'da Topkapı Semti, Fatma Sultan Mahallesinde bulunmaktadır. Külliye cami, medrese, çeşme, sıbyan mektebi, hamam ve türbeden oluşmaktadır. Medrese ve cami aynı avluda yer alırken, sıbyan mektebi ve türbe caminin uzağında yer alır.



Şekil 3.12. Kara Ahmet Paşa Camii dış görünüş (www.tripadvisor.com.tr, 2020)

Caminin mimari planı dikdörtgen olup merkezi kubbe ile örtülmüştür. Merkezi kubbe altı ana kemerle, bu kemerler ise altı fil ayağı ile taşınır. Giriş ve kible yönünde bulunan ayaklar ana duvarlara yakın olup her iki yandakiler kemerlerle yan mahfillerin ortasında yer alan payandalı duvara bağlanırlar. Ana kubbeye açılan 18 pencereyle yapının ağırlığı azaltılmış ve mekan bol ışıkla aydınlatılmıştır, Şekil 3.13. Şadırvan avlusundan camiye açılan kapı üstünde, sade ama güçlü bir kemer vardır. Cami harîminden dışarı bakan zemin katın pencereleri on dört adettir. Giriş kapısının her iki tarafındaki pencerelerin kapıdan büyük olması caminin dikkat çeken bir detaydır. Mihrabı sade mermerle yapılmış, sarkıtlı ve kum saatli olarak tasarlanmıştır. Mihrap duvarının alt pencere ve dolap kısımlarında çini süslemeler yapılmıştır. Minberi de ince bir işçilikle işlenmiş şebekeli mermer olup. kürsünün malzemesi ise ahşaptandır. Müezzin mahfilinin tavanı kalem işleri ile süslüdür ve XV. yüzyılın çok güzel örneklerindendir (www.fatih.gov.tr, 2020)



Şekil 3.13. Kara Ahmet Paşa Camii iç mekan görünüşleri (www.flickr.com, 2020)

3.1.2.7 Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii

Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi, Şekil 3.14. Mihrimah Sultan'ın Mimar Sinan'a yaptırmış olduğu ikinci camidir. Caminin yapımı 1565 yılında tamamlanmıştır. Külliye İstanbul'un Karagümrük Semtinde Edirnekapı da, Bizans dönemi inşa edilmiş surların yanında bulunmaktadır. Külliye; cami, sıbyan mektebi, medrese, türbe, hamam ve dükkanlardan meydana gelmektedir.



Şekil 3.14. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii dış görünüş (www.istanbuldakiler.com, 2020)

Cami ana kubbesi dört dayanağa oturmuş ve tek bir kubbeden oluşturulmuştur. Kare bir plana oturan 20 metre çapındaki kubbe dört kemerle taşınmaktadır. Kubbeden kemerlere geçiş pandantiflerle sağlanmıştır. Kubbenin yükünü karşılayan kemerler ağırlık kuleleri ile desteklenmiştir. Büyük kemerlerin arasında bulunan duvarlar, kemer kalınlığını gizler. Mimar Sinan'ın bu camide yapmış olduğu tasarım kare şemada yeni bir atılım ortaya koymuştur (Günay, 2002). Caminin kubbesi 1719 ve 1894 yıllarında oluşan depremden dolayı çökmüş ve yapı ağır hasara uğramıştır. Mihrabın doğu tarafında bulunan kemerdeki çatlak bugünde görülebilir. Giriş kısmında bulunan kemer, daha büyük hasara uğramış olmalıdır ki iki ayakla desteklenmiştir (Eyice, 1994).



Şekil 3.15. Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii içten kubbe görünüşü (www.mimarsinanerleri.com, 2020)

Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami 57 m × 21.50 m ölçülerinde dikdörtgen bir plandan meydana gelir. Avlu üç taraftan medrese odalarıyla çevrilidir. Avlunun orta kısmında on altı sütunun taşıdığı bir saçak ve altında mermer havuzlu şadırvan bulunmaktadır. Son cemaat kısmı kubbeli yedi bölümde oluşur. Bunların revak kemerlerinden ikisi granitten yapılmış, kalanları ise mermer sütunlarla desteklenmiştir. Kubbe kasnağında ve büyük kemerlerin iç dolgularında bulunan üç dizi halindeki pencereler, harimi bol ışıkla aydınlatmaktadır. Kible bölümü duvar ve

payandalarla desteklenmiştir. Edirnekapı Cami, planı açısından Zal Mahmud Paşa Camisine benzemektedir (Eyice, 1994).

3.1.2.8 Selimiye Camii

Selimiye Camii, Sultan II. Selim döneminde Mimar Sinan tarafından 1568-1574 yıllarında inşa edilmiştir. Türk-İslam mimarlık ve mühendislik tarihinin en güzide eserlerinden biri olan cami, üstün mimari ve teknik özellikleriyle günümüzde bile ilgi uyandırmaya devam etmektedir. Sinan'ın ustalık eseri olarak gördüğü cami Edirne meydanında, Mimar Sinan Caddesinde yer alır. Külliye dikdörtgen bir avlu içinde tasarlanmıştır. Külliye; cami, iki medrese çarşı ve sıbyan mektebinden meydana gelmektedir. Düz bir arazide yer alan yapı, tüm heybetiyle şehrin birçok noktasından görülmekte olup, şehrin sembolü haline gelmiştir, Şekil 3.16. Selimiye Külliyesi 2011 senesinde UNESCO Dünya Mirası Listesinde yer almıştır. Osmanlı mimarisinin zirve eserlerinde olan Selimiye Cami, 130 m × 190 m ölçülerinde düzgün dikdörtgen şeklindeki avlunun merkezinde yükseltilmiş bir zemin üzerinde bulunmakta olup, kuzeyde yer alan revaklı avlu ve harim kısmı yaklaşık aynı büyüklükte 60 m × 44 m dikdörtgen alanlara oturmaktadır (Mülayim ve ark., 2009).



Şekil 3.16. Selimiye Camii'nin genel bir görünüşü (www.trthaber.com, 2020)

Selimiye Camisinde ana kubbe sekiz fil ayağına oturtulmuştur, Şekil 3.17. Mimari şeması mihrap çıkıntısı dışında Rüstem Paşa Camisine benzer. Cami mimarisinde sekizgen plan kullanılarak, kemer açıklıklarının küçültülmesi ve dayanak sayısının sekize çıkarılması ile depreme karşı güvenlik artırılmıştır. Caminin kubbe çapı 31.22 metre, yüksekliği 42.25 metredir. Ayak sayısı arttığı ve açıklıklar küçüldüğü için kubbe daha yüksek ve camiye hakim durumdadır. Ana kubbenin, zemin kat alanına (2000 metrekare) oranı %30 civarındadır. Bu oran Şehzade ve Süleymaniye’de %17’dir. Selimiye mekanın algılanması bakımından Şehzade Camisi’ne yakın bir değere ulaşmıştır. Kubbenin yükünü fil ayakları ve onların kemerle bağlanmış olduğu payandalar taşımaktadır. Payandalar, alt katta dış cephedeki revaklar arasında yer alırken üst katta mahfil duvarları revak cephesine doğru ilerler. Payandalar kademeli bir şekilde geri çekilerek payanda kemeri ile ağırlık kulesine kadar yükselir. Dört köşede yer alan minareler 71 metre yüksekliğinde olup üçer şerefeden oluşmaktadır (Günay, 2002).



Şekil 3.17. Selimiye Camii iç mekanından bir görünüş (www.usakesnaf.net, 2020)

Mimar Sinan’ın son dönemlerinde yapmış olduğu yapı tüm unsurlarıyla diğer eserlerinin önündedir, Şekil 3.18. Camide ahşap ve taş süslemeleri, çini ve kalem işi kullanılmıştır. Bu çini ve işlemler; mihrap, hünkar mahfili ve minberde de yer almaktadır. Son cemaat yerinde pencere alınlıklarında yazılı çiniler bulunur. Kalem işi

süslemeler alt pencere alınlığında, duvarlardaki yazı kuşaklarında, bazı kemerlerde, tonozlarda ve kubbe içlerinde yer almaktadır. Kapıların ve pencerelerin kanat kısımlarında geometrik kompozisyonlu ahşap işçiliği kendini göstermektedir. Dış cephelerdeki renkli taş süslemelerinden başka iç mekânda kible duvarının önünde, zeminde ise mermer üzerine geometrik şekilli rengarenk taş kakmalar bulunur. Caminin batısında, kible yönünde kemer açıklıkları ahşap çerçeve ile kapatılmış ve kütüphane olarak düzenlenmiştir (Mülayim ve ark., 2009).



Şekil 3.18. Selimiye Camii kubbesinin içten muhteşem görünüşü (www.yeniakit.com.tr, 2020)

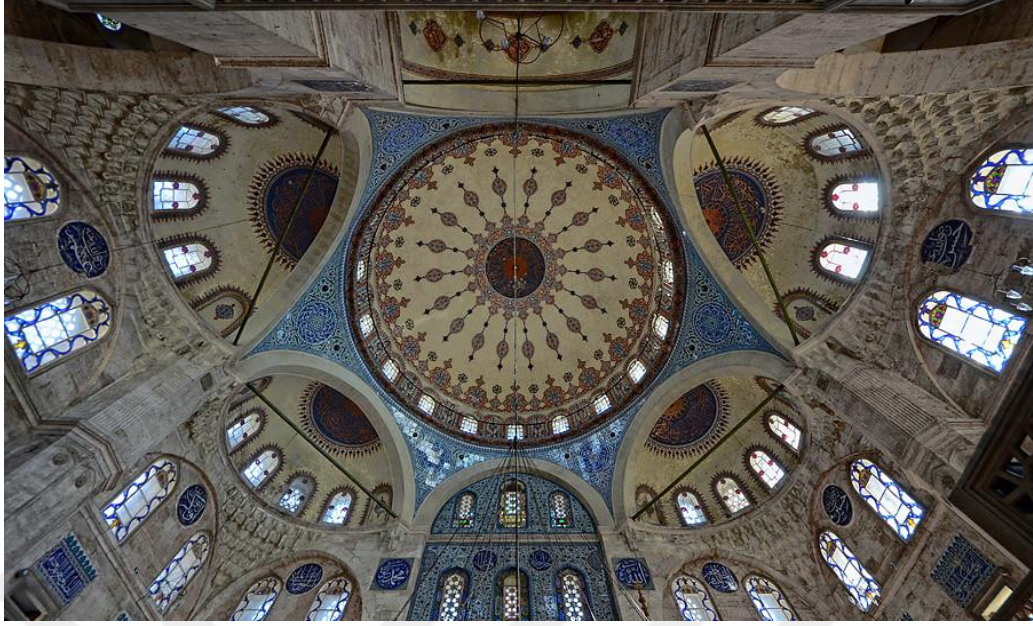
3.1.2.9 Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Cami

Sokullu Mehmet Paşa Camii, Şekil 3.19. Kanuni, III. Murat ve II. Selim zamanında sadrazamlık yapmış Osmanlı İmparatorluğunun önemli devlet adamlarından biri olan Sokullu Mehmet Paşa adına yapılmıştır. Mimar Sinan bu eserini 1572 yılında tamamlamıştır. Cami, Sultan Ahmet Meydanı'ndan Kadirgaya doğru inen Şehit Mehmet Paşa yokuşunda yer almaktadır. Külliye, cami, medrese, sıbyan mektebi, tekke ve şadırvandan oluşmaktadır. Külliye üç farklı sokaktan farklı kotlarda girişler bulunmaktadır. Eğimli arazi üzerinde bulunan yapı Mimar Sinan'ın ustalığını bir kez daha göstermektedir.



Şekil 3.19. Kadırga Sokullu Mehmet Paşa Camii avlusundan caminin bir görünüşü
(<http://www.istanbuldakiler.com>, 2020)

Cami 15.30 m $\times$ 18.80 m ölçülerinde dikdörtgen bir plana sahip olup 13 metre çapındaki bir kubbe ile örtülmüştür. Ana kubbeyi taşıyan altı adet duvar ayağından mihrap ve giriş cephelerinde bulunan ayakların dördü dikdörtgen, yanlarda bulunan iki ayak ise çokgen şeklindedir. Kuzey duvarında bulunan ayaklar hariç diğerler ayaklar cephelerde çıkıntı oluşturmuştur. Kubbenin kendi ağırlığı bu ayaklara altı adet sivri kemerle iletilir. Camiye merkezdeki kubbe egemendir, Şekil 3.20. Kubbe ağırlığının yatay itkisi yarım kubbelerce karşılanır, bundan dolayı Osmanlı camilerinin genelinde gördüğümüz kubbe kasnağındaki mevcut payanda kemerciklerine burada gerek duyulmamıştır. (Tanman, 2009).



Şekil 3.20. Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Camii'nde içten kubbenin görünüşü (www.flickr.com, 2020)

Cepheleri sade bir görünüme sahip olan cami, iç mekanda zengin süslemelere sahiptir. Süslemeler sıraltı tekniğiyle yapılmıştır. Renk, desen ve sırlama noktasında dönemin en kaliteli İznik Çinileri kullanılmıştır. Ayrıca kubbeyi kuşatan altı adet pandantifte de çini kaplamalar göze çarpmaktadır. Son cemaat yeri pencerelerine, harimde yer alan alt sıra pencerelerin üstlerine, yukarıda bulunan tepe pencerelerinin aralarına, duvar ayaklarının üst bitimlerine yuvarlak ve kare şeklinde hat levhaları koyulmuştur. (Tanman, 2009).

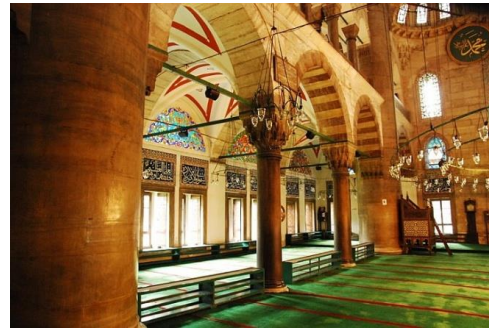
3.1.2.10 Kılıç Ali Paşa Cami

Kılıç Ali Paşa Camii, Şekil 3.21. Osmanlı İmparatorluğunda Kaptan-ı Derya olarak görev yapmış Kılıç Ali Paşa tarafından yaptırılmıştır. Mimar Sinan bu eserini 1580 yılında tamamlamıştır. Külliye İstanbul'un Beyoğlu ilçesine bağlı Tophane semtinde bulunmaktadır. Külliye; cami, hamam, medrese, türbe ve çeşmeden oluşmaktadır.



Şekil 3.21. Kılıç Ali Paşa Camii dış görünüş (www.mimarsinaneserleri.com, 2020)

Kılıç Ali Paşa Camii dikdörtgen bir plan sahip olup, plan şeması Ayasofya Cami ile benzerlik göstermektedir. Ayasofya ile benzerliğini ortaya çıkaran eleman iki yanlarda buluna birer çift destek payandasıdır. Mihrap yarım kubbe ile örtülüdür ve ileri taşan çıkıntının içinde yer alır. Girişe yakın olan yanlarda iki çıkıntı daha bulunur. Bu çıkıntılardan sağda olan, minarenin kürsü kısmıdır. Solda yer alan çıkıntı da harimi çeviren galeriye çıkışı sağlamaktadır. Cami dört dayanaklı ana kubbe ve yarım kubbelerden meydana getirilmiştir. Mekana hakim olan dört ayak yer alır. Ayakların taşıdığı kemerlerin üstünde geçişi pendentifler ile sağlanan 12.7 m çapında olan kasnaklı kubbede pencereler yer alır, Şekil 3.22. Kubbenin oturduğu kare dayanak iki yandan yarım kubbelerle, diğer iki yandan payandalarla desteklenir (Eyice, 2002).



Şekil 3.22. Kılıç Ali Paşa Camii kubbe ve iç mekanından görünüşler (www.mimarsinaneserleri.com, 2020)

Kılıç Ali Paşa Külliyesi geniş bir avluyla çevrilidir. Avluya dört ayrı kapıdan giriş vardır. Avlu ortasında kubbeli bir şadırvan bulunmaktadır. Caminin dışarıdan

sade bir görüntüsü olmasına karşın cami içinde renkli çini motifler ve hat sanatı bakımından zengin bir içerik dikkat çekmektedir. Geniş yarım daire şeklinde pencerelerde camlar üzerine işlenmiş renkli motifler ve desenler vardır. Tüm bu süslemeler camiye görsel bir zenginlik katmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Mimar Sinan Camilerinde kullanılan malzemeler ve kolon tipleri

Tarihi camilerin ve benzeri yapıların ana taşıyıcı elemanlarının duvarlar, kolonlar (ayaklar ve sütunlar), payandalar, kemerler, kubbeler ve temeller olduğundan daha önce bahsedilmişti. Bu alt bölümde çalışmanın asıl konusu olan Mimar Sinan Camilerinde kolon tipleri, onların çeşitli özellikleri ve yapı malzemeleri üzerinde durulmuştur. Mimar Sinan'ın eserleri incelendiğinde Sinan'ın her zaman “yenilik arayan” bir usta olduğu görülmektedir. Bu arayış camilerinin ana taşıyıcı elemanlarından olan kolonlarına da yansımıştır. Mimar Sinan her camisinde yeni bir kolon tipi geliştirmeye çalışmıştır. Burada, Sinan'ın camileri içerisinde sadece Üsküdar Mihrimah Sultan, Şehzade, Beşiktaş Sinan Paşa, Kılıç Ali Paşa, Süleymaniye ve Selimiye camilerindeki kolon malzemeleri ve tipleri incelenmiştir.

3.2.2 Kolonlarda (ayaklarda) kullanılan malzemeler ve özellikleri

Mimar Sinan'ın çağları aşarak günümüze kadar gelen camilerinde kullandığı malzemede tasarım kadar önemlidir. Mimar Sinan'ın eserlerinde kullanmış olduğu malzemeler ele alındığında ana malzemelerini taş, tuğla ve ağacın oluşturduğu görülür. Bu malzemelerin bağlayıcılığı için ise kireç ve horasan harcı, farklı boyutlarda çivi, kenet ve zıvanalar kullanılmıştır. Günümüze kadar gelen yapıları tamamıyla kârgir veya karma (kârgir duvarlı, ahşap çatılı) strüktürlerdir (Ahunbay 1988).

Araştırma konusu olarak ele alınan camiler içerisinde Mimar Sinan Kılıç Ali Paşa Camisi için Marmara mermerini, diğer tüm camileri için de küfeki taşı kullanmıştır. Harç olarak da “horasan harcı” tercih edilmiştir.

Genel itibariyle yığma yapılar modellenirken yöntem olarak mikro, basitleştirilmiş mikro ve makro modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Çalışmamız kapsamında makro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemdeki “homojen malzeme kabulüne göre” yığma birimler ve harcın tek bir parametreye indirgenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda literatürde geliştirilmiş çeşitli bağıntılar mevcuttur. Burada bu bağıntılardan $d = \sigma/f$ formülü ile hasar parametresi, $\gamma = 0.75\gamma_{taş} + 0.2\gamma_{harç}$ formülü ile birim hacim ağırlığı, $f_c = 0.45f_{taş}^{0.7} f_{harç}^{0.3}$ formülü ile de basınç dayanımı hesaplanmıştır, (İllampas ve ark, 2020). Elde edilen basınç dayanımı değerlerinin karakteristik dayanımlar olmasından dolayı 1.2 katsayısı ile çarpılıp ortalama değerler elde edilmiş ve yapının E elastisite modülü bulunurken $E = 750f_c$ formülü kullanılmıştır. (Tomažević, 1999). Poisson oranı, gevrek malzemelerde yaygın olarak kullanılan 0,20 olarak alınmıştır.

Malzemelere (yığma birim ve harç) ait fiziksel ve mekanik özellikler literatür çalışmalarından elde edilmiş (Şeker, 2011), (Ünay, 1997), (Arioğlu ve ark, 2005), (Erguvanlı ve ark, 1989) ve Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Belirtilen formüllerle hesapta kullanılacak değerler elde edilmiş ve Çizelge 3.2’ de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Mimar Sinan’ın camilerinde kullandığı malzemelere ait özellikler (Şeker 2011, Ünay 1997, Arioğlu ve ark. 2005, Erguvanlı ve ark. 1989)

Malzeme	Birim hacim ağırlığı, (kN/m ³)	Basınç Dayanımı f_c (MPa)
Küfeki taşı	21.48	33.2
Marmara Mermeri	27	45
Horasan harcı	17.6	7.59

Çizelge 3.2. Hesaplarda kullanılan malzeme değerleri

Materyal	Birim hacim ağırlığı, γ (kN/m ³)	Elastisite modülü, E (MPa)	Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	Çekme Dayanımı, f_t (MPa)	Poisson oranı, ν
----------	---	------------------------------	------------------------------	-----------------------------	----------------------

Küfeki taşı + Horasan Harcı	19.7	8630	11.5	1	0.20
Marmara Mermeri + Horasan Harcı	27	10656	14.25	1	0.20

Kolonlar üzerinde gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler için Abaqus'teki Concrete Damaged Plasticity (CDP) modeli kullanılmıştır. Model, programın kullanım kitapçığında ayrıntılı olarak belirtilmiş olan bazı hasar parametrelerinin göz önüne alınmasını gerektirir. Mevcut çalışma kapsamında bu parametreler için alınan değerler Çizelge 3.3.'de sunulmuştur. Söz konusu değerler Abaqus'un kullanım kılavuzundan alınmış default değerlerdir ve/veya ilgili literatürden (örneğin Valenta ve ark., 2017) alınmıştır.

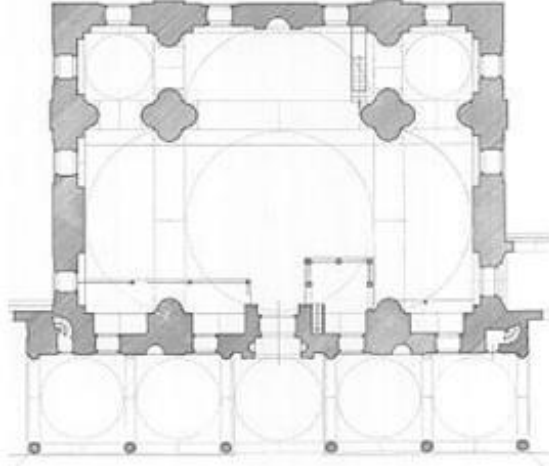
Çizelge 3.3. Analizlerde kullanılan hasar parametreleri

Dilatasyon açısı ψ	f_{bo}/f_{co}	Eksantriste ϵ	K_c	Viskozite Parametresi, μ
10°	1.16	0.1	0.667	0.002

3.2.3 Kolon tipleri

3.2.3.1 Üsküdar Mihrimah Sultan Camii

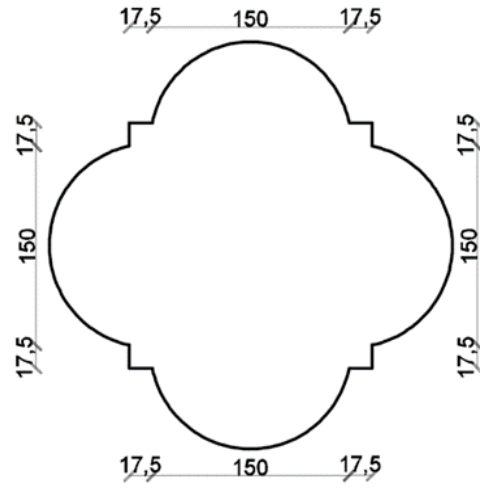
Sinan'ın baş mimarlığının ilk dönemlerinde yapmış olduğu cami için tasarlamış olduğu kolonlar, mekana girer girmez alışılmıştan farklı olmalarıyla hemen dikkat çekerler. Ayaklar plan görünüşlerinde dört yapraklı yonca şeklindedir, Şekil 3.23. Lazer metre yardımıyla yerinde yapmış olduğumuz ölçümlerde ayak yüksekliği sütun başı da dahil olmak üzere yaklaşık olarak 10.3 m olarak ölçülmüştür. Caminin güneybatısında bulunan ayak üzerinde yapmış olduğumuz ölçümlere göre elde edilen boyutlar Şekil 3.24.b'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Üsküdar Mihrimah Sultan Camii planı (www.mimarsinanerleri.com, 2020)



a)

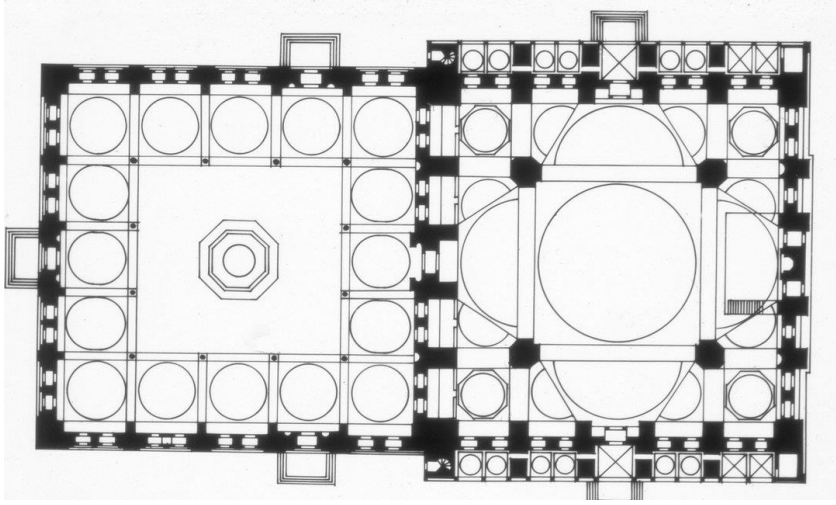


b)

Şekil 3.24. Üsküdar Mihrimah Sultan Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)

3.2.3.2 Şehzade Mehmet (Şehzadebaşı) Camii

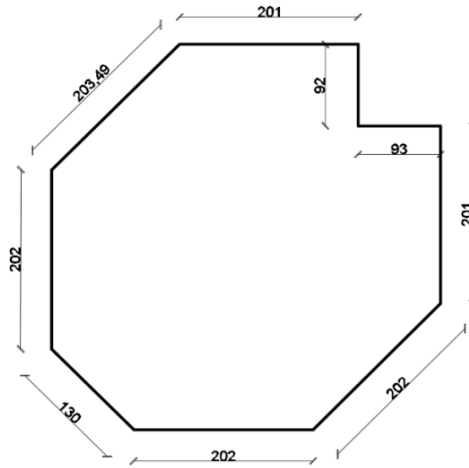
Camiye girildiğinde çapraz olarak birbirine simetrik dört ayak bulunur, Şekil 3.25 Mimar Sinan'ın çıraklık eseri olan bu camide ayaklar tasarımları noktasında lale motifine benzerlik göstermektedir. Lazer metre ile yapmış olduğumuz ölçümde ayak yüksekliği gergilere kadar yaklaşık olarak 15.2 m ölçülmüştür. Caminin kuzeybatısında bulunan ayak üzerinde yapmış olduğumuz ölçümlere göre elde edilen boyutlar Şekil 3.26.b'de verilmiştir.



Şekil 3.25. Şehzade Camii planı (www.twitter.com, 2020)



a)



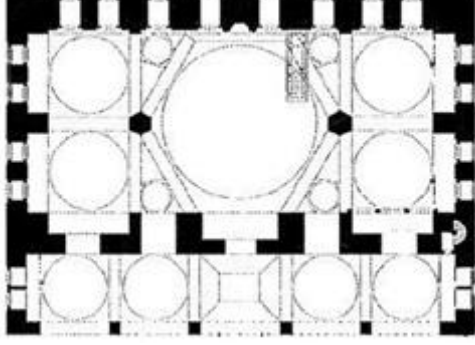
b)

Şekil 3.26. Şehzade Camii; a) kolon resmi, (b) kolon kesiti ve boyutları (cm)

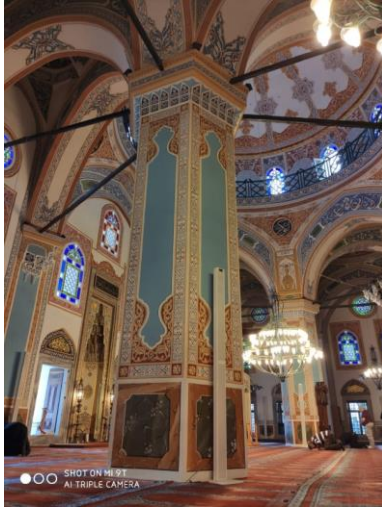
3.2.3.3 Beşiktaş Sinan Paşa Camii

Caminin orta kısmında altıgen formda iki kolon bulunmaktadır, Şekil 3.27. Kolonların her birinde kenar uzunlukları birbirine yakındır. Camide bulunan dikdörtgen formdaki diğer ayaklar tez kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Lazer metre ile yerinde yaptığımız ölçümlerde kolon yüksekliği yaklaşık 5.8 m olarak

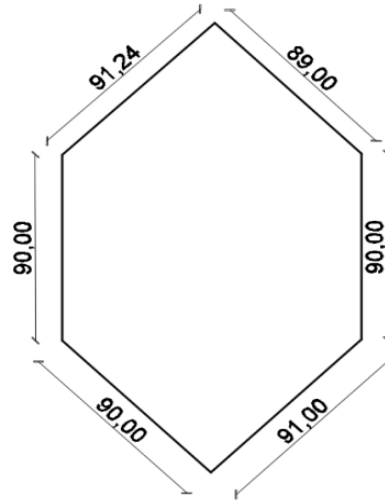
ölçülmüştür. Altıgen kolonların ölçümler sonucu belirlediğimiz boyutları Şekil 3.28.b’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Beşiktaş Sinan Paşa Camii planı (tr.pinterest.com, 2020)



a)



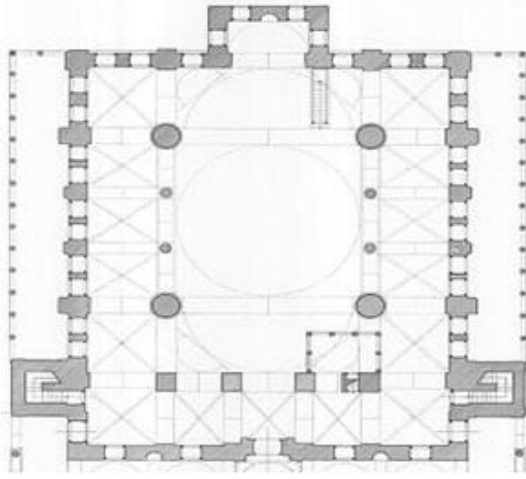
b)

Şekil 3.28. Beşiktaş Sinan Paşa Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)

3.2.3.4 Kılıç Ali Paşa Camii

Kible doğrultusunda uzayan bir tasarıma sahip olan Kılıç Ali Paşa Caminde dairesel formda tasarlanmış dört kolon bulunur, Şekil 3.29. Lazer metre ile yerinde yaptığımız ölçümlerde kolon yüksekliği yaklaşık 11.3 m olarak belirlenmiştir. Caminin güneydoğusunda bulunan kolon üzerindeki ölçümde çevresinin yaklaşık

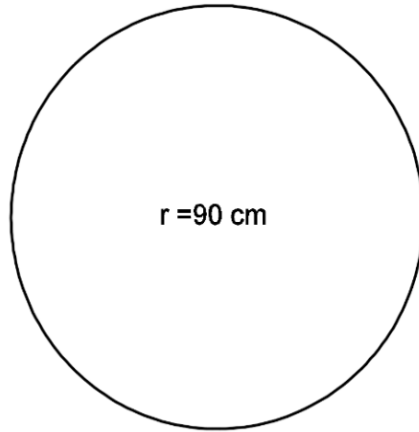
olarak 5.70 metre olduğu, yarıçapının da 91 cm olduğu tespit edilmiştir, Şekil 3.30.b. Hesaplarda 90 cm değeri kullanılmıştır.



Şekil 3.29. Kılıç Ali Paşa Camii planı (www.mimarsinanerleri.com, 2020)



a)



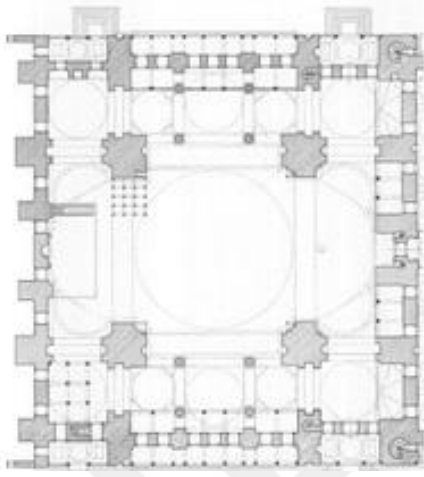
b)

Şekil 3.30. Kılıç Paşa Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve yarıçapı

3.2.3.5 Süleymaniye Camii

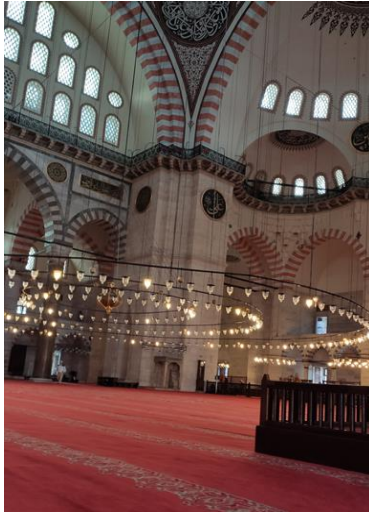
Sinan'ın kalfalık eseridir. Gerek konumu, gerekse de tasarımı noktasında ziyaretçilerine döneminin heybetini hissettirmeye devam eder. Camiye heybetini veren elemanların başında hiç kuşkusuz fil ayakları gelmektedir, Şekil 3.31. Süleymaniye

Camisinin hangi noktasında durursak duralım, camide ilk dikkat çeken elemanlar devasa büyüklükteki fil ayaklardır. Diğer camileri ile kıyasladığımızda Mimar Sinan en büyük ayakları bu cami için tasarlamıştır.

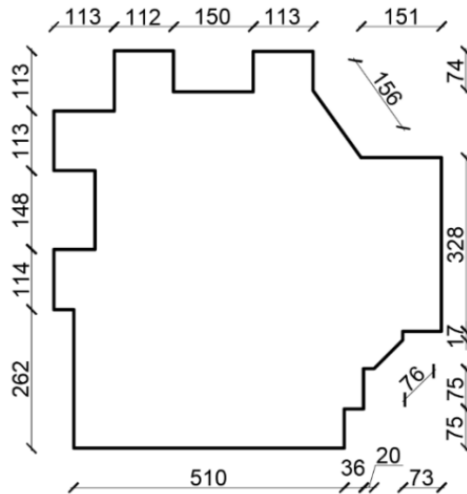


Şekil 3.31. Süleymaniye Camii planı (www.mimarsinaneserleri.com, 2020)

Lazer metre ile yerinde yaptığımız ölçümlerde kolonların yüksekliği yaklaşık 18.65 m olarak ölçülmüştür. Caminin güneybatısında bulunan ayak üzerinde yapmış olduğumuz ölçümlerin sonuçları ise Şekil 3.32. b’de gösterilmiştir.



a)



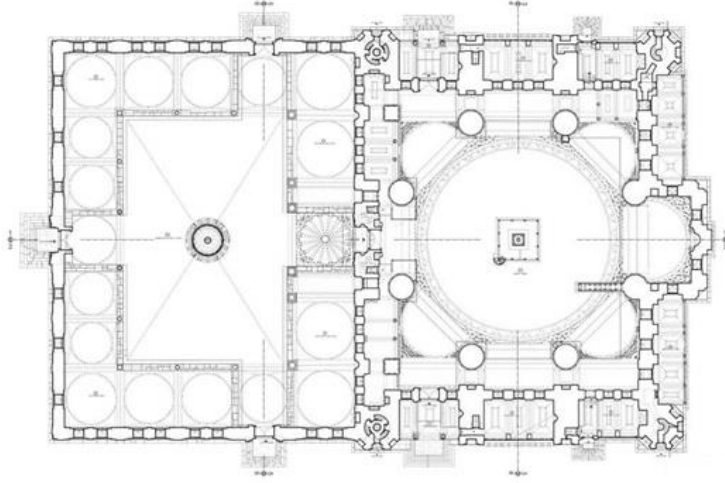
b)

Şekil 3.32. Süleymaniye Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)

3.2.3.6 Selimiye Camii

Sinan'ın ustalık eseridir. Eserlerinin zirve noktası olarak kabul edilmektedir, Şekil 3.33. Diğer camileri ile kıyaslandığında Selimiye Camii en büyük kubbe açıklığına sahip cami olarak karşımıza çıkar. Bu büyük açıklığa sahip olan kubbeyi taşımak için Mimar Sinan onikigen formda sekiz adet kolon tasarlamıştır. Camide lazer metre yardımıyla yerinde yapmış olduğumuz ölçümde kolon yüksekliğinin sütun başı da dahil olmak üzere yaklaşık olarak 19.20 metre olduğu tespit edilmiştir. Kolonlardan biri üzerinde yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 3.34. b'de verilmiştir.

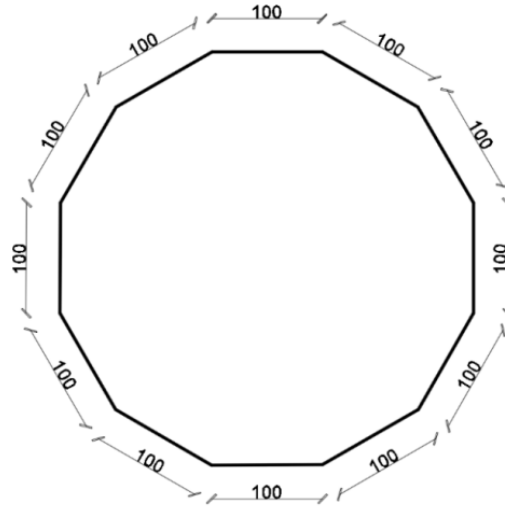
Ele almış olduğumuz bu camilerden de gördüğümüz gibi Mimar Sinan her eserinde farklı bir şeyler ortaya koyma çabasında olmuştur. Bu O'nun diğer özellikleri yanında, ne kadar “yenilikçi” bir ruha sahip olduğuna da açıkça göstermektedir.



Şekil 3.33. Selimiye Camii planı (www.avundukmimarlik.com, 2022)



a)



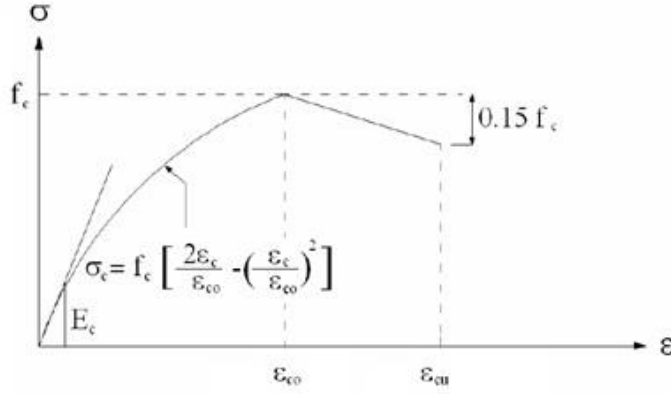
b)

Şekil 3.34. Selimiye Camii; a) kolon resmi, b) kolon kesiti ve boyutları (cm)

3.2.4 Kolonların dokusu için gerilme – şekil değiştirme ilişkileri

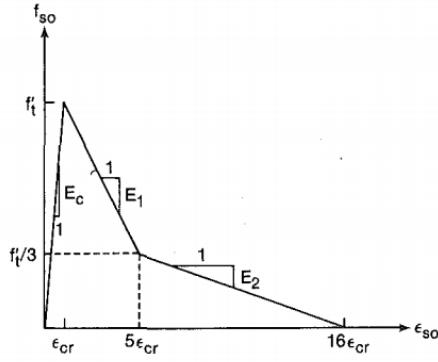
Bilindiği gibi yığma yapı malzemelerinin gevrek yapıda olmaları nedeniyle basınç dayanımları ile çekme dayanımları oldukça farklı düzeylerde. Genel olarak basınç dayanımları iyi, çekme dayanımları ise oldukça düşüktür. Bu çalışma kapsamında, hesaplarda kullanılmak üzere, ele alınan kolonların dokusu için basınç ve çekmede gerilme – şekil değiştirme grafikleri oluşturulmuştur.

Basınçta Şekil 3.35’te görülen Hognestad (1951) beton modeli esas alınmıştır. Modele göre yığma doku için basınç dayanımına (f_c) karşı gelen birim kısalma, beton malzemeye benzer şekilde, 0.002 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.35. Hognestad'ın (1951) basınçta beton için önerdiği $\sigma - \varepsilon$ grafiği

Çekmedeki gerilme - şekil değiştirme grafiği için ise Massicotte ve ark. (1990) tarafından yine beton için önerilmiş olan grafik benimsenmiştir, Şekil 3.36. Bu grafikte, en büyük gerilme değeri, yani çekme dayanımı değeri 1 MPa olarak alınmıştır.



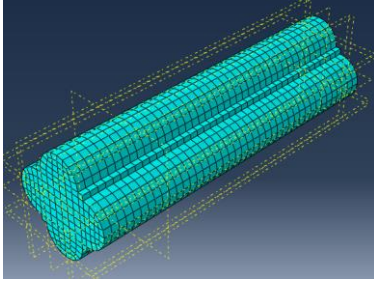
Şekil 3.36. Massicotte ve ark.'nın (1990) çekmede beton için önerdiği $\sigma - \varepsilon$ grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Analizler

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan tarihi camilerin kolonlarının düşey ve yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Düşey yük taşıma kapasiteleri için başlangıçta mukavemetteki $\sigma = N/A$ formülü ile hesap yapılmış, daha sonra Abaqus programı ile kolonların tepe kesitlerine düşey yer değiştirme uygulanarak taban kesitlerindeki eksenel reaksiyon kuvvetleri hesaplanmıştır. Her iki yöntem ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yatay yük taşıma kapasiteleri için ise kolonların üst kesitlerine, her bir kolonun kendi ağırlığına eşit düşey eksenel yük etki ettirilip, üst kesite yatay yer değiştirme uygulanarak taban kesitlerindeki yatay kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Sözü edilen yer değiştirmeler kolonların Şekil 3.24.b, 3.26.b, 3.28.b, 3.30.b, 3.32.b ve 3.34.b’de görülen kesitlerinde ağırlık merkezlerinden geçen yatay doğrultudaki eksen üzerinde uygulanmıştır.

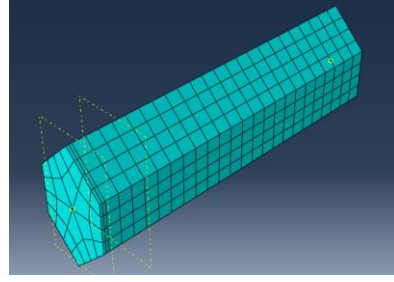
Abaqus programı ile hesaplarda öncelikle kolonlar için gerekli olan sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Kullanılan modellerde C3D8R sonlu eleman tipi kullanılmıştır. Kolonlara ait sonlu eleman ağları, eleman ve düğüm noktası sayıları Şekil 4.1. de verilmiştir. Düşey yük kapasiteleri deplasman kontrolü yöntemi uygulanarak bulunmuştur. Yatay yük kapasiteleri ise yukarıda belirtilmiş olduğu gibi kolonların tepe kesitlerine kendi ağırlıkları kadar düşey eksenel yük uygulanıp, yine deplasman kontrolü yöntemiyle belirlenmiştir. Hem düşey hem de yatay kapasiteler belirlenirken kolonlar tabanda ankastre olarak alınmış, yani bu kesitlerindeki tüm serbestlikler tutulmuştur.



Eleman Sayısı=6232

Düğüm sayısı=7434

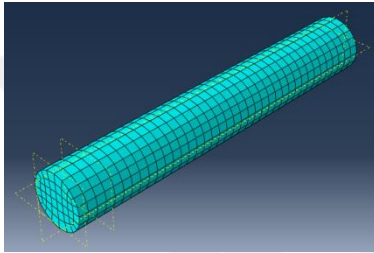
a) Mihrimah Sultan Camii



Eleman Sayısı=600

Düğüm sayısı=962

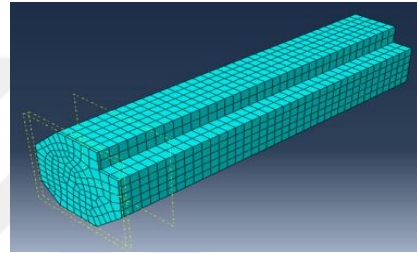
b) Beşiktaş Sinan Paşa Camii



Eleman Sayısı=1672

Düğüm sayısı=2145

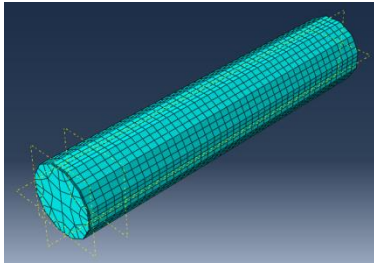
c) Kılıç Ali Paşa Camii



Eleman Sayısı=4797

Düğüm sayısı=5720

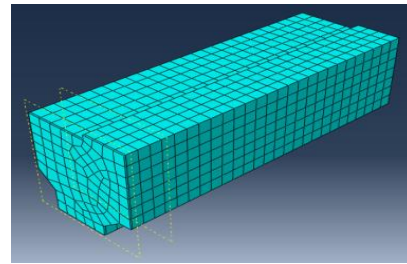
d) Şehzade Camii



Eleman Sayısı=1760

Düğüm sayısı=2745

e) Selimiye Camii



Eleman Sayısı=2241

Düğüm sayısı=2856

f) Süleymaniye Camii

Şekil 4.1 Kolonlara ait sonlu eleman ağırları, eleman ve düğüm noktası sayıları: a) Üsküdar Mihrimah Sultan C., b) Beşiktaş Sinan Paşa C., c) Kılıç Ali Paşa C. , d) Şehzade C., e) Selimiye C., f) Süleymaniye C.

Yapılan hesaplar sonucunda kolonlar için elde edilmiş olan düşey yük taşıma kapasiteleri Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. Çizelgeye bakıldığında klasik hesap

sonuçlarıyla Abaqus sonuçlarının yakın değerler çıkmış olduğu görülmektedir. En büyük düşey yük kapasitesi 458734 kN ile Süleymaniye Camisi kolonuna aittir. Bu gayet normal bir sonuçtur. Çünkü, Süleymaniye Camisinin kolon kesit alanı diğer camilerinkine göre çok büyüktür. Kesit alanının düşey kapasite üzerindeki önemi Çizelge 4.1.'de kolonların kesit alanları ve kapasiteleri karşılaştırıldığında da açıkça görülmektedir.

Kubbe, ana kemerler, pandantifler ve ağırlık kuleleri dikkate alınarak camilerden herhangi biri için yaklaşık bir üst yapı ağırlığı hesaplandığında ve kolon başına düşen kuvvet belirlendiğinde, elde edilen değer çoğu durumda kolon zati ağırlığına yakın ya da onun az bir katı olduğu görülebilir, (Gürel ve ark., 2010). Dolayısıyla, kolonlara gelen düşey yük, düşey kapasitelerinin oldukça altında kalmaktadır. Camilerden birinin, örneğin Şehzade Camisinin bir kolonu için bu doğrultuda bir hesap yapıp, bakalım:

$$\text{Kolon zati ağırlığı: } W_{\text{zati}} = V \times \gamma = 240 \text{ m}^3 \times 19.6 \text{ kN/m}^3 = 4704 \text{ kN},$$

$$\text{Kolona gelen düşey yük (yaklaşık değer): } N_{\text{gelen}} = 1.5 \times 4704 = 7056 \text{ kN}$$

$$\text{Kolon düşey yük kapasitesi: } N_{\text{kapasite}} = 182000 \text{ kN}.$$

$$\text{Görüldüğü gibi } N_{\text{gelen}} = 7056 \text{ kN} \ll N_{\text{kapasite}} = 182000 \text{ kN'dur.}$$

Buradan Sinan'ın camilerindeki kolonları düşey yüklere karşı oldukça güvenli olacak halde tasarlayıp inşa etmiş olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1. Düşey yük taşıma kapasiteleri için bulunan sonuçlar

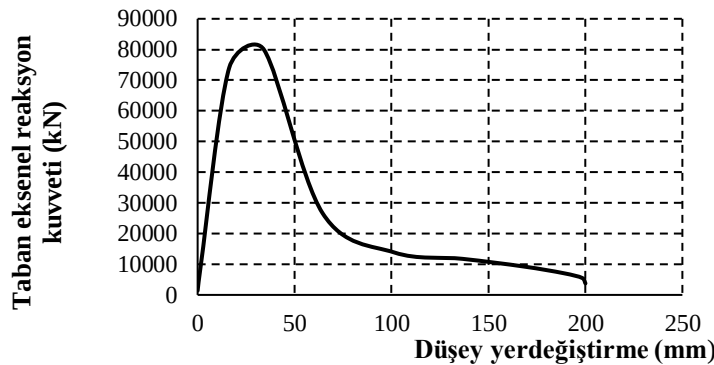
Cami	Kolon Yüksekliği h (m)	Kolon Hacmi (mm ³)	Kolon kesit Alanı (mm ²)	Klasik hesap N _{kap.} (kN)	Abaqus N _{kap.} (kN)
Üsk. Mihrimah Sultan	10.3	7.17E+10	6.96E+06	78700	79900
Beşiktaş Sinan Paşa	5.8	1.13E+10	1.95E+06	22200	24891

Çizelge 4.1.'in devamı

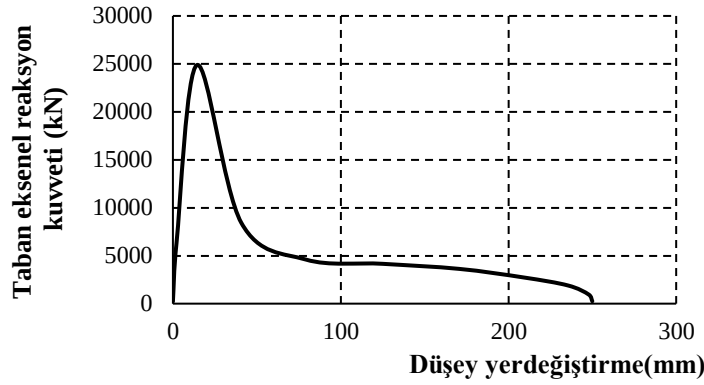
Kılıç Ali Paşa	11.3	2.88E+10	2.55E+06	35600	34331
Şehzade	15.2	2.40E+11	1.58E+07	177000	190007
Selimiye	19.2	2.15E+11	1.12E+07	125000	135606
Süleymaniye	18.65	7.08E+11	3.80E+07	414000	458734

Günümüz taşıyıcı eleman ve sistem boyutlandırma ölçütlerine göre Sinan'ın kolon tasarımları aşırı emniyetli tasarım gibi görülebilir. Ancak, tarihi yığma yapılarıdaki genel emniyetli tasarım felsefesi ve daha da önemlisi bu yapıların günümüz yapılarından farklı olarak donatısız inşa edilmiş olmaları dikkate alındığında Mimar Sinan'ın tasarımlarının rasyonel olduğu hemen görülebilmektedir. Kaldı ki, Sinan gibi bir dahinin kolon gibi yapı için birinci derecede önemli bir elemanı boyutlandırırken yalnızca düşey yükleri değil, aynı zamanda statik yüklerden ve deprem, rüzgar gibi dinamik yüklerden doğacak yatay etkileri de hesaba katmış olduğu muhakkaktır.

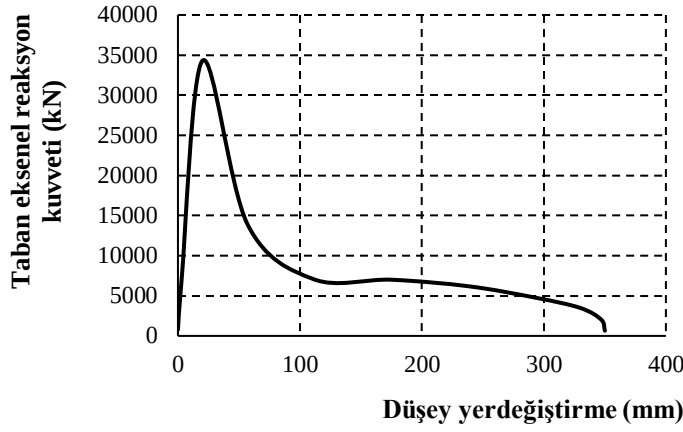
Kolonlar için Abaqus programı ile yapılan hesaptan elde edilen üst kesit düşey yer değiştirmesine karşı taban kesiti eksenel reaksiyon grafikleri Şekil 4.1. – 4.6.'da verilmiştir. Grafiklerden, kolonların artan düşey yer değiştirme, dolayısıyla eksenel yük altındaki davranışı açıkça görülebilmektedir. Abaqus ile yapılan analizler sayesinde, sanki laboratuvarında kolonlar üzerinde eksenel testler yapılmış gibidir. Bu sayede, maksimum dirence ulaşılması, sonra bünyede artan hasar ile direncin azalması ve nihayetinde kolonların tamamen ezilmesi gözlemlenebilmiştir.



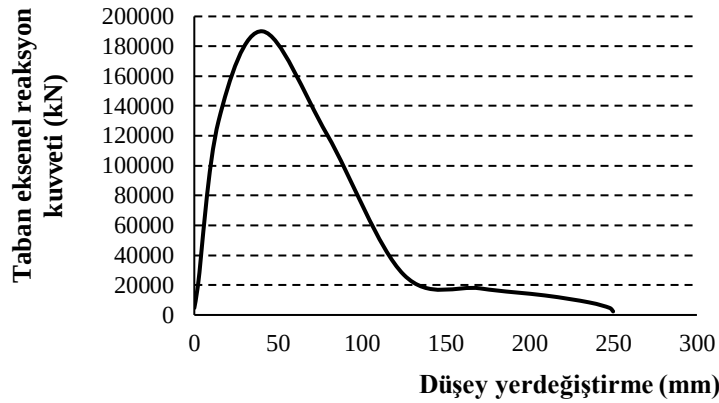
Şekil 4.2. Üsküdar Mihrimah Sultan Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği



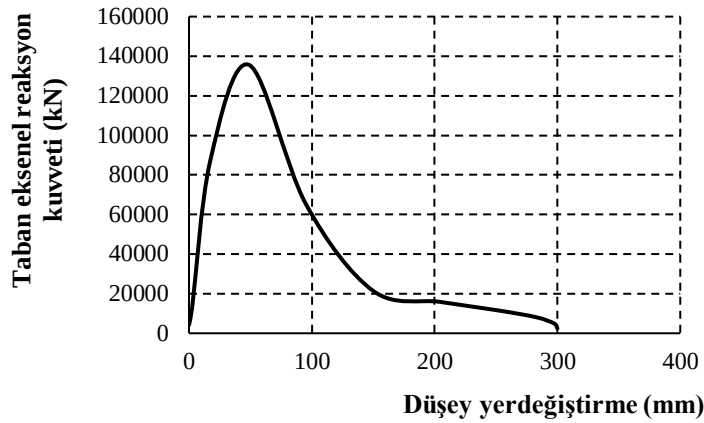
Şekil 4.3. Beşiktaş Sinan Paşa Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği



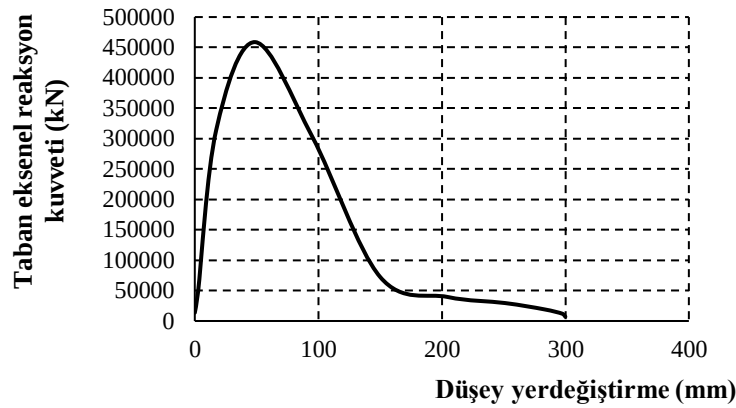
Şekil 4.4. Kılıç Ali Paşa Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği



Şekil 4.5 Şehzade Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği



Şekil 4.6. Selimiye Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği



Şekil 4.7. Süleymaniye Cami kolonunun düşey yük taşıma kapasitesi için bulunan düşey deplasman – taban kesiti eksenel reaksiyon grafiği

Abaqus ile yapılan hesaplar sonucunda kolonlar için elde edilmiş olan yatay yük taşıma kapasiteleri Çizelge 4.2.'de sunulmuştur. Daha önce belirtildiği gibi bu hesaplar yapılırken her bir kolonun tepe kesitine üst yapıdan gelen yükü temsil eden ve kolonun kendi ağırlığına eşit büyüklükte olduğu kabul edilen bir eksenel yük dikkate alınmıştır.

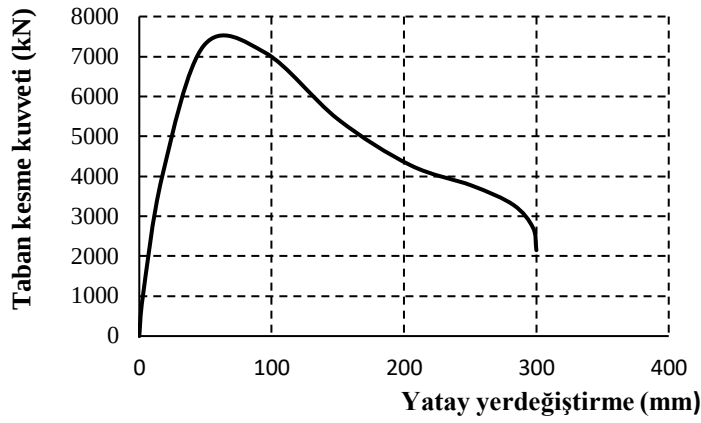
Kolonların yatay yük kapasiteleri karşılaştırıldığında, Süleymaniye'nin kolonunun, büyük yüksekliğine rağmen, devasa kesit alanı nedeniyle düşey yük kapasitesinde olduğu gibi yatay yük kapasitesi bakımından da oldukça ileride olduğu görülmektedir. Diğer kolonların da yanal kapasiteleri önemli denebilecek seviyelerdedir. Sinan, camilerinde kalınlıklarını büyük tutmuş olduğu duvarla bu

yapıların deprem gibi yatay etkilere karşı güvenlik düzeyini zaten yüksek tutmuştur. Yapılarındaki kolonların da hatırı sayılır düzeylerde yatay yük kapasitesine sahip olmalarının, Şehzade ve özellikle de Süleymaniye gibi yapılarında ise bu düzeyin yüksek olmasının, bu kolonların ait oldukları yapılara, duvarlara ek olarak önemli bir yanal dayanım sağlayacağı açıktır.

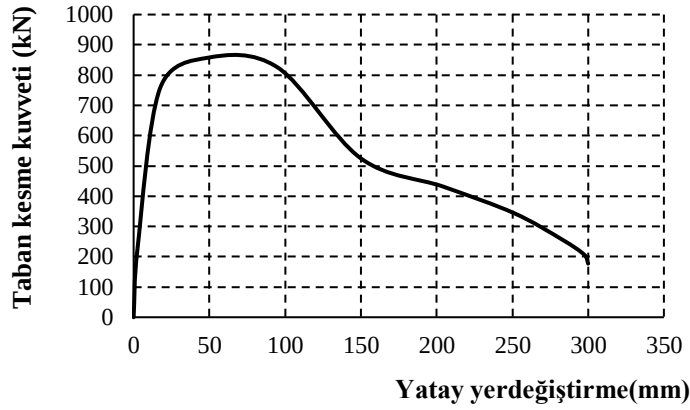
Çizelge 4.2. Yatay yük taşıma kapasiteleri için bulunan değerler

Cami	Abaqus H_{maks} (kN)
Mihrimah Sultan	7279
Beşiktaş Sinan Paşa	857
Kılıç Ali Paşa	600
Şehzade	6997
Selimiye	2745
Süleymaniye	27526

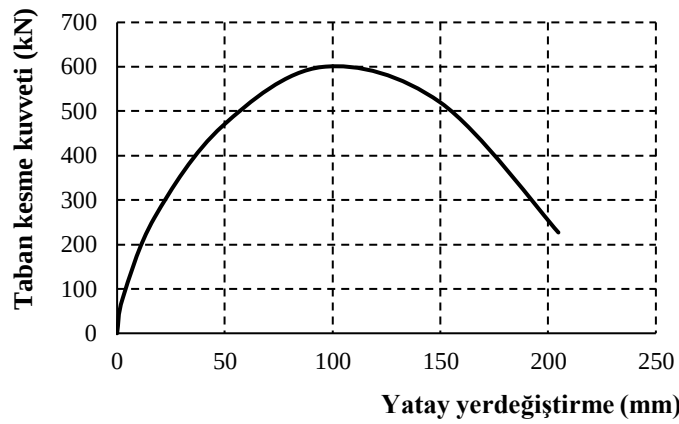
Kolonlar için Abaqus ile hesapla elde edilmiş olan üst kesit yatay yer değiştirmesine karşı taban kesme kuvveti grafikleri Şekil 4.7. – 4.12.'de sunulmuştur. Çalışmada kesit şeklinin sonuçlar üzerindeki etkisinin ne olacağı üzerinde durulmamış olsa da, düşey kapasiteler hesaplanırken pek de ön plana çıkmayan kesit şeklinin, yatay kapasitelerde kendini gösterdiği de fark edilebilmektedir. Bu durum Şekil 4.1. – 4.6. ile Şekil 4.7. – 4.12. karşılaştırıldığında görülebilmektedir. Gerçekten Şekil 4.1. – 4.6.'daki grafikler kendi aralarında daha çok benzerken, Şekil 4.7. – 4.12.'dekilerin benzerliği daha azdır. Elbette yatay kapasiteler hesaplanırken kolon yüksekliklerinin çok önemli olmasının da bu duruma etkisi vardır. Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2. birlikte incelendiğinde bu hemen görülmektedir. Örneğin Mihrimah Sultan ve Şehzade camilerinin kolonlarını karşılaştıralım. Şehzade Camisi kolonunun kesit alanı Mihrimah Sultan Camisi'ninkinden daha büyüktür ve bu nedenle düşey yük kapasitesi daha yüksektir (Çizelge 4.1.). Ancak Şehzade Camisi kolonunun yüksekliğinin fazla olması nedeniyle yatay yük kapasitesi biraz daha düşüktür (Çizelge 4.2.).



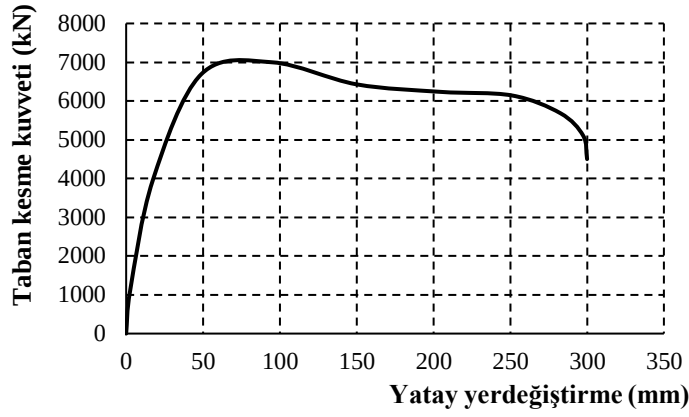
Şekil 4.8. Üsküdar Mihrimah Sultan Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği



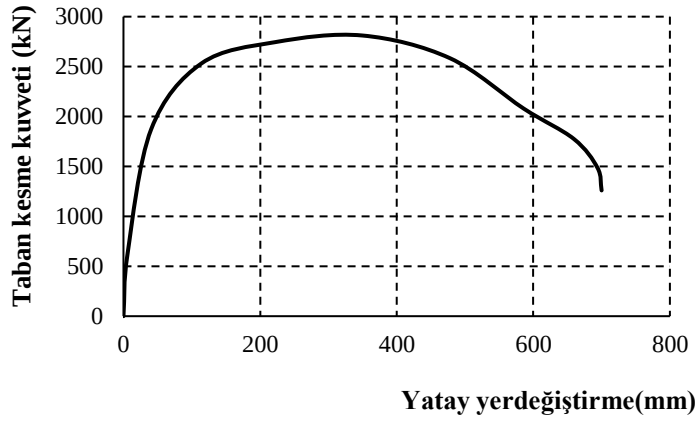
Şekil 4.9. Beşiktaş Sinan Paşa Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği



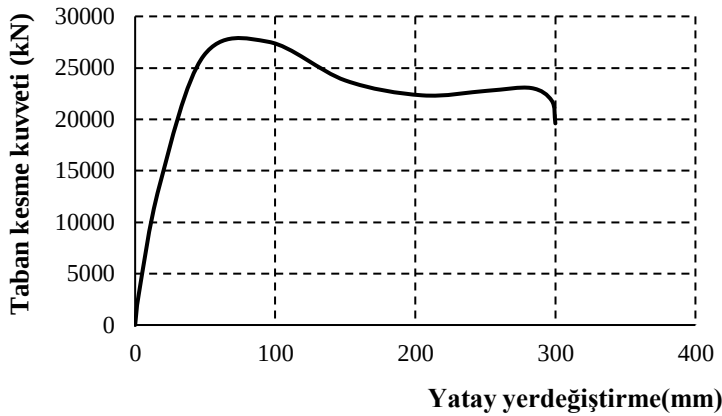
Şekil 4.10. Kılıç Ali Paşa Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.11. Şehzade Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.12. Selimiye Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan yatay deplasman – taban kesme kuvvet grafiği



Şekil 4.13. Süleymaniye Cami kolonunun yatay yük taşıma kapasitesi için bulunan deplasman – taban kesme kuvvet grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Büyük Osmanlı mimarı Sinan, dünya mimarlık tarihinin “yapıtları her yönüyle ve özenle incelenmeye değer” en önemli isimlerinden biridir. Eserleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, Sinan'ın camilerinden sadece birkaçının kolonlarının düşey ve yatay yük taşıma kapasitelerini belirlemeyi amaçlamıştır. İncelenen camiler Üsküdar Mihrimah Sultan, Beşiktaş Sinan Paşa, Kılıç Ali Paşa, Şehzade, Selimiye ve Süleymaniye camileridir.

Ele alınan camilerin kolonları farklı geometrik şekillere sahiptir. Bu kolonların boyutları yerinde ölçülmüş ve malzeme özellikleri konu ile ilgili çalışmalardan alınmıştır. Kolonların düşey yük kapasiteleri hem klasik gerilme bağıntısı ile hem de Abaqus programı ile, yatay yük kapasiteleri ise sadece Abaqus ile belirlenmiştir. İki yöntemle belirlenen düşey yük kapasiteleri oldukça yakındır. Tüm kolonlar için çok yüksek düşey yük kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Özellikle oldukça büyük bir kesite sahip olan Süleymaniye Camii'nin kolonu başta olmak üzere yatay yük kapasitelerinin de genel olarak oldukça iyi düzeyde oldukları belirlenmiştir. Buradan, Sinan'ın yapılarındaki kolonları düşey yüklere çok yüksek bir güvenlikle dayanacak şekilde, yatay yüklere karşı da önemli bir düzeyde dayanıma sahip olacak şekilde tasarlayıp ve inşa etmiş olduğu anlaşılmıştır.

Sunulan çalışmanın çeşitli yönlerden geliştirilme olanakları mevcuttur. Tarihi yapılardaki büyük kesitli elemanlarda dış kısımların kesme taş ya da tuğla ile, iç kısımların ise dolgu malzemeleriyle oluşturulması yaygın bir uygulama olmuştur. Dolayısıyla böyle durumlarda kesitler homojen olmaktan çıkmaktadır. Örneğin Sonik Tomografi Tekniği gibi bir yöntemle bir tarihi yapı kolonun dokusu belirlendikten sonra, kolon için düşey ve yatay yük kapasitelerinin hesaplanması, kolon kesiti gerçek haliyle, yani homojen olmayan halde alınarak, daha gerçekçi bir tarzda yapılmış olacaktır. Homojen olmayan yığma bir kesitin kayma merkezinin ve çekirdek bölgesinin belirlenmesi ise üzerinde çalışılmaya değer diğer konulardır.

KAYNAKLAR

Abaqus, Theory manual. Version 6.14-5; 2014.

AHUNBAY Z. 1988. "Mimar Sinan Yapılarında Kullanılan Yapım Teknikleri ve Malzeme". Mimar Baş Koca Sinan Yaşadığı Çağ ve Eserleri, 2 Cilt, Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul, 1988, s. 531-538

ARIOĞLU N. and ARIOĞLU E., 2005. Engineering Mystery of Master Architect Sinan's "Küfeki" Shell Limestone, Architectural Science Review, 48:2, 163-171, DOI: 10.3763/asre.2005.4820

B. MASSICOTTE, A.E. ELWI, and J.G. MACGREGOR, "Tension stiffening model for planar reinforced concrete members", ASCE Journal of Structural Engineering 116 (11) (1990) 3039-3058. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:11\(3039\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:11(3039))

ÇAKTI, E., SAYGILI, Ö., DAR, E. and ERCAN, T., 2017. "Seismic Behavior Of The Edirnekapı Mıhrımah Sultan Mosque In Istanbul".

CHAPMAN J. C., ve SLATFORD J., "The Elastic Buckling of Brittle Columns", Proc Inst Civil Eng, 6: 107 – 25, (1957).

CRESPI, P., FRANCHI, A., GIORDANO, N., SCAMARDO and M., RONCA, P. "Structural analysis of stone masonry columns of the Basilica S. Maria di Collemaggio", Engineering Structures, 129, pp. 81-90, 2016.

DE FALCO, A. and LUCCHESI, M., 2002. "Stability of Columns with No Tension Strength and Bounded Compressive Strength and Deformability. Part I: Large Eccentricity", International Journal of Solids and Structures, 39:6191-6210. [https://doi.org/10.1016/S0020-7683\(02\)00467-](https://doi.org/10.1016/S0020-7683(02)00467-)

ERÇAĞ, B., 1987. "Rüstem Paşa Camii", V. Vakıf Haftası: 7-13 Aralık 1987, Ankara 1987, s.85-86

ERGUVANLI K. ve AHUNBAY Z., 1989. Mimar Sinan'ın İstanbul'daki eserlerinde kullandığı taşların mühendislik jeolojisi ve mimari özellikleri. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 11:109-114

EYİCE F., 1994. "Edirnekapı Cami ve Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 10:446 448.

EYİCE F., 2002. "Kılıç Ali Paşa Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 25:412 414.

FRISCH-FAY, R., 1975. "Stability of Masonry Piers, International Journal of Solids and Structures", 11:187-198

- GÜNDÜZ F., 2009. "Sinan Paşa Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 32:232-234.
- GÜNEY F., 2021. [https://istanbuldagez.net/tarihi camiler/sehzade-camii-turbesi/](https://istanbuldagez.net/tarihi-camiler/sehzade-camii-turbesi/)
- GÜREL, M. A., ŞENOCAK, A., PEKGÖKGÖZ R. K. and GÜMÜŞÇÜ, M.
“Numerical assessment of the lateral stiffness of unreinforced masonry rectangular columns”, International Journal of Architectural Heritage, 5:6, pp. 559-585, 2011.
- GÜREL, M.A 2016. “Stability of Slender Masonry Columns with Circular Cross Section under Their Own Weight and Eccentric Vertical Load”, International Journal of Architectural Heritage, 10:8, 1008-1024, <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1177748>
- GÜREL, M.A, PEKGÖKGÖZ, R.K., and ÇİLİ, F, 2010. Strength Capacity Of Unreinforced Masonry Cylindrical Columns Under Seismic Transverse Forces. Bulletin Of Earthquake Engineering “, BULL EARTHQ ENG. 10. 10.1007/s10518-011-9297-8. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9297-8>
- GÜNAY R., 2005. Mimar Sinan. Yapı Yayınları, 60-62, 97-101, 178-181,
- HOGNESTAD. E, 1951. “A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members”, University of Illinois Bulletin Vol. 49, No. 22, Urbana, Illinois, 128 pages
- ILLAMPAS R, I. IOANNOU P. B., ve LOURENÇO, 2020. “Seismic appraisal of heritage ruins: The case study of the St. Mary of Carmel church in Cyprus”, Engineering Structures Vol. 224, Article 111209. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111209>
- KUBAN, D., 1994. Sinan Paşa Külliyesi, İstanbul Ansiklopedisi, Tarih Vakfı Yayınları, C.7, İstanbul s.4.
- KURAN, A., 1975. Üsküdar’da Mihrimah Sultan Külliyesi. Boğaziçi Üniversitesi Dergisi, 3:44-45
- KURAN, A., 1986. Mimar Sinan, Hürriyet Vakfı Yayını, İstanbul s.101.
- LA MENDOLA, L. and PAPIA, M., 1993. “Stability of Masonry Piers under Their Own Weight and Eccentric Load”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119(6):1678 1693. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:6\(1678\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:6(1678))
- MASSICOTTE B., A.E. ELWİ, and J.G. MACGREGOR ,”Tension stiffening model for planar reinforced concrete members”, ASCE Journal of Structural Engineering 116 (11) (1990) 3039–3058.

MÜLAYİM S. ve ÇOBANOĞLU A. V. 2009. "Selimiye Camii ve Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 36:430-434.

ÖZİŞ, U., ALKAN, A. ve ÖZDEMİR, Y., 2018. Mühendis ve Mimar Sinan. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 340:8-9

ŞEKER, B. S., 2011. "Mimar Sinan Camilerinin Statik Ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi" (Investigation of the Behavior of Mimar Sinan Mosques under Static and Dynamic Loads), Karadeniz Technical University, Institute of Science, PhD Thesis, Trabzon, 340 page, [online] Available at <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp> (in Turkish)

TANMAN M. B., 2009. "Sokullu Mehmed Paşa Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 37:360-363.

TOKAY Z. H., 2008. "Rüstem Paşa Külliyesi", TDV İslâm Ansiklopedisi, 35:291-292.

TOMAŽEVIČ M, 1999. "Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings", Imperial College Press, London, 268 pages

ÜNAY, A.,İ., 1997, A Method for the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures, Ph.D. Dissertation, METU, Ankara

VALENTE M. and G. MİLANI, 2017. "Effects of Geometrical Features on the Seismic Response of Historical Masonry Towers", Journal of Earthquake Engineering, <https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1277438>

YOKEL, F.Y., 1971. "Stability and Load Capacity of Members with No Tensile Strength", Journal of the Structural Division, Proceed. ASCE, 97-ST7, p.1913-1926 <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0002954>

İnternet Kaynakları

Avunduk Mimarlık. Erişim 22 Kasım 2020.
<https://www.avundukmimarlik.com.tr/tr/edirne-merkez-edirne-selimiye-camii-1991/>

Edirne Valiliği. Erişim tarihi 10 Ekim 2021.
<http://www.edirne.gov.tr/sinan#:~:text=Mimar%20Sinan'%C4%B1n%20Esel eri,%C3%BCzere%20375%20eser%20in%C5%9Fa%20etmi%C5%9Ftir.>

Fatih Kaymakamlığı. Erişim tarihi 15 Kasım 2020. <http://www.fatih.gov.tr/gazi-ahmet-pasa-camii>

Flickr. Ayhan Çakar. Erişim Tarihi 15 Kasım 2020.
<https://www.flickr.com/photos/one1stanbul/13879467873/in/photostream>

- Flickr. Yavuz. Erişim Tarihi 21 Kasım 2020.
<https://www.flickr.com/photos/gencalioglu/6586469743/in/photostream>
- İstanbuldakiler. Erişim Tarihi 16 Kasım 2020
<http://www.istanbuldakiler.com/mihrimah-sultan-camii-edirnekapi-53.html>
- İstanbuldakiler. Erişim Tarihi 21 Kasım 2020. <http://www.istanbuldakiler.com/dort-parcasi-cennetten-gelen-cami-sokullumehmet-pasa-camii-kadirga-44.html>
- Mimar Sinan Camileri. Erişim tarihi 01 Ağustos 2020.
<http://www.mimarsinanerleri.com>
- Ne Nerede. Erişim Tarihi 20 Aralık 2021. <https://www.nenerede.com.tr/ilan/besiktas-sinan-pasa-camii-5>
- Pinterest. Okur Yazarım. Erişim Tarihi 22 Kasım 2020
<https://tr.pinterest.com/pin/588845720002480981/>
- Tripadvisor. Erişim tarihi 15. Kasım 2020.
https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g293974-d8655474-Reviews-Kara_Ahmet_Pasa_Cami-Istanbul.html
- TRT Haber. Erişim Tarihi. 20 Kasım 2020
<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/selimiye-camii-yapiya-zarar-veren-cimentodan-arindirilacak-364875.html>
- Turan Akıncı. Erişim Tarihi 26 Aralık 2021. <https://www.turanakinci.com/portfolio-view/besiktas-sinan-pasa-camii>
- Türkiye Kültür portalı. Erişim tarihi 01 Eylül 2020.
<https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/istanbul/gezilecekyer/suleymaniye-camii>
- Twitter. kültürİstanbul. Erişim Tarihi 22 Kasım 2020
<https://twitter.com/kulturistan/status/641238576110436352?lang=da>
- Uşak Esnaf Gazetesi. Erişim Tarihi. 20 Kasım 2020.
<https://www.usakesnaf.net/haber-edirne-selimiye-camii-nin-sirlari.-4468.html>
- Yeni Akit. Erişim tarihi 20 Kasım 2020. <https://www.yeniakit.com.tr/foto-galeri/dunyanin-en-guzel-cami-kubbeleri-1733/27>