



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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TARİHİ YAPILARDA SÜTUN BAŞLIKLARININ
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Atahan GÜVEN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192303405 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Atahan GÜVEN tarafından hazırlanan **“TARİHİ YAPILARDA SÜTUN BAŞLIKLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ”** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Prof. Dr. Ali URAL

Aksaray Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZBAYRAK

Erciyes Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi:17/08/2022

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

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmayı, bilimsel etik ve akademik kurallara, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Atahan GÜVEN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin yürütücülüğünü üstlenen, çalışmalarımda her konuda yardımını, ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her yönden desteğini gördüğüm eşim, kızım, babam ve tez çalışmam sırasında hayatını kaybeden anneme tüm kalbi duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam sırasında manevi olarak ve deneylerimi yaparken yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Uğur AZİZOĞLU, Öğr. Gör. Dr. Abdüsselam KESİKOĞLU, Öğr. Gör. Dr. Zehra ÖZCAN ve Öğr. Gör. Ufuk TUNÇ'a teşekkür ederim.

Atahan GÜVEN
AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	6
1.1.1 Yığma yapı davranışının incelendiği çalışmalar	6
1.1.2 Sütun ve Sütun başlıklarının incelendiği çalışmalar	11
1.1.3 Tomarza taşının özelliklerinin incelendiği çalışmalar	14
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	15
2. TARİHİ YAPILARDAKİ SÜTUN BAŞLIKLARI	19
2.1 Sütunlar	19
2.1.1 Sütun başlığı	21
2.1.2 Sütun gövdesi	23
2.1.3 Sütun kaidesi	24
2.2 Sütun Başlıklarında Görülen Hasar Türleri	25
2.2.1 Sıcaklık ve nem etkisinden dolayı oluşan hasarlar	25
2.2.2 Zeminden dolayı oluşan hasarlar	26
2.2.3 Yapıda bulunan eleman kayıplarına bağlı oluşan hasarlar	27
2.2.4 Malzeme kaybından dolayı oluşan hasarlar	28
2.2.5 Sel ve taşkından dolayı oluşan hasarlar	28
2.2.6 Deprem etkisinden dolayı oluşan hasarlar	29
2.2.7 Toprak kaymasından dolayı oluşan hasarlar	30
2.3 Sütun Başlıklarında Yapılan Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri	31
2.3.1 Metal çemberleme yöntemi	32
2.3.2 FRP yöntemi	33
2.3.3 Horasan harcı yöntemi	33
2.3.4 Epoksi reçinesi yöntemi	34
3. MALZEME VE ÖZELLİKLERİ	35
3.1 Taşın Özellikleri	35
3.1.1 Elastisite modülü ve poison oranının belirlenmesi	35
3.1.2 Schmidt çekici deneyi	37
3.1.3 Su emme ve boşluk oranı tayini	39
3.1.4 Birim ağırlık tayini	41
3.1.5 Tek eksenli basınç dayanımı tayini	41
3.1.6 Eğilme dayanımı tayini	43
3.1.7 Aşınma direnci tayini	46
3.2. Güçlendirilmede Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	48
3.2.1 Gijon (tij çubuğu)	48
3.2.2 CFRP (karbon lif takviyeli polimer)	50
4. SÜTUN BAŞLIĞI NUMUNE DENEYLERİ	52
4.1 Sütun Başlıklarının Hazırlanması	52
4.2 Referans Numunesi	56
4.3 Model - 1	58
4.4 Model - 2	60

4.5 Model - 3	61
4.6 Model - 4	63
4.7 Model - 5	65
4.8 Model - 6	67
4.9 Model - 7	69
4.10 Model - 8	71
4.11 Model - 9	72
4.12 Model - 10	74
4.13 Model - 11	75
4.14 Model - 12	77
4.15 Model - 13	79
4.16 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	93



YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARİHİ YAPILARDA SÜTUN BAŞLIKLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

Atahan GÜVEN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ÖZET

Bu çalışmada tarihi yapılarda bulunan taş sütun başlıkları için farklı güçlendirme yöntemlerinin işlevselliği değişik modeller üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda sütun başlıklarında meydana gelen hasarlar ve bu hasarların kaynakları ele alınmıştır. Bu hasarlar için ne tip güçlendirme yöntemleri kullanılabileceği irdelenmiş ve farklı tip güçlendirme yöntemleri için bir takım modeller önerilmiştir. Her bir model için üç adet olmak üzere toplamda kırk iki adet aynı özelliklere sahip taş numunesi taş ocağında belirlenen boyutlarda üretilmiştir. Bu numunelerden üç tanesi referans numune olarak göz önüne alınmış, diğerleri ise güçlendirme yöntemlerinin uygulanacağı farklı modellerin numuneleri olarak belirlenmiştir. Toplamda on üç adet model dikkate alınmış ve her model için üç adet numune deneye tabi tutulmuştur. Genel anlamda güçlendirme yöntemi olarak farklı FRP şerit uygulamaları, değişik adetlerde çelik çubuğa sütun başlığı numunesi içerisinde ard gerilme verilmesi ve değişik metal çemberleme örnekleri kullanılmıştır. İlaveten deneysel çalışmalarda kullanılan Tomarza taşının bir takım fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak her bir model için yapılan deney sonucunda elde edilen taşıma yükü kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Günümüzde sütun başlıklarının güçlendirilmesinde sıklıkla kullanılan metal çemberleme yönteminin belirli sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Yeterli kalınlıkta FRP şerit uygulamasının ise sütun başlıklarının taşıma kapasitesini dikkate değer oranda artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sütun başlığı, Tarihi yapılar, Güçlendirme.

Ağustos, 2022; 93 sayfa

M.Sc. THESIS

STRENGTHENING COLUMN CAPITALS IN HISTORICAL BUILDINGS

Atahan GÜVEN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ABSTRACT

In this study, the functionality of different reinforcement methods for stone column capitals in historical buildings was investigated experimentally on different models. In this context, the damages that occurred in the column capitals and the sources of these damages were examined. What types of reinforcement methods can be used for these damages were examined and some models were proposed for different types of reinforcement methods. A total of forty-two stone samples with the same characteristics, three for each model, were produced in the dimensions determined in the quarry. Three of these samples were considered as reference samples, while the others were determined as samples of different models to which the strengthening methods would be applied. In total, thirteen models were considered and three samples were tested for each model. In general, different FRP strip applications, post-tensioning of different numbers of steel bars in the column capital sample and different metal strapping samples were used as the strengthening method. In addition, some physical properties of Tomarza stone used in experimental studies were determined. As a result, the load carrying capacities obtained as a result of the experiment for each model were compared. It has been determined that the metal strapping method, which is frequently used in the reinforcement of column capitals today, remains within certain limits. It has been determined that the application of FRP strip with sufficient thickness significantly increases the capacity of the column capitals.

Keywords: Column capitals, Historic buildings, Reinforcement.

August,2022; 93 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sütunlara metal çemberleme uygulaması.....	2
Şekil 1.2. Karbon elyaflar (FRP) kullanılarak takviye edilen tonozlar	3
Şekil 1.3. Tarihi yapılarda süsleme sanatları	3
Şekil 1.4. FRP'nin tarihi yapılarda uygulaması	5
Şekil 1.5. Tarihi yapılarda hasara uğramış sütun başlığı örnekleri	16
Şekil 2.1. Tarihi yapılarda sütun örnekleri	19
Şekil 2.2. Tarihi yapılarda sütun örnekleri	20
Şekil 2.3. Metal bağlantı uygulamaları	20
Şekil 2.4. Tarihi yapılarda sütun başlığı örnekleri	21
Şekil 2.5. Farklı sütun başlığı örnekleri.....	22
Şekil 2.6. Tarihi yapılarda sütun gövdesi örnekleri	24
Şekil 2.7. Tarihi yapılarda sütun kaidesi örnekleri	24
Şekil 2.8. Sütun ve Sütun başlığına uygulanan çemberleme uygulaması	32
Şekil 3.1. Numunelerin Elastisite modülü tayini.....	36
Şekil 3.2. Küp şeklinde hazırlanan numuneler	38
Şekil 3.3. Schmidt çekici deney düzeneği	38
Şekil 3.4. Numunelerin Arşimet terazisi ile tartılması	39
Şekil 3.5. Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği	41
Şekil 3.6. Numunelerin basınç dayanım diyagramları	42
Şekil 3.7. Eğilme dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği	44
Şekil 3.8. Böhme deney cihazı.....	46
Şekil 3.9. Gijon numunelerin donatı çekme diyagramları.....	48
Şekil 3.10. Donatı çekme tayininde kullanılan deney düzeneği	49
Şekil 4.1. Analizler sonucunda belirlenen sütun başlığı	52
Şekil 4.2. Sütun başlıklarının genel görüntüleri	53
Şekil 4.3. Sütun başlıklarının modellemeleri	56
Şekil 4.4. Referans numuneleri	57
Şekil 4.5. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	57
Şekil 4.6. Referans numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	58
Şekil 4.7. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	58
Şekil 4.8. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	59
Şekil 4.9. Model-1 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	59
Şekil 4.10. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	60
Şekil 4.11. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	60
Şekil 4.12. Model-2 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	61
Şekil 4.13. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	62
Şekil 4.14. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	62
Şekil 4.15. Model-3 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	63
Şekil 4.16. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	64
Şekil 4.17. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	64
Şekil 4.18. Model-4 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	65
Şekil 4.19. Numunelerin matkapla delinmesi	66
Şekil 4.20. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	66
Şekil 4.21. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	67
Şekil 4.22. Model-5 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	67
Şekil 4.23. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	68
Şekil 4.24. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	68
Şekil 4.25. Model-6 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	69

Şekil 4.26. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	69
Şekil 4.27. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	70
Şekil 4.28. Model-7 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	70
Şekil 4.29. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	71
Şekil 4.30. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	71
Şekil 4.31. Model-8 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	72
Şekil 4.32. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	73
Şekil 4.33. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	73
Şekil 4.34. Model-9 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	74
Şekil 4.35. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	74
Şekil 4.36. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	75
Şekil 4.37. Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	75
Şekil 4.38. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	76
Şekil 4.39. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	76
Şekil 4.40. Model-11 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	77
Şekil 4.41. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	77
Şekil 4.42. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	78
Şekil 4.43. Model-12 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	78
Şekil 4.44. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri	79
Şekil 4.45. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.....	79
Şekil 4.46. Model-13 numunelerinin yük-zaman grafikleri.....	80
Şekil 4.47. Eksenel yük uygulanan numunelerin kırılma yükü değerleri.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yığma yapılar için hasar ölçüt çizelgesi.....	30
Çizelge 3.1. Tomarza taşı üzerinde yapılan deneyler	35
Çizelge 3.2. Tomarza taşının Elastisite modülü ve Poisson oranı	37
Çizelge 3.3. Schmidt çekici geri tepme sayısı	39
Çizelge 3.4. Su emme ve boşluk oranı tayini deney sonuçları	40
Çizelge 3.5. Birim ağırlık tayini deney sonuçları	41
Çizelge 3.6. Basınç dayanımı tayini deney sonuçları	43
Çizelge 3.7. Eğilme dayanımı tayini deney sonuçları	46
Çizelge 3.8. Aşınma direnci tayini deney sonuçları	47
Çizelge 3.9. Gijon çekme deney sonuçları	48
Çizelge 3.10. Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP) malzemesinin özellikleri	50
Çizelge 3.11. Epoksi reçinesinin özellikleri	51
Çizelge 4.1. Deney sonuçları	81



SİMGELER VE KISALTMALAR

a	Aşınma (Böhme) deneyi için en (mm)
b	Aşınma (Böhme) deneyi için boy (mm)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Lif Takviyeli Polimer)
E	Elastisite modülü
FRP	Fiber Reinforced Polymer (Lif Takviyeli Polimer)
Gd	Suya doymuş ağırlık, (gr)
Gds	Su içindeki ağırlık, (gr)
Gk	Kuru ağırlığı, (gr)
h	Aşınma (Böhme) deneyi için yükseklik (mm)
Sa	Kütlece su emme yüzdesi, (%)
Sh	Hacimce su emme yüzdesi, (%)
Δ	Birim hacim ağırlık, (gr/cm ³)
Δm	16 döngüden sonra kütle kaybı, (gr)
ΔV	16 döngüden sonra hacim kaybı, (cm ³ /50cm ²)
ε	Şekil değiştirme
ρ_R	Numunenin yoğunluğu, (gr/cm ³)
σ	Gerilme

1. GİRİŞ

En önemli kültürel miraslarımızdan biri olan tarihi yapılar, yapıldığı dönemin izlerini günümüze taşıdıklarından dolayı korunmaları gerekmektedir. Bu yapıların hasar görmesine hatta yıkılmasına neden olacak birçok faktör vardır. Bunlara yapıda kullanılan malzemenin özelliklerini yitirmesi (aşınma, deformasyon), insan kaynaklı tahribatlar, doğal afetler gibi örnekler verilebilir. Tarihi yapıların gelecekte de ayakta kalabilmesi için yapının taşıyıcı sistemlerinin onararak veya güçlendirilerek üzerine gelebilecek yüklere karşı mukavemet kazanmaları önem arz etmektedir. Hasar görmüş yapılara yeni nesil malzemeler kullanılarak onarım ve güçlendirme seçeneklerinin uygulanması, yapının taşıyıcı sistem kapasitesini artırmasının yanı sıra, yapının orijinalliğini de bozmamalıdır. Ayrıca, uygulanacak olan yöntemler yapıda ek yük meydana getirmemelidir.

Tarihi yapılara yapılacak onarım ve güçlendirme yöntemlerinin Venedik Tüzüğü'ne uygun olması gerekir. 1964 tarihli Venedik Tüzüğü'nün Restorasyon başlığı altında toplanan ilkeleri şu şekildedir (Dabanlı, 2008):

- Onarım ve güçlendirmenin amacı, anıtın tarihi değerini ve estetiğini korumaktır. Uzmanlık gerektiren bu uygulamada, yapının dokusunu bozmayan özgün malzemeler kullanılmalı, güvenilir belgelere saygı duyulmalı ve bu belgelerin dışına çıkılmamalıdır.

- Onarım ve güçlendirme yapılmadan önce yapının tarihi detaylı bir şekilde araştırılmalıdır. Bu araştırmada, yapının yapım süreci, geçmişte yapılan onarım ve güçlendirme uygulamaları, geçmiş hasarların şeması ve boyutu, inşa edildiği tarih, yapı çevresinde gerçekleştirilmiş değişiklikler tespit edilebilmelidir.

- Onarım ve güçlendirme uygulamalarında, geleneksel yöntemlerin yetersiz kalması durumunda, deney ve araştırmalarla yeterliliği kanıtlanmış çağdaş yöntemler de kullanılabilir. Yeterliliği ispatlanmamış müdahalelerde yapıya zarar vermeden sökülebilir ve geri dönüştürülebilir olmalıdır. Özgün malzemenin kullanımına özen gösterilmelidir.

- Tarihi yapı üzerinde bulunan değişik dönemin izleri de korunmalıdır. Restorasyonda amaç yapıyı önceki haline dönüştürmek değildir. Yapıda eksik olan

parçalar, orijinalinden farklı olduğunu hissettirecek biçimde birleştirilebilir. Restorasyon uygulamasında işlemlerin tamamı belgelenmelidir. Tarihi bir yapıda koruma işlemi yapının; yapım sistemini, malzemesini, taşıyıcı sistemini ve kesit özelliklerini kapsamalıdır. Bunlardan herhangi birinde yapılacak olan hatalı bir müdahale “koruma” olarak adlandırılmaz.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi yapılırken bu yapıların, anıtsal, kültürel, sembolik, estetik, tarihi, sosyal ve hatta psikolojik değerlerinin olduğu unutulmamalıdır.

Kültürel yönden önemli değere sahip tarihi yapılar için taşıyıcı sisteminde oluşan performans kaybını geri kazanabilmesi nedeniyle uygun onarım ve güçlendirme yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerden birisi tarihi yapının sütunlarına ön gerilme verilerek yapılan metal çemberleme uygulamasıdır. Metal çemberleme uygulamasında tarihi yapıya ilave yük gelmemekte ancak yapının doğallığı ve estetiğini olumsuz yönde etkilenmektedir (Şekil 1.1).



a) Edirne Üç Şerefeli Cami

b) İstanbul Yerebatan Sarnıcı (Önlü, 2010)

Şekil 1.1. Sütunlara metal çemberleme uygulaması.

Son zamanlarda ise yapı onarım ve güçlendirilme uygulamalarında lif takviyeli polimer (FRP- Fiber Reinforced Polymer) kullanılmaktadır. Bu uygulamada da yapının orijinallığı olumsuz yönde etkilenmektedir (Şekil 1.2). Fakat tarihi yapılarda hat ve çini sanatı gibi süsleme sanatlarının uygulanması, FRP malzemesi üzerine sıva yapılabilir olması ve yapılan sıvanın üzerine süsleme sanatlarının uygulanabilir olması

bu malzemenin tarihi yapılarda kullanılabilirliğini artırmaktadır. Dünyada ve ülkemizde süsleme sanatı uygulaması tarihi yapılarda görülmektedir (Şekil 1.3). Bu tarihi yapılar arasında Edirne Selimiye Cami ve Bursa Ulu Cami süsleme sanatında ülkemizin dikkat çekici örneklerindendir.



Şekil 1.2. Karbon elyaflar (FRP) kullanılarak takviye edilen tonozlar (URL-1).



(a) Edirne Selimiye Cami

Şekil 1.3. Tarihi yapılarda süsleme sanatları.



(b) Bursa Ulu Cami



(c) İran Nasır el Mülk Cami (URL-2)

Şekil 1.3(devam). Tarihi yapılarda süsleme sanatları.

Klasik yöntemlere göre yapılan onarım ve güçlendirme yöntemini FRP uygulamasından ayıran en önemli fark, klasik yöntemlerle elde edilen taşıma gücünden daha fazlasını, yapı elemanının boyutlarının değiştirilmeden FRP uygulaması ile sağlanabilmesidir. FRP çelikten hafif ve daha güçlü bir malzeme olmasının yanında çelik gibi korozyona uğramamaktadır. Bu sebeple tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde FRP'nin değişik şekillerde uygulamalarına rastlanmıştır (Fırat ve Eren, 2015). Şekil 1.4'de tarihi yapılarda yapılan FRP uygulamasının örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1.4. FRP'nin tarihi yapılarda uygulaması (URL-3).

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan başka bir yöntem de Horasan harcı uygulamasıdır. Horasan harcı uygulamasında çatlak genişliği 0.3 mm' den büyük olması gerekmektedir. 0.3 mm'nin altındaki çatlaklarda onarıma ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu uygulama yapılardaki çatlakları kapatarak hasarların büyümesine ve eleman kaybının engellenmesine neden olabilmektedir. Horasan harcı tarihi yapının taşıyıcı elemanlarındaki çatlak yüzeylerini doldurarak dayanımı artırabilmektedir.

Onarım ve güçlendirme uygulamalarında kullanılan bir diğer yöntemde epoksi reçinesi yöntemidir. Epoksi reçinesi ile onarım yöntemleri iki şekilde yapılabilmektedir. Tarihi yapının taşıyıcı elemanında 0.2-0.3 mm genişliğinde çatlak olması durumunda epoksi enjeksiyonu yöntemi kullanılmaktadır. Taşıyıcı elemanda ezilme ve parça kopması gibi durumlar söz konusu ise epoksi harcı yöntemi kullanılmaktadır. Epoksinin içine çok ince malzeme katılarak elde edilen epoksi harcı, hasar görmüş elemana tatbik edilebilir. Epoksi enjeksiyonu ve epoksi harcı uygulaması, tarihi yapıların sütunlarında meydana gelen çatlaklarda, parça kopmalarında, ezilmelerde kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada deneylerde kullanılan Tomarza taşının bir takım fiziksel özelliklerinin belirlenmesinin ardından tarihi yapılarda bulunan taş sütun başlıkları için farklı güçlendirme yöntemlerinin fonksiyonelliği bir takım modeller üzerinde deneysel

olarak araştırılmıştır. Tarihi yapıların sütun başlıklarında karşılaşılan hasar tipleri ve hasar kaynakları incelenmiştir. Bu hasarlar için ne tip güçlendirme yöntemleri kullanılabileceği irdelenmiş ve farklı tip güçlendirme yöntemleri için bir takım modeller önerilmiş ve bu modellerin yük taşıma kapasiteleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Literatürde, özellikle tarihi yapıların sütun başlıkları onarılması ve güçlendirilmesi ile ilgili bir eksikliğin olduğu fark edilmiştir. Bu çalışmada sütun başlıklarında meydana gelen hasarlar için nasıl bir güçlendirme yönteminin tercih edilebileceği sorunu nispeten çözülmüş olacaktır. Bunun yanında sütun başlıkları için yapılan güçlendirme uygulamaları sırasında dikkat edilmesi gereken parametreler açısından, önemli bir kaynak olacaktır.

1.1. Literatür Özeti

Genel anlamda tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalar literatürde yer alırken, sütun başlıkları ile ilgili çalışmalar sadece sütunların içerisinde bir kısım olarak yer almaktadır. Bu çalışmalar, sütun başlıklarının tanımı, özellikleri ve çeşitleri üzerinedir.

1.1.1. Yığma yapı davranışının incelendiği çalışmalar

DiPasquale (1979) yapmış olduğu çalışmada İtalya Floransa’da bulunan Santa Maria Del Fiore Katedrali’nin kubbesini modellemiş, kâgir duvarların yapısal davranışlarını ve malzeme özelliklerini incelemiştir.

Ünay (1997) yapmış olduğu çalışmada tarihi yapının düşey yük analizini yaparak analiz sonucuna göre zayıf noktalarda bulunan elemanları belirlemiş, bu elemanların taşıma gücünü hesaplamıştır.

Ehsani vd. (1999) yaptıkları deneysel çalışmada 0.710 m yüksekliğinde, 1.22 m uzunluğunda 3 adet tuğla duvar numunesi örülmüşlerdir. Numunelerin iki yüzeyine de epoksi reçinesi kullanılarak farklı genişliklerde GFRP (Cam Fiber Takviyeli Polimer) malzemesi yapıştırılmışlardır. Güçlendirilmeyen kompozit şeritler ve duvarlar gevrek bir davranış göstermişlerdir. GFRP ve epoksi reçinesi malzemesinin beraber kullanımının enerji yutma kapasitesini yükselttiğini bildirmişlerdir. GFRP kompozit şeritlerinin yanal yüklere karşı tuğla duvarların güçlendirilmesinde iyi bir alternatif malzeme olduğu sonucuna varıldığını belirtmişlerdir.

Tan ve Patoary (2004) yaptıkları çalışmada yığma duvarların güçlendirilmesi için üç farklı FRP uygulaması yapmışlardır. 30 adet yığma duvar numunesinin güçlendirmesi için üç farklı ankrajlama sistemi kullandıkları çalışmalarında, güçlendirilen duvar numunelerinin dayanımlarının arttığını bildirmişlerdir.

Mahrabel (2006) yaptığı çalışmada tarihi yapı türlerinden, tarihi yapılarda kullanılan malzemelerden ve tarihi yapıyı meydana getiren taşıyıcı sistem özelliklerinden bahsetmiş, düşey yapı elemanı olan sütunların tek veya birkaç bloktan oluştuğunu belirtmiştir.

Gedik (2008) çalışmasında Tarihi yığma yapılara müdahale teknikleri olarak çatlak onarımı, eksik ve hasarlı elemanların özel harçlarla değiştirilmesi, kubbe, tonoz veya duvarlara payanda eklenmesi, bağların eklenmesi veya onarımı ve güçlendirilmesini sıralamıştır. Ancak tarihi yapıların kültürel değerlerinin yüksek olmasından dolayı yapıya uygulanacak olan onarım ve güçlendirme müdahalelerin minimum düzeyde tutulması gerektiğini söylemiştir.

Harajli vd. (2010) yaptıkları çalışmada, tarihi duvar numuneleri üzerinde harç ve tekstil hasır kullanarak farklı güçlendirme yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Bazaltın kireç içerikli harç ile bağlanması taşıyıcı eleman üzerindeki enerji yutma kapasitesini artırdığını belirtmişlerdir. Alkalilere karşı daha fazla dayanıklı olabilmesi için cam yerine bazalt malzeme seçmişlerdir.

Ludovico vd. (2010) yaptıkları çalışmada; 18 adet sünger taşı veya harman tuğlası kullanarak tek eksenli basınç yüklemesi yapmışlardır. Numunelerin güçlendirilmesinde bazalt (BFRP), cam (GFRP) ve karbon (CFRP) lifli polimer malzemeleri kullanmışlardır. Yapılan deneyde lifli malzemelerinde meydana gelen yırtılmayı ve göçmeyi incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre; süngertaşına uygulanan CFRP ve GFRP güçlendirme yöntemlerinin, yığma kolonların basınç dayanımlarında benzer artışlar gösterdiğini belirtmişlerdir.

Sayın vd. (2011) yaptıkları çalışmada Malatya ilinde bulunan Uzunok Köprüsü'nün lineer ve lineer olmayan sismik analizlerini yapabilmek için makro modelleme yöntemini kullanmışlardır. 2003 yılında meydana gelen Bingöl depremi ivme

kayıtlarını sismik etki olarak kullanarak köprünün sismik analiz davranışını incelemişlerdir.

Çelik (2014) yaptığı çalışmada tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde yapının özgün malzemesine ek olarak, paslanmaz çelik, yüksek dayanımlı çelik, değişik özellikte çimentolar, epoksi reçinesi, CFRP, GFRP gibi malzemelerinde kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Ural ve Fırat (2015) yaptıkları çalışmada Aksaray ilinde meydana gelen kuvvetli bir rüzgârın iki tane minare üzerinde meydana getirdiği hasarları araştırmışlardır. Minarelerin yapım aşamasındaki hatalar hakkında bilgiler vermişlerdir.

Ural vd. (2016) yaptıkları çalışmada tuğla kemerlerdeki çeşitli gergi çubuklarının etkinliğini deneysel ve sayısal olarak araştırmış, gergi çubuklarıyla en etkin güçlendirmenin nasıl yapılması gerektiğini araştırmışlardır.

Bal ve Şimşek (2019) yaptıkları çalışmada lifli polimerlerin yığma duvar elemanlara uygulanma yöntemlerini ve tarihi yığma yapılarda lifli polimerlerin değişik kombinasyonlarla uygulanabilirliğini araştırmışlardır.

Remki vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Cezayir'de bulunan Constantine adlı şehrin belediye binasının sismik kırılğanlığını incelemişlerdir. Hizmet ömrü boyunca ciddi hasarların oluşmaması için bu tür binaların depreme karşı kırılğanlığının ve hasar incelemesinin yapılmasının zorunlu olduğunu belirtmişlerdir. Yapısal analiz, saha incelemesi yapmışlardır ve analitik bir çalışma önermişlerdir.

Baranaydın (2020) yaptığı çalışmada 1963 yılında kiborion güneybatı sütununa yapılan restorasyon çalışmasının işlevini yitirmesi nedeni ile 2019 yılında tekrar yapılan restorasyon ve konservasyon çalışmasının tekniklerini, sonuçlarını, farklılık ve benzerliklerini incelemiştir.

Brandonisio vd. (2020) yaptıkları çalışma da geçmişte kullanılan yığma payandalı kemerlerin, yerçekimi yüklerinden kaynaklanan düşey yüklerin aktarılması için tasarlandığını ifade etmişlerdir. Bu yapıların tasarımında, genellikle deprem hareketlerinden kaynaklanan yatay hareketlerin dikkate alınmadığını eklemiştir. Çalışmalarında, sismik hareketlerin neden olduğu yatay hareketlerin dairesel bir şekle

ve farklı açılara sahip payandalı kâgir kemerlerin taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Çelik (2020) yaptığı çalışmada kubbelerde onarım ve güçlendirme yöntemleri olarak kullanılan mevcut uygulamaları incelemiş, kubbelerde onarım ve güçlendirme yöntemi olarak farklı malzemeler kullanmıştır.

Maraş ve Köse (2021) yaptıkları çalışmada, GGP kompozitlerinin tarihi yığma yapılarda güçlendirme yöntemi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla altı farklı tarihi yığma taş numunesini düşey ve diyagonal yükleme sistemleri altında test etmişlerdir. Geopolimer kompozitlerin, inşaat sektöründe kullanılan Fiberglas Takviyeli Plastik (FRP) çubuklara veya fiber malzemelere alternatif olarak kullanıldığını ifade etmişlerdir. GGP ile harici olarak güçlendirilmiş tarihi yığma panellerin, daha yüksek mukavemet, süneklik ve enerji emme kapasitesi gösterdiğini ifade etmişlerdir. GGP ile yük taşıma kapasitesi tekrar kazanıldığını, Alkali ile aktive olan geopolimer kompozitlerle güçlendirilmiş yığma taş panellerinin, yeşil binalar için potansiyel bir alternatif çözüm olabileceğini, yapısal performansı büyük ölçüde iyileştirmek ve sürdürülebilir yapılar için uygun ve güvenilir bir çözüm olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Moosavi ve Ziyaeifar (2020) yaptıkları çalışmada yığma köprülerin, yer hareketine karşı hassas yapı sistemler olduğunu ve bu tür olaylarda hizmet ömürlerinin ayrıntılı olarak incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, rijit blokların sallanma hareketine dayalı yığma köprülerin dinamik analizi için basitleştirilmiş bir model önermişlerdir. Önerilen bu model, hem yatay hem de dikey sismik etkilere maruz kalan tarihi bir yığma köprünün sismik performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu model kullanılarak, bu köprüler üzerinde doğrusal olmayan zaman integrasyon analizinin kolaylıkla ve kısa sürede yapılabildiğini öne sürmüşlerdir.

Tanrıverdi vd. (2020) yaptıkları çalışmada metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin, yığma taş blokların davranışlarına etkisini araştırmışlardır.

Saygılı ve Lemos (2021) Türkiye'nin Kuzeydoğu ile Kuzeybatısında yer alan ve kültürel miras olarak ilan edilen iki tarihi taş yığma köprünün sismik davranışını sonlu ve ayrık eleman yaklaşımları ile araştırmışlardır. İki köprünün yapısal tepkisini, 2018

Türk Bina Deprem Yönetmeliğinde verilen yer hareketi seviyesi ile uyumlu olarak beklenen sismik uyarılara karşı kırılgenliklerini değerlendirmek için yapay ve gerçek yer hareketleri altında analizler yapmışlardır. Modeller, dinamik etkilerin ürettiği aşırı gerilmeler nedeniyle Kazan Köprüsü'nün bir miktar hasar göreceğini, ancak sunulan tüm durumların sonuçlarına göre köprünün uygulanan sismik hareketlere karşı dayanma kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Şakalak (2021) yaptığı çalışmada Konya'da bulunan Tarihi Şeyh Sadreddin Konevi Camisini SAP 2000 programında sonlu elemanlar modeli ile değişik standartlara göre incelemiştir.

Yurdakul vd. (2021) yaptıkları çalışmada, 12. yüzyılda inşa edilmiş, boyuna konik geometriye sahip, daire, sekizgen ve kare kesitlere sahip 29 m yüksekliğindeki kâgir bir minarenin deprem performansı incelenmişlerdir. Tarihi minarede kullanılan taşın mekanik özelliklerini belirlemek için öncelikle deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmaya göre, deprem nedeniyle oluşan çekme gerilmelerinin tarihi yığma taşın sınır çekme gerilmesini aşması nedeniyle bazı hasarlara neden olabileceğini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçları, farklı tarihi yapılar için yapılan literatür sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Tarihi minarenin üç boyutlu Sonlu Eleman Modelini, SAP2000 programında oluşturmuşlardır.

Fırat vd. (2022) yaptıkları çalışmada hasar görmüş kubbe yapı formlarını kenet bağlantı elemanları kullanılarak güçlendirmiş ve düşey yük altında deneysel olarak incelenmişlerdir.

Fırat vd. (2022) yaptıkları çalışmada Elazığ ili Sivrice ilçesi yakınlarında meydana gelen depremde, depremin merkez üssüne yaklaşık 64 km uzaklıkta bulunan Malatya şehir merkezindeki Hacı Yusuf Taş camisinin depremden etkilendiğini ve ana kubbesinin ciddi hasar aldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada deprem ile ilgili bilgiler verildikten sonra camide meydana gelen hasarları yorumlamışlardır. Yaptıkları analizler ve sonlu eleman modellemelerine göre yapının ana duvarına yanal rijitliği az olan payanda sisteminin yapılması gerektiğini önermişlerdir.

1.1.2. Sütun ve sütun başlıklarının incelendiği çalışmalar

Ünay (2002) çalışmasında ana taşıyıcı sütunlarda çatlak oluşumu, yapının stabilitesini bozarak yıkılmasına sebep olabileceğinden, bu tür elemanlarda kesitin eğilme eksenine dik doğrultudaki boyutunun üçte birinden fazla bir bölümde çekme gerilmesi oluşmayacak şekilde çok büyük kesit boyutlarına ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

Aiello vd. (2005) yaptıkları çalışmada 200 mm çapında ve 600 mm yüksekliğinde taş sütunlar oluşturmuşlar ve farklı güçlendirme yöntemleri uygulamışlardır. Deney sonuçlarına göre FRP ile güçlendirmeden sonra mukavemette artış görüldüğünü, sütunun tamamına uygulanan FRP uygulamasının sütuna kısım kısım uygulanan FRP uygulamasından daha etkili olduğunu söylemişlerdir. FRP uygulamasının sütunun mekanik özelliklerini üzerindeki etkilerinden bahsetmişlerdir.

Krevaikas ve Triantafillou (2005) yaptıkları çalışmada 42 adet yığma kolon numunesini harman tuğlası ile ördükten sonra tek eksenli basınç testleri yapmışlardır. Deneylerde numunelere eksenel yükleme uygulanmış ve numunelerin hepsinde göçme durumuyla birlikte gerilme şekil-değiştirme eğrisinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Duvar numunelerine yapılan FRP uygulamasına göre duvar numunelerinin eksenel yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Epoksi reçinesi kullanılarak tüm duvar yüzeyine FRP uygulaması yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre FRP uygulaması yapılan duvarın, FRP sargılı beton gibi davrandığını tespit etmişlerdir. FRP malzemesi ile güçlendirilen tuğla duvarın dayanımında ve yük taşıma kapasitelerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Nurchi ve Valdes (2005) çalışmalarında farklı FRP yöntemleriyle taş sütun güçlendirmişlerdir. Yaptıkları deney sonuçlarına göre çimento esaslı sargının hasarsız kolonların mukavemetini artırdığını, çimentolu kompozit ile güçlendirilen kolonların FRP ile güçlendirilmiş kolonlara kıyasla daha sünek bir davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Güçlendirme sisteminin güvenilirliğini değerlendirmek için daha geniş bir numune seti üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Aiello vd. (2007) yaptıkları çalışmada FRP ile sarılı kil ve kireç taşından oluşan duvarlar üzerinde çalışma yapmıştır. Çekirdeği dolu ve boş olacak şekilde ve 10 mm harç boşluğu olacak şekilde taşlar dizip FRP uygulaması yapmışlardır. Sonuç olarak

ortalama mukavemet artışı, kil sütunlar için yaklaşık % 43, kireçtaşı sütunları için yaklaşık % 73 olduğunu söylemişlerdir. İki sütun arasındaki mukavemet artış farkının da sütunu oluşturan taşların mekanik özelliklerinin farklılığından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Corradi vd. (2007) yaptığı çalışmada; tuğla duvarların CRFP malzemesiyle sarılması üzerine yaptığı çalışmada güçlendirilmemiş sütunlarla güçlendirilmiş sütunlar arasında mukavemet, sertlik ve süneklilik gibi özelliklerde büyük artışlar olduğunu belirtmişlerdir.

Sesigür vd. (2007) yaptığı çalışmada; tek başına duran yığma yapıların veya sütunların ön gerilme verilerek güçlendirilmesi de mümkün olmakla birlikte uygulamanın kolay olmadığını söylemiştir. Sütunlara çemberleme uygulamasıyla dıştan uygulanan ön gerilme yönteminin taşıyıcı yapı elemanının güvenliğini arttırdığından ve geçmişte de kesme çatlağı bulunan sütunların bu şekilde onarıldığından bahsetmiştir.

Dabanlı (2008) sütunların granit veya mermer gibi tek bir elemandan oluştuğu durumlarda, sütunlar çubuk (frame) eleman olarak modellenebileceğini, fakat çubuk elemanlarla katı ve kabuk elemanların bağlandığı düğüm noktalarında gerilme yığılmaları meydana getirdiğini söylemiştir. Bu sebeple uygun bir gerilme dağılımı elde edilmesinin zor olduğunu çubuk eleman yerine katı elemanların kullanılmasının daha düzenli bir gerilme dağılımı elde edilebileceğinden bahsetmiştir.

Aiello vd. (2009) yaptıkları çalışmada numunelerinde cam lifli polimer malzemeler kullanmışlardır. Çalışmada; lifli polimer malzemenin uygulandığı kolon geometrisi, katman sayısı, yığma blokların cinsi ve kesit oranı gibi değişkenlerin etkisini araştırmışlardır. Numunelere yapılan güçlendirme uygulamalarında eksenel şekil değiştirmede ve dayanımda önemli bir artışın olduğunu belirtmişlerdir.

Balsamo vd. (2009) çalışmalarında FRP uygulamasının epoksi reçinesiyle birlikte uygulanmasında alt tabakaya uygun bir astar işlemi yapılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Çimento esaslı matrisle bağlanmış liflerin kullanımına dayalı yenilikçi sistemlerin yapısal ve mimari açıdan daha etkili olabileceğinden bahsetmişlerdir. Cam ve bazalt FRP uygulamaları yaparak basınç dayanımlarını karşılaştırmışlardır.

Önlü (2010) yaptığı çalışmada Yerebatan Sarnıcı'nın taşıyıcı elemanlarının analizi yapmıştır. Yerebatan Sarnıcı'nın taşıyıcı elemanlarını oluşturan sütun gövdesi, sütun başlığı ve sütun kaidesinin tipolojik analizlerini yapmıştır. Yerebatan Sarnıcı'nın yapım süreciyle ilgili araştırmalar yapmıştır. Sarnıçta sütun başlıklarının Korinth düzeninde bulunduğunu belirtmiştir.

Amman (2012) yaptığı çalışmada sütun başlığı gibi mimari bileşenlerin çatlamasının kötü işçilikten kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Orbeyi (2012) yaptığı çalışmada taşıyıcı sistem elemanlarından sütunlar ve sütun başlıkları, benzer örneklerin bulunduğu Süleymaniye Camisi, Kara Ahmet Paşa Camisi ve Selimiye Camisi revaklarında ele almıştır. Strüktürün sütun başlıklarının biçimlenmesindeki etkisini analitik çalışmalar ile incelemiş ve sütunların strüktürel olarak benzer sonuç gösterdiğini belirtmiştir.

Girgin (2014) yaptığı çalışmada sütun başlıklarının tipolojik dağılımını incelemiştir. Sütun başlıklarının coğrafi dağılımı ve tespit edildikleri alanlarla ilişkisini değerlendirmiştir.

Tetik (2015) yaptığı çalışmada çelik elemanların eklenmesiyle de sütunların güçlendirileceğini söylemiştir. Çelik elemanların takviyesinin çekme gerilemelerine karşı yapılan bir çözüm olduğunu belirtmiştir. Yüze yapıştırmanın pek tercih edilmediğini bunun yerine yapı elemanını tamamen çevreleyen iki ucu kenetli çemberlerin daha çok tercih edildiğini belirtmiştir.

Alotaibi ve Galal (2017) yaptıkları çalışmada iki tuğla kalınlığında beş tuğla yüksekliğinde 19 adet prizma şeklinde kolon inşa etmişlerdir. Kolonların boyutları 185x185 mm kesitinde ve 470 mm yüksekliğindedir. Hazırlanan numunelere köşe yarıçapları 10 mm ve 30 mm olacak şekilde ovallik verilmiştir. Yüzeyleri harçla düzeltilen kolonlara epoksi ve CFRP uygulaması yapıldıktan sonra basınç deneyleri yapılmıştır. Deneylere göre, CFRP güçlendirmesi yapılan numuneler ile güçlendirme yapılmayan numuneler arasında eksenel gerilmenin arttığını, köşesi 30 mm olan oval numunelerin, köşesi 10 mm olan oval numunelere göre eksenel gerilmesinin daha yüksek olduğunu söylemiştir.

Aşık (2018) yaptığı çalışmada Konya ilindeki Zenburi mescidini incelemiştir. Yapının taşıyıcı sistem durumunu, meydana gelen hasarların tespitini, kullanılan malzemenin özellikleri değerlendirerek yapılabilecek onarım ve güçlendirme yöntemlerini söylemiştir. Sütunlarda ve ana taşıyıcı ayaklarda meydana gelebilecek kırılma, çatlak gibi durumların yapının stabilitesini bozabileceğini veya tamamen yıkılmasına neden olabileceğini belirtmiştir.

Güven ve Fırat (2022) yaptıkları çalışmada tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının dayanımlarında sıcak, nem, malzeme kaybı, doğal afetler gibi nedenlerden dolayı azalmalar görülebildiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında tarihi yapıların sütunlarında meydana gelen hasar kaynaklarını araştırmışlardır. Yanal ve düşey yüklemelerin etkisinin, sıcaklık değişiminin sütunlarda çatlaklar meydana getirebileceğini, nemin sütunlarda tuzlanma meydana getirebileceğini, deprem ve toprak kaymasının sütunlarda çatlamlar ve akstan kaymalar meydana getirebileceğini belirtmişlerdir.

Güven ve Fırat (2022) yaptıkları çalışmada tarihi yapıların hasarlı sütunlarının güçlendirilme yöntemlerini araştırmışlardır. Hasar almış tarihinin yapının gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için taşıyıcı elemanın onarılması ve güçlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Sütunlarda, düşey ve yanal yüklemelerden, zemin hareketinden, deprem etkisinden, sıcaklık değişiminden dolayı hasarlar meydana gelebileceğini söylemişlerdir. Hasarlı sütunların güçlendirilmesi için, FRP yapıştırma, horasan harcı ve epoksi reçinesi yöntemleri ile ilgili bilgiler vermişlerdir. Bu güçlendirme yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken noktaları belirtmişlerdir.

1.1.3. Tomarza taşının incelendiği çalışmalar

Duran (2009) yaptığı çalışmasında jeolojik açıdan Erciyes volkanizmasının oluşumunu detaylı bir şekilde araştırmış, tüfün mekanik, fiziksel ve petrografik özelliklerini ortaya koyarak yapıtaşı ve kaplama taşı olarak kullanılabilme durumunu araştırmıştır.

Kaygısız (2010) yaptığı çalışmada Kayseri ve çevresinde yapıtaşı olarak kullanılan bazalt ve tüf kayalarının fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırdıktan sonra yapı malzemesi olarak Kayseri taşının TSE standartlarına uygun olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (2014) yaptığı çalışmada kare ve dikdörtgen kesitli olmak üzere toplam 20 adet yığma kolon üretmiştir. Kolonlarda kullanılan harman kil tuğlalarının mekanik özellikleri özel karışım oranlarına sahip düşük dayanımlı harç karışımı kullanmıştır. Kolonların dış yüzeyleri bazalt lifli sıvalar yardımıyla güçlendirmiştir. Üretilen kolonların bir bölümüne güçlendirme işlemi uygulamayarak referans numunesi olarak kabul etmiş, bir kısmına sadece özel karışıma sahip harç ve tarihi harca benzeştirilmiş harç ile uygulama yapmıştır. Kalan numunelere ise bazalt tekstil donatılı sıva uygulaması yapmıştır. Deney sonuçlarına göre, dikdörtgen kesitli numuneler ile kare kesitli numuneler üzerindeki basınç etkileri karşılaştırıldığında kare kesitli numuneler üzerindeki basınç etkisinin daha iyi olduğunu söylemiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın birincil amacı tarihi yapılarda bulunan taş sütun başlıkları için farklı güçlendirme yöntemlerinin işlevselliği, değişik modeller üzerinde deneysel olarak incelenmesidir. Bu kapsamda sütun başlıklarında meydana gelen hasarlar ve bu hasarların kaynakları incelenmiştir. Tarihi yapılarda hasara uğramış sütun başlığı örnekleri Şekil 1.5'te verilmiştir. Bu hasarlar için ne tip güçlendirme yöntemleri kullanılabileceği irdelenmiş ve farklı tip güçlendirme yöntemleri için bir takım modeller dikkate alınmıştır.



(a) Yerebatan Sarnıcı, İstanbul (Önlü, 2010)



(b) Yerebatan Sarnıcı, İstanbul (Önlü, 2010)

Şekil 1.5. Tarihi yapılarda hasara uğramış sütun başlığı örnekleri.



(c) Surp Asdvadzadzin Kilisesi, Sivas

Şekil 1.5 (devam). Tarihi yapılarda hasara uğramış sütun başlığı örnekleri.

Her bir model için üç adet olmak üzere toplamda kırk iki adet aynı özelliklere sahip taş numunesi taş ocağında belirlenen boyutlarda üretilmiştir. Bu numunelerden üç tanesi referans numune olarak göz önüne alınmış, diğer numuneler ise güçlendirme yöntemlerinin uygulanacağı farklı modellerin numuneleri olarak belirlenmiştir. Toplamda on üç adet model dikkate alınmış ve her model için üç adet numune deneye tabi tutulmuştur. Genel anlamda güçlendirme yöntemi olarak farklı FRP şerit uygulamaları, değişik adetlerde çelik çubuğa sütun başlığı numunesi içerisinde ard gerilme verilmesi ve değişik metal çemberleme örnekleri kullanılmıştır.

FRP şerit uygulamasında taşın orta kısmından ve alt üst kenarlarından uygulanan güçlendirme yönteminde taşın taşıma kapasitesindeki değişim sorgulanmıştır. Daha sonra FRP şerit uygulamasındaki şerit genişliği iki kat artırılarak FRP şerit genişliğinin etkisinin ne düzeyde olduğu araştırılmıştır. Bilindiği üzere bazı sütun başlıklarında oyma, işleme, süsleme ve heykel gibi sanatsal nedenlerle FRP şeritlerin yapıştırılması veya metal çemberleme yapılması mümkün olamamaktadır. Bu nedenle bu uygulamalara alternatif olarak Gijon olarak adlandırılan çelik çubukların sütun başlığının içerisinden geçirilerek sütun başlığına bir ard gerilme verilmesi sonucu taşıma kapasitesinde bir artış olup olmayacağı incelenmiştir. Sütun başlığı içerisinden

geçen gijonların adetleri artırılarak, bu uygulamaların sütun başlığı taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Günümüzde güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan metal çemberleme uygulamasında farklı et kalınlığındaki metal çemberlerin sütun başlıklarına sabitlenmesiyle, sütun başlıklarında meydana gelebilecek taşıma gücü değişimleri incelenmiştir. İlaveten metal çemberlemenin sütun başlığının alt ve üst kısımlarına yapılmasının sütun başlıklarının taşıma gücüne olan etkileri sorgulanmıştır. Bir diğer madde, metal çemberleme yapılırken metal çemberlerin etkilediği köşelerde bir gerilme yığılmasının olmaması için taşın bu bölgeleri yontularak metal çember köşelerine daha uygun hale getirilmiş ve taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan Tomarza taşının Elastisite modülü ve Poisson oranını hesaplanarak taşa meydana gelen şekil değişimi incelenmiştir. Schmidt çekici deneyi yardımıyla taşın sertlik sınıfı araştırılmıştır. Su emme ve boşluk tayini deneyi ile taşın ortalama kütlece su emme yüzdesi ve ortalama hacimce su emme yüzdesi belirlemiştir. Birim ağırlık tayini deneyi ile Tomarza taşının ortalama birim ağırlığı hesaplanmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı tayini deneyi ile Tomarza taşının ortalama basınç dayanımı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı tayini deneyi ile Tomarza taşına tek noktadan yükleme yapılarak ortalama eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Aşınma direnci tayini deneyi ile Tomarza taşında meydana gelen ortalama kütle kaybı, ortalama hacim kaybı ve ortalama aşınma direnci bulunmuştur.

2. TARİHİ YAPILARDAKİ SÜTUN BAŞLIKLARI

2.1. Sütunlar

Tarihi yapılar düzlemsel ve eğrisel elemanlar olarak sınıflandırılabilir. Düzlemsel elemanlara sütun, sütun başlığı, duvar ve payanda örnek verilirken eğrisel elemanlara kemer, tonoz, kubbe örnek verilebilir.

Sütunlar geçmişten günümüze kadar yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmaktadırlar. Antik medeniyetler sütunu, yapıyı sağlamlaştırmak için kullanılırken Antik Yunan ve Roma yapıyı güzelleştirmek için bir ekleme olarak kullanmaya başlamıştır. Sütunlar tarih boyunca Türk, Mısır, Yunan, Roma, İran uygarlıkları ile Ortaçağ Avrupası'nda kullanılmıştır (Şekil 2.1).



(a) İzmir Artemis Tapınağı



(b) Atina Eretheion Tapınağı (URL-4)



(c) Malatya Yeni Cami

Şekil 2.1. Tarihi yapılarda sütun örnekleri.

Sütunlar tek parça malzemeden veya birkaç blok taşın üst üste dizilmesi ile oluşan yapıyı ayakta tutmak için kullanılan düşey taşıyıcı elemanlardır (Şekil 2.2). Genellikle taş, ahşap, mermer gibi malzemelerden yapılabilirler, yukarıdan aşağıya doğru sütun

başığ, sütun gövdesi ve sütun kaidesi olmak üzere üç kısımdan oluşurlar. Sütunların taşıdığı kemer ya da kiriş yükünü toplamak için sütun başığı, yükü altındaki yapı elemanına aktarmak için sütun kaidesi yapılır.



(a) Mora Apollo Tapınağı (URL-5)



(b) Kayseri Kurşunlu Cami

Şekil 2.2. Tarihi yapılarda sütun örnekleri.

Tarihi yapıların çoğunda kullanılan metal bağlantı düşeyde ve yatayda sürekliliği sağlamak için kullanılmıştır. Üst üste koyulan taşları birbirine bağlamak için zıvana demiri, yataydaki taşları birbirine bağlamak için ise kenet demiri kullanılmaktadır. Zıvana demirlerinin görevi alttaki ve üstteki taşlar arasında çekme elemanı görevi yaparak sürekliliği sağlamaktır. Farklı biçimde ve boyutlarda bulunabilen zıvanalar genelde keskin köşeli prizmatik olabileceği gibi uçları şişkin ortası ince de olabilmektedir. Zıvanaları tarihi yapılarda, sütun ve sütun başlıkların bağlanmasında, minareler ve basamak bloklarının bağlanmasında ve kemer taşları arasındaki bağlantıyı sağlamada kullanılabilirler. Sütunları birbirine bağlarken taşlardaki oyuklara öncelikle zıvana demiri yerleştirilir ve daha sonra zıvana demirinin etrafı kurşunla doldurulur. (Şekil 2.3).



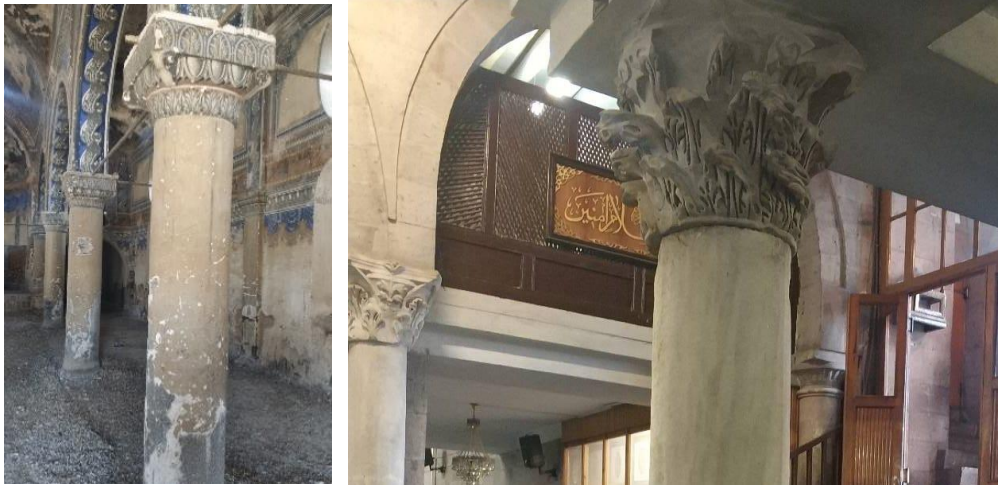
Şekil 2.3. Metal Bağlantı Uygulamaları (Demirtaş, 2006).



Şekil 2.3 (devam). Metal Bağlantı Uygulamaları (Demirtaş, 2006).

2.1.1. Sütun başlığı

Üzerindeki yapı yükünü, düşey taşıyıcı eleman olan sütun gövdesine aktaran yapı elemanına sütun başlığı denilmektedir (Şekil 2.4). Tek parça halinde bulunan taş bloğu, öncelikle kabaca boyutlandırılır, daha sonra istenilen şeklin verilebilmesi için çeşitli aşamalardan geçerek sütun başlıkları hazırlanır.



(a) Kayseri Tomarza Kilise

(b) Kayseri Camikebir

Şekil 2.4. Tarihi Yapılarda Sütun Başlığı Örnekleri.

Birçok tarihi yapıda kesik piramit şeklinde sütun başlıkları sıklıkla görülmektedir. Bunun yanın da dikdörtgenler prizması, silindir, kesik koni şeklinde sütun başlıklarına da rastlanılmaktadır. Genelde üzerine gelen yükü sütunlara aktaran taşıyıcı sistem elemanları olarak kullanılan sütun başlıkları bazı uygarlıklar da yapısal dayanım özelliklerinden ziyade oyma, işleme, süsleme, heykel gibi sanat eserleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda sütun başlıkları, diğer uygarlıklara nazaran daha fazla Roma ve Yunan döneminin en önemli mimari öğelerini temsil etmiştir. Sütun başlıkları önce tahta ve taştan yapılmış daha sonra ise mermerden yapılmaya başlamıştır. Sanatsal değeri ön planda olan sütun başlıklarına genellikle tarihi yapılarda, tapınaklarda, sarnıçlarda rastlanılmaktadır ve çoğunlukla bu yerlerde Şekil 2.5’de örnekleri verilen Dor, İon ve Korinth olmak üzere üç tip sütun başlığının kullanıldığı görülmektedir (Girgin, 2014).

Dor Sütun Başlığı; Antik mimarlıkta kullanılan başlık türüdür. Milattan önce 6. yy’ da kullanılmaya başlayan bu sütun başlıkları daha çok anıtsal yapılarda görülmektedir. Dor sütun başlığı ekinus ve abaküsten oluşur. Ekinus görünüş olarak yastığa benzemektedir. İon Sütun Başlığı; Anadolu’nun güney ve batı kıyılarında ortaya çıkan İon sütun başlıklarına milattan önce 6. yy’ da rastlanılmaktadır. Genelde iç mekanlarda kullanılan İon sütun başlıkları, abaküs, volüt ve volüt gözünden meydana gelmektedir. Korinth Sütun Başlığı; Milattan önce 5. yy’ da kullanılmaya başlayan Korinth sütun başlığı yukarıya doğru genişleyen bir şekil almaktadır. Başlık acanthus yaprakları, volitlerden ve abaküsten oluşur (Girgin, 2014).



(a) Dor sütun başlığının bölümleri
Şekil 2.5. Farklı sütun başlığı örnekleri (URL-6).



(b) İon sütun başlığının bölümleri



(c) Korinth sütun başlığının bölümleri

Şekil 2.5 (devam). Farklı sütun başlığı örnekleri (URL-6).

2.1.2. Sütun gövdesi

Sütun başlığı ile sütun kaidesi arasında yer alan kısımdır. Sütun gövdesi tek parçadan veya üst üste dizilen malzemelerden meydana gelebilir. Çok parçalı olan sütunlarda her bir parçaya tambur adı verilmektedir (Şekil 2.6).



(a) Kayseri Kurşunlu Cami



(b) Kayseri Lisesi

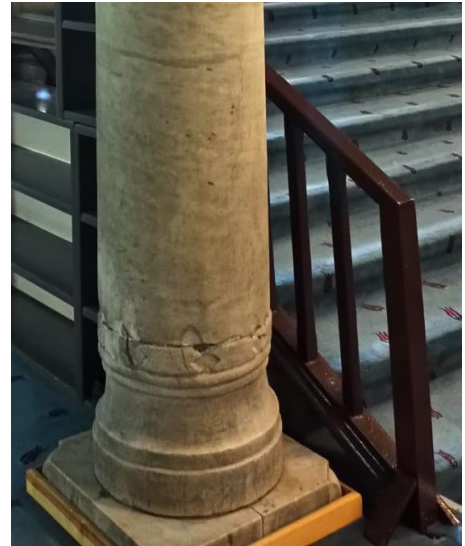
Şekil 2.6. Tarihi Yapılarda Sütun Gövdesi Örnekleri.

2.1.3. Sütun kaidesi

Sütun gövdesinden gelen yükün geniş bir yüzeye yayılarak zemine aktarılmasını sağlayan ve sütun gövdesinin üzerine oturduğu kısma sütun kaidesi denir (Şekil 2.7). Tek parça halindeki bulunan taş bloğu, öncelikle kabaca boyutlandırılır, daha sonra istenilen şeklin verilebilmesi için çeşitli aşamalardan geçerek sütun kaidesi hazırlanır.



(a) Kayseri Bal döktü Cami



(b) Kayseri Camikebir

Şekil 2.7. Tarihi Yapılarda Sütun Kaidesi Örnekleri.

2.2. Sütun Başlıklarında Görülen Hasar Türleri

Tarihi yapılar zaman içerisinde çevresel etmenlere, kullanıcı etkisine ve deformasyona maruz kalabilir. Bu tür yapılar; yapıldığı dönemin mimari ve mühendislik tecrübelerini, malzeme bilgilerini ve kültürel izlerini günümüze kadar aktaran taşınmaz kültür varlıkları oldukları için en iyi şekilde korunması gerekmektedir. Korunmadığı durumlarda ise yapıda zamanla değişime uğrama, hatta yok olma tehlikesi söz konusu olabilir.

Tarihi yapıların ayakta kalmasını etkileyebilecek birçok faktör vardır. Bunlara yapıda kullanılan malzemenin özelliklerini yitirmesi (aşınma, deformasyon), insan kaynaklı tahribatlar, doğal afetler gibi örnekler verilebilir. Bu şekilde meydana gelen hasarlar yapının kullanılmasını engelleyebilir veya yıkılmasına sebep olabilir. Tarihi yapıların gelecekte de ayakta kalabilmesi için yapının taşıyıcı sisteminin onarılması ve güçlendirilmesi çalışmalarında yapıya etkimesi beklenen deprem yükü, rüzgâr yüküne karşı yapının göstereceği performans da dikkate alınmalıdır.

Hasar görmüş tarihi yapılarda onarım ve güçlendirme yapılırken yapının taşıyıcı sistemine, meydana gelmiş hasarların doğru şekilde tespitine, koruma projelerinin ve güçlendirme projelerinin özenli bir şekilde hazırlanmasına, yapının özgünlüğüne aykırı müdahaleler yapılmamasına dikkat edilmelidir. Onarım ve güçlendirme çalışmalarında yapının taşıyıcı sistem kapasitesinin artırılmasının yanında yapı orijinalliğinin bozulmaması ve yapıya ilave yük getirilmemesi hedeflenir.

2.2.1. Sıcaklık ve nem etkisinden dolayı oluşan hasarlar

Tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinde sıcaklık değişiminden dolayı olumsuz durumlar meydana gelebilmektedir. Tarihi yapılarda kullanılan taşlar, sıcaklık değişimiyle fiziksel değişim gösterebilmektedir (Toydemir vd., 2000). Tarihi yapılarda kullanılan gözenekli taşlara kar ve yağmur suları dolduktan sonra hava sıcaklığı 0°C'nin altına düşerse, taşın iç yapısında hacimsel genişleme meydana gelebilir ve bu durum taşın mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Ayrıca sıcaklığın değişmesiyle birlikte su emmesinde ve donma çözünmesinde farklılıklar görülebilmektedir.

Yapı taşıyıcı sistemi üzerinde sıcaklık farkından dolayı görülen fiziksel değişimlerin (donma, çözünme, genleşme vb.) sıklığı yapıda meydana gelen hasar oluşum düzeyini

belirlemede önemli bir etkidir. Tarihi yapıların sütun başlıklarında sıcaklık değişimlerine bağlı donma etkisi, çatlak hasarları ve birçok olumsuz etki görülmektedir. Su, sütun başlıklarındaki çatlakların içerisinde ilerler ve hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğünde donarak hacmi artar, bu hacim artışı sütun başlıklarında, çatlakların büyümesine, mukavemetin azalmasına ve parça kopmasına neden olabilir.

Uygun çözümlerin uygulanmadığı su ve nem, yapılarda bozulmalar meydana getirmektedir. Tarihi yapılarda su ve nemin taşıyıcı sistem üzerindeki etkisi, nemin mevcut durumu ve hasarların oluşum sürecinin iyi takip edilmesi gerekmektedir. Dış ortam hava koşullarına bağlı olarak veya zemin suyunun emilmesiyle taşın içine nüfuz eden nem, taşın bünyesindeki kılcal çatlaklardan veya sonradan meydana gelen boşluklardan dolayı çok daha geniş bir alanda etkisini gösterir. Nem, malzeme yapısının bozulmasına, parça kopmasına, mukavemetinin azalmasına ve metal malzemelerde korozyon oluşumuna yol açabilir. Nem etkisiyle sütun başlıklarının yüzeyinde meydana gelen tuzlanma da taşın üzerinde boşluk oluşmasına sebep olabilir. Yağmur ve kar suyu sütun başlıklarında oluşan bu boşlukların içerisine girebilir ve zamanla çatlakların büyümesine ve mukavemet azalmasına neden olabilir.

2.2.2. Zeminden dolayı oluşan hasarlar

Tarihi yapıların inşasından hemen sonra yapıda zemin problemleri ortaya çıkabilir. Bununla beraber, yapı ve çevresinde aniden ortaya çıkan herhangi bir değişim ya da müdahale yoksa uzun zaman ayakta kalan yapının zemin ve temelinde genelde sonradan oturma sorunları görülmez. (Sesigür vd., 2007). Tarihi yapılarda zeminden dolayı oluşan hasarların olması durumunda ise bu hasarların nedenleri araştırılmalı ve hasar düzeyleri belirlenmelidir. Zemin durumunu tespit edebilmek için muayene çukurları ve sondaj çukurları açılmalıdır. Açılan çukurlardan numuneler alınıp analizleri yapılmalıdır.

Zeminde iki şekilde oturma görülmektedir. Ani şekilde oluşan oturmalara elastik oturma, uzun döneme yayılan oturmalara konsolidasyon oturması denilmektedir. Bu iki oturma türünün birbirinden ayrı hareket etmesiyle veya birlikte hareket etmesiyle yapıda çatlaklar, duvardan ayrışmalar ve parça kopması gibi hasarlar meydana gelebilir. Zemin oturmasının görüldüğü yapılarda çatlakların oluşması istenmeyecek bir durumdur. Yapının altında bulunan zeminin taşıma gücünün düşük olması veya

homojen olmaması zamanla yapıda hasarlar oluşmasına neden olabilir. Temelin altında bulunan zeminin homojen olmadığı durumlarda yapının yükü toprağa eşit olarak dağılamaz ve bunun sonucunda da yapıda çatlaklar meydana gelebilir. Yapının yakınlarına yapılan yeni yerler, yapıya bodrum yapmak için zemin su seviyesinin düşürülmesi, trafik yoğunluğuna bağlı olarak meydana gelen titreşimler zeminin yük dengesini etkileyerek tarihi yapıda çatlaklara neden olabilmektedir. Yapıda temel oturması söz konusu ise taşıyıcı elemanlarda çatlaklar, malzemelerde ezilmeler ve kayıplar oluşabilmektedir.

Yapıda meydana gelen oturmalar üniform (düzgün) ve düzgün olmayan oturmalar olarak iki gruba ayrılırlar. Üniform oturmalar yapı düzlemi ve temelin birbirine paralel olarak hareket ettiği oturma şeklidir. Yapıda homojen bir oturma söz konusudur. Düzgün olmayan oturmada yapı düzlemi ile temel bir bire paralel şekilde hareket etmemektedir. Bu oturma türünde yapıda aks kayması, tek taraflı oturma, temelde kısmi oturma gibi durumlar meydana gelerek büyük hasarlar oluşturabilmektedir. Tarihi yapıların sütun başlıklarında zemin oturmasından kaynaklı çatlaklar, eksen kayması, parça kopması görülebilmektedir.

2.2.3. Yapıda bulunan eleman kayıplarına bağlı oluşan hasarlar

Tarihi yapı elemanlarında meydana gelen hasarlar ve kayıplar, taşıyıcı sistemin tamamını negatif yönde etkileyebilir. Sütun, sütun başlığı ve kemerlerde meydana gelecek kayıplar; duvarların ve döşemelerin yıkılmasına, tarihi yapıların taşıyıcı sisteminde ağır hasarlar oluşmasına neden olabilmektedir.

Tarihi yapılara gelen yanal kuvvetleri karşılayabilmek için yapılan gergi çubukları zaman içerisinde korozyona uğramaktadır. Gergi çubukları çoğunlukla dövme demirden yapıldığı için korozyonun fazla olduğu yerlerde tabakalaşmalar gözlemlenmekte, bu tabakalaşmalardan dolayı gergi çubuğu istenilen davranışı gösterememektedir (Tuğrulelçi, 2014). Gergi çubuklarının bulundukları noktalarda burulma, mukavemet azalması, kopma gibi hasarlar meydana gelebilir ve taşıyıcı elemanlar arasında düzensizlik oluşturabilir.

Sütunların ve sütun başlıklarının taşıdığı yükler zaman içerisinde değişebilmektedir. Meydana gelen bu değişiklikler sütun başlıklarında aşırı yüklemekten dolayı

hareketlenmeye veya yük düzensizliğine neden olabilir. Sütunları oluşturan parçaların birbiriyle düşey bağlantısını sağlayan metal millerin (zıvanaların) zamanla korozyona uğrayarak işlevselliğini yitirmesi, sütunlarda yanal şekil değişimini meydana getirir, meydana gelen bu şekil değişimi sütun başlığı ve sütun kaidesinin ana gövdeden sapmasına ve eksenden kaymasına sebep olur.

2.2.4. Malzeme kaybından dolayı oluşan hasarlar

Tarihi yapılarda önemli unsurlardan biriside malzeme seçimi ve seçilen malzemenin doğru şekilde kullanılmasıdır. Malzemenin doğru seçilmesi ve doğru şekilde kullanılması yapının daha uzun süre ayakta kalmasını sağlayacaktır. Malzeme içerisinde herhangi bir yabancı madde bulunması malzemede aşınmaya veya parça kopmasına sebep olabilir. Tarihi yapılardaki taşıyıcı sistemlerin taşıma kabiliyeti ve mukavemeti, çevresel etkilere ve yapım tekniğine bağlı olarak değişebilir. Taşın yapısal olarak dayanıklı olmaması, kolaylıkla ayrışmasına neden olarak malzeme kaybı meydana getirebilir. Ocaktan çıkarılan taşın katmanlarına uygun olarak biçimlendirilmesi de malzeme kaybı için önemli bir etkidir. Taşın üzerindeki katmanlara dikkat edilmez ve cephe kaplamalarında, yer döşemelerinde kullanılırsa zamana bu katmanlar deformasyona uğrar ve ayrışmaya başlar. Tarihi yapılarda çoğunlukla kireç ve horasan harcı bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Harç kaybından dolayı meydana gelen hasarlar taşıyıcı sistem elemanları arasındaki bütünlüğün bozulmasına neden olabilmektedir.

Tarihi yapılarda kullanılan taş malzemeleri birbirleriyle birleştirmek amacıyla kullanılan çivi, kenet, gibi metal malzemeler (demir, çinko gibi), su ve neme karşı korunmadıkları zaman korozyona uğrarlar. Korozyona uğrayan metal malzemelerin hacimleri büyür ve iç gerilmeleri artar. Hacim büyümesiyle meydana gelen iç gerilme duvar, kemer, sütun ve sütun başlığı gibi taşıyıcı elemanlarda çatlaklar oluşmasına neden olabilir.

2.2.5. Sel ve taşkından dolayı oluşan hasarlar

Sel ve taşkın etkisine maruz kalan tarihi yapılar ciddi oranda hasar görebilirler. Yağışın fazla olması yeraltı su seviyesinin yükselmesine ve akarsu debisinin artmasına neden olur. Akarsu debisinin artmasıyla birlikte sel ve taşkın meydana gelebilir. Sel ve taşkın

tarihi yapıların sular altında kalmasına neden olabilir. Yeraltı su seviyesinin yükselmesi yapının temeline etki eden suyun yukarıya doğru yükselerek taşıyıcı sistem elemanlarına zarar vermesine dolayısı ile yapının hasar görmesine yol açabilir.

Tarihi yapıları oluşturan taş malzemesinin suyla temas etmesiyle birlikte su, taşın kılcal çatlaklarına doğru hareket eder ve taş doygun hale gelir. Bu durum bozulmalara, zayıflamalara ve zamanla yapının taşıyıcı sisteminin dayanımında azalmalara neden olur. Şiddetli bir sel veya taşkın olayında suyun taşıyıcı sütunlara uygulayacağı kuvvetle sütunlar akstan kayabilir ve sütun başlıklarından ayrılabilir, bu durumda sütunlar ve sütun başlıkları üzerlerindeki yükü taşıyamayacak duruma gelir ve zamanla yıkılabilir.

2.2.6. Deprem etkisinden dolayı oluşan hasarlar

Tarihi yapılar, taşıyıcı sistem ve malzeme olarak ağır ve büyük yapılardır. Yapının ağır ve büyük olması, yapıda oluşan deprem kuvvetlerinin de büyük olmasına sebep olmaktadır. Simetrik olmayan yapılarda deprem kuvvetiyle burulma etkisi oluşabilmektedir. Deprem anında, oluşan zemin hareketi yapıda yanlara doğru hareket eğilimi gösterirken yapı kendi ağırlığı ile mevcut durumuna dönmeye çalışır. Bundan dolayı yapıda salınım meydana gelir. Salınım sırasında meydana gelen deprem kuvvetleri ve atalet yapıyı iki ucundan çekmeye çalışır.

Yapı taşıyıcı sistemindeki deprem kuvvetine karşı statik davranış ve taşıyıcı elemanların dayanıklılığı yüksek ise yapıda hasar veya çatlama oluşmaz. Ancak taşıyıcı elemanlar ve taşıyıcı sistem arasındaki yük dağılımında düzensizlik mevcut ise yapıda çatlaklar meydana gelir, hatta yapı çökebilir. Deprem meydana gelmesiyle birlikte tarihi yapılarda yatay bir hareketlenme oluşur. Bu yatay hareketlenmenin etkisinden dolayı tarihi yapıların sütunlarında ve sütun başlıklarının da eğilme, çekme ve kesme çatlakları oluşabilir. Meydana gelen çatlaklar zamanla büyüyebilir ve sütun başlıklarının mukavemetinde azalma gösterebilir. Deprem etkisiyle meydana gelen hasar düzeylerine göre yapılar; hasarsız, az hasarlı, orta hasarlı, ağır hasarlı ve yıkılmış yapı olarak sınıflandırılabilir. İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi tarafından önerilen hasar ölçüt sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yığma yapılar için hasar ölçüt çizelgesi.

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklama
0.1 mm'den az	Önemsiz	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur.
0.1 mm ~ 0,3 mm	Önemsiz~az	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur.
0.3 mm ~ 1.0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir.
1.0 mm ~ 2.0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir.
2.0mm ~ 5.0 mm	Orta	Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Yapının kullanımı etkilenir.
5.0mm~ 15.0 mm	Orta ~ Ağır	Pencere ve kapılar sıkışır. Su ve kanal bağlantıları kırılır. Yapı içine su ve soğuk girer. Tuğla duvarlar parçalanır.
15.0mm ~25.0mm	Ağır	Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gereklidir.
25.0mm'den çok	Çok ağır	Yapıda ağır hasar mevcuttur, çok önemli takviye veya yıkım gereklidir.

2.2.7. Toprak kaymasından dolayı oluşan hasarlar

Toprak kayması, zemin, doğal kaya, yapay dolgu ile bunlardan meydana gelmiş döküntülerden ve topraktan oluşan malzemenin yer çekimi etkisiyle, yerlerinden ayrılarak yamaç boyunca aşağı doğru yer değiştirmesidir. Toprak kaymasının meydana gelmesinde; yağış, eğim, arazinin tabiatı gibi faktörlerin etkisi vardır. Toprak kaymasının etkileri çok farklı şekillerde gerçekleşebilir. Örneğin kıyılardaki büyük ölçekli toprak kaymaları tsunamiye neden olabilmektedir.

Eğimli arazilere inşa edilen yerleşim alanlarına yapılan tarihi yapılar toprak kaymasını nedeniyle ciddi hasar alabilirler. Taşıyıcı sistemi zarar gören yapı zamanla dayanımını kaybeder ve yıkılır. Toprak kayması tarihi yapıların sütunlarında aks kaymasına sebep olarak sütun başlıklarının üzerindeki yük dengesinin değiştirir. Değişen düşey yüklemeler, sütun ve sütun başlıklarında, çatlamalara, yıkılmalara, duvarlarda kaymalara, merdiven ve zemin oturmalarına, parça kopmasına sebep olabilir.

2.3. Sütun Başlıklarında Yapılan Onarım ve Güçlendirme

Tarihi yapıların kullanım süresi boyunca ayakta kalmasını olumsuz yönde etkileyen faktörler sütun başlıklarının da hasar görmesine neden olacaktır. Sütun başlıklarında; aşırı yüklemekten, yanal kuvvetlerden ve zeminden dolayı hasarlar meydana gelebilir. Meydana gelen bu hasarlar sütun başlıklarında çatlaklar, yarıklar, aks kayması ve derz boşalmasına neden olabilir. Sütun başlıklarında oluşan bu hasarlara onarım ve güçlendirme yapmak gerekebilir. Genel anlamda, tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde bir takım parametrelere dikkat edilmelidir. Onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılırken dikkat edilecek hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- a) Yapıya uygulanacak onarım ve güçlendirmede en az müdahale ve teknik uygulanmalıdır.
- b) Onarım ve güçlendirme uygulamasında taşıyıcı eleman ile taşıyıcı sistemin bütünü ele alınmalıdır.
- c) Onarım ve güçlendirme uygulamalarında kullanılacak metal elemanlar, sökölüp takılma özelliğinde olmalıdır.
- d) Hasarın oluşum sebebine göre onarım ve güçlendirme yöntemi seçilmelidir.
- e) Deprem sırasında yapıya uygulanan kuvvet, yapının ağırlığıyla doğru orantılı olduğu için yapının üzerindeki yükler mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır.
- f) Yapıdaki pencere ve kapı boşlukları dikkate alınarak, yapının köşelerine yakın olan pencere ve kapı boşluklarının boyutları küçültülmeli veya kapatılmalıdır.
- g) Onarım ve güçlendirme uygulamasında mimari özelliklerin değiştirilmemesi gerekmektedir.
- h) Deprem sırasında meydana gelen yatay yükleri taşıyacak elemanlar yetersiz ise yapıya yeni elemanlar eklenmeli ve taşıma güçleri artırılmalıdır.
- ı) Yapının simetrik olmaması ya da tek katlı bir yapının iki katlı bir yapıya bağlı olması halinde yapı iki ayrı bölüme ayrılmalı ve daha basit iki ayrı yapıya dönüştürülmelidir.

i) Hasarlı yapı onarıldıktan sonra yapının deprem dayanımı önceki durumundan daha iyi olmalıdır.

Tarihi yapıların sütun başlıklarının onarım ve güçlendirmesinde metal çemberleme, FRP, Horasan harcı, Epoksi Reçinesi yöntemleri kullanılmaktadır.

2.3.1. Metal çemberleme yapılarak güçlendirme

Tarihi yapılarda, sütun ve sütun başlığı gibi basınca çalışan tarihi yapı elemanlarının hasarlarının giderilmesi ve dayanımlarının artırılması için metal çemberleme yöntemi kullanılabilir. Tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarında daha iyi bir yapısal performans beklendiğinde metal çemberleme uygulaması kullanılabilecek etkin bir yöntemdir.

Sütunlara ve sütun başlıklarına çemberleme yöntemi ile dıştan ön gerilme verilmesi elemanın güvenliğini arttırabilir (Şekil 2.8). Düşey yüklemelerden dolayı sütun başlıklarında oluşan basınç çatlakları geçmişte çoğu zaman bu şekilde onarılmış olup, günümüzde de onarılmaktadır fakat bu yöntem tarihi yapının doğallığını ve estetiğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.



(a) Edirne Üç Şerefeli Cami (b) İstanbul Fatih Cami

Şekil 2.8. Sütun ve Sütun başlığına uygulanan çemberleme uygulaması.

Metal çemberleme, sütun başlığına gelen yüklerin artmasına karşı dayanımının artırılması veya mevcut ezilme çatlaklarına karşı önlem alma ihtiyacından doğar.

Çemberleme uygulanacak elemanın en kesit şekline bağlı olarak çelik lamalar kullanılabilir. Dairesel sargılama, çemberlemenin meydana getirdiği çekme kuvvetlerinin sütun başlığının yüzeyinde basınç oluşturması esasına dayanır. Eski yapılarda çemberleme işlemi yüksek sıcaklık altında hazırlandıktan sonra yerleştirildiğinden, soğumayla istenen kavrama sağlanırdı fakat günümüzde iki veya daha çok parçalı çemberler cıvatarla sıkıştırılarak istenilen gerginlik sağlanmaktadır.

Metal çemberleme için kullanılan elemanlar çevresel etkilere maruz kaldığından dolayı gerekli önlemler alınmadığı takdirde korozyona uğrayabilirler ve kalıcı şekil değişimleri meydana gelebilir; dolayısıyla tarihi yapıda estetik yönden rahatsız edici bir görüntü oluşturabilirler veya güçlendirilmiş yapı elemanının taşıma kapasitesinde azalmalara neden olabilirler. Sütun ve sütun başlıklarına uygulanan çemberleme işlemi tamamen geri dönüşümü olan bir uygulama olduğu için korozyona uğrayan metal çemberler yenisi ile değiştirilebilir.

2.3.2. FRP uygulanarak güçlendirme

Karbon esaslı lifli polimer malzemeler çevresel koşullara karşı oldukça dirençlidir. Korozyona uğramadıkları, erimedikleri için onarım ve güçlendirme uygulamalarında kullanılabilir. Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde lif takviyeli polimerler son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır. FRP uygulamaları; FRP plakalarla güçlendirme, FRP kumaşlarla güçlendirme, FRP şeritlerle güçlendirme şeklinde olabilmektedir.

FRP malzemesinin hafif olması, bakım maliyetinin düşük olması, estetik olarak kavisli elemanlarla kullanılabilmesi gibi avantajları vardır. FRP malzemesi uygulandığı taşıyıcı sistemin dayanımını artırır. FRP malzemesinin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Yüksek maliyetli olmaları, estetik görüntüye zarar vermeleri ve yangına karşı dayanıksız olmaları bu malzemelerin dezavantajları arasında sayılmaktadır.

2.3.3. Horasan harcı enjeksiyonu ile yapılan güçlendirme

Horasan harcı ile yapılan onarım ve güçlendirmede, yapıya özgün mekanik özelliklerin kazandırılabilmesi için uygun fiziko – kimyasal özellikteki harcın çatlak yüzeyine uygulanması gerekmektedir. Tarihi yapıların taş öğelerinde meydana gelen çatlaklar

0.2 mm'den küçük olması durumunda onarıma ihtiyaç duyulmaz. Çatlağın 0.3 mm'den büyük 3 mm'den küçük olması durumunda ise onarıma ihtiyaç duyulmaktadır (Mahrabel, 2006). 0.3 mm'den büyük olan yapılarda hasarların ve eleman kayıplarının giderilmesi için horasan harcı uygulanabilir. Bu uygulama yapılarda hasarların oluşmasına da engel olabilir. Horasan harcı ile yapının taşıyıcı sistemindeki çatlak yüzeyleri doldurularak dayanımı artırılabilir.

Sütun ve sütun başlıklarında; yapısal çatlaklar, derz boşalmaları, harç kaybı ve ayrışma gibi hasarlar horasan harcı uygulaması ile önlenabilir. Bu uygulamada öncelikle sütun başlığındaki çatlaklar hava jeti ile temizlenir. Daha sonra sütun başlığının yapısına uygun harç hazırlanır ve ardından enjeksiyon yöntemiyle çatlaklar doldurulur.

2.3.4. Epoksi reçinesi ile yapılan güçlendirme

Epoksi, yapıştırma özelliği çok iyi olan sentetik reçinedir. Epoksinin çekme gerilmesi 50-110 kg/cm² arasında değişirken, kopma birim uzaması % 15-50 arasındadır. Epoksinin basınç dayanımı 700-800 kg/cm² 'ye kadar ulaşırken çekme dayanımı 300 kg/cm² kadar olabilmektedir (Tasai ve Akino, 1991). Suya, aside ve alkaliye direnci çok iyidir. Zamanla özellikleri yitirmez. Epoksi reçinesi ile onarım ve güçlendirme yöntemi iki biçimdedir. 0.2-0.3 mm genişliğindeki çatlakların onarımı ve güçlendirilmesi için epoksi enjeksiyon yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem düşük viskozite ve düşük basınç altında yapılmalıdır işlem bittikten sonra uzun süre beklenmelidir. Bu uygulama ile tarihi yapıların sütun başlıklarındaki ince ve kılcal çatlaklar kapatılabilmektedir.

Taşıyıcı elemanda ezilme ve parça kopması gibi durumlar söz konusu ise epoksi harcı uygulaması yapılabilir. Epoksinin içine çok ince malzeme katılarak elde edilen epoksi harcı, hasar görmüş elemana tatbik edilebilir. Epoksi enjeksiyonu ve epoksi harcı uygulaması, tarihi yapıların sütun ve sütun başlıklarında meydana gelen yapısal çatlaklarda, derz boşalmalarında ve parça kopmalarında kullanılan bir yöntemdir.

3. MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada kullanılan doğal taşın mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler Türk Standartlarına uygun olarak Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. Doğal taşın fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için schmidt çekici deneyi, atmosfer basıncında su emme ve boşluk oranı tayini, birim ağırlık tayini, tek eksenli basınç dayanımı tayini, eğilme dayanımı tayini, aşınma direnci tayini deneyleri yapılmıştır. Doğal taşın özellikleri belirlendikten sonra, farklı şekillerde güçlendirme yöntemleri uygulanan taşlara basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.1. Taşın Özellikleri

Tomarza taşı geçmişte tarihi yapıların yapımında kullanıldığı gibi günümüzde de genellikle yapı taşı, kaplama taşı ve restorasyon amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu doğal taş geçmişten günümüze kadar Kayseri ve çevresinde kullanıldığı için, bu bölgenin geleneksel mimari yapısını ve tarihini önemli derecede yansıtmaktadır.

Tomarza taşının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tomarza taşı üzerinde yapılan deneyler.

Deney Adı	Standart	Numune Sayısı	Numune Boyutu (mm)
Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	TS EN 14580	3	100 x 200 (silindir)
Schmidt Çekici Deneyi	TS EN 12504-2	4	100 x 100 x 100
Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini	TS EN 13755	4	100 x 100 x 100
Birim Ağırlık Tayini	TS EN 1936	4	100 x 100 x 100
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 1926	4	100 x 100 x 100
Eğilme Dayanımı Tayini	TS EN 12372	4	50 x 150 x 300
Aşınma Direnci Tayini	TS EN 14157	3	71 x 71 x 71

3.1.1. Elastisite modülü ve Poisson oranının belirlenmesi

Malzemenin elastisite modülünü belirleyebilmek için, basınç yükü altındaki şekil değiştirmesine bakılmaktadır. Elastisite modülü, malzemede birim uzama başına

karşılık gelen gerilme olarak ifade edilebilir. Elastisite modülü 3 farklı yöntemle tanımlanır. Bu yöntemler, başlangıç, sekant ve teğet modülüdür.

Tomarza taşının elastisite modülü 3 numune üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda hesaplanmıştır. 100 mm çapında 200 mm yüksekliğinde silindir şeklinde kesilmiş olan numuneler 200 mm uzunluğundaki elastisite modülü çerçevesine bağlanmıştır (Şekil 3.1). Numunelerin boyunlarındaki deformasyon 2 adet 25 mm kapasiteli deplasman ölçen sensör (LVDT) yardımıyla ölçülmüştür. Deney verilerine göre başlangıç modülü yöntemi kullanılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.



(a) Numunelerin toplu görseli



(b) 1. Numune Elastisite modülü tayini

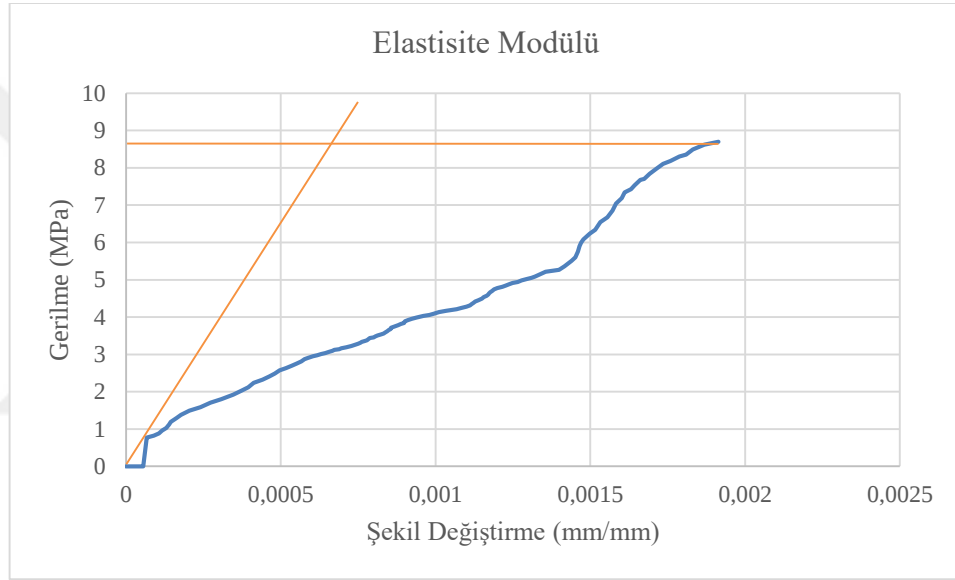


(c) 2. Numune Elastisite modülü tayini

Şekil 3.1. Numunelerin Elastisite Modülü Tayini.



(d) 3. Numune Elastisite modülü tayini



(e) Elastisite modülü tayini

Şekil 3.1 (devam). Numunelerin Elastisite Modülü Tayini.

Çizelge 3.2. Tomarza taşının Elastisite modülü ve Poisson oranı.

	Elastisite Modülü	Poisson Oranı
1.Numune	14188	0,205
2. Numune	14090	0,210
3. Numune	14897	0,250
Ortalama Değer	14392	0,221

3.1.2. Schmidt çekici deneyi

Bu deney, kayaçların Schmidt geri sıçrama (Schmidt sertliği) sertliğinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli basınç dayanımlarının saptanması amacıyla Schmidt çekici kullanılarak yapılan bir deneydir. Deney, TS EN 12504-2 standartlarına göre yüzeyi düzgün olan ve herhangi bir çatlak içermeyen 100 x 100 x 100 mm boyutlarında küp

şeklinde kesilmiş Tomarza taşı üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.2). Deneye başlamadan önce numuneler darbenin etkisiyle hareket etmemesi için pres makinesinde sabitlenmiştir ve daha sonra deneye başlanmıştır (Şekil 3.3). Deney sonuçları Çizelge 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 3.2. Küp şeklinde hazırlanan numuneler.



(a) 1. ve 2. numunelerin Schmidt çekici tayini



(b) 3. ve 4. numunelerin Schmidt çekici tayini
Şekil 3.3 Schmidt çekici deney düzeneği.

Brown (1981), yılında yaptığı çalışmada kaya sertlik sınıflaması yapmıştır ve bu sınıflamaya göre Schmidt çekicinin gösterdiği değer 0-10 arasında olursa yumuşak,

10-20 arasında olursa az yumuşak, 20-40 arasında olursa az sert, 40-50 arasında olursa sert, 50-60 arasında olursa oldukça sert, 60 ve üzerinde olursa çok sert olarak tanımlamıştır.

Çizelge 3.3. Schmidt çekici geri tepme sayısı.

Numune Adı	S1	S2	S3	S4
Deney sırasında okunan Schmidt çekicinin değerleri (MPa)	8,9	9,6	8,1	9,1
Ortalama Schmidt çekici değerleri (MPa)	8,9			

4 numune üzerinde yapılan deneylerde her bir numune için ayrı ayrı değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama Schmidt çekici değeri 8,9 olarak belirlenmiştir. Brown yaptığı çalışmaya göre, Tomarza taşı 8,9 değeriyle yumuşak kaya sınıfına girmektedir.

3.1.3. Su emme ve boşluk oranı tayini

Bu deneylerde, atmosfer basıncında su emme ve boşluk oranı ile suyun Tomarza taşı üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir. TS EN 13755 VE TS 699 standartlarına göre hazırlanan 100 x 100 x 100 mm boyutlarındaki numuneler 24 saat 75 °C' de etüvde bekletildikten sonra çıkarılıp kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 48 saat suda bekletilmiştir ve numuneler suya doymun numuneler hale getirilmiştir. Suyu doymun durumdaki numunelerin Arşimet terazisi yardımıyla öncelikle su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.4). Daha sonra numunelerin bir bez yardımı ile yüzeyleri kurulanmış ve kuru yüzey doymun ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Numunelerin Arşimet terazisi ile tartılması.

Hassas terazi ile ölçülerek elde edilen sonuçlara göre 3.1 numaralı formül yardımı ile kütlece su emme yüzdeleri, 3.2 numaralı formül yardımı ile hacimce su emme yüzdeleri belirlenmiştir.

Kütlece su emme oranı;

$$S_a = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.1)$$

Hacimce su emme oranı;

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (3.2)$$

Su emme ve boşluk oranı değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Su emme ve boşluk oranı tayini deney sonuçları.

Numune Adı	S1	S2	S3	S4
Boyutlar (mm)	100x100x100			
Etüv Kuru Ağırlığı (gr)	1443,0	1339,5	1326,0	1505,5
Suya Doymuş Ağırlık (gr)	1791,0	1667,0	1661,5	1880,0
Su İçindeki Ağırlık (gr)	741,5	686,0	680,5	778,0
Kütlece Su Emme Yüzdesi (%)	24,1	24,4	25,3	24,8
Hacimce Su Emme Yüzdesi (%)	33,1	33,3	34,1	33,9
Ortalama Kütlece Su Emme Yüzdesi (%)	24,7			
Ortalama Hacimce Su Emme Yüzdesi (%)	33,6			

4 numune üzerinde yapılan deneylerde Tomarza taşının; kütlece su emme oranı ortalama % 27,7 ve hacimce su emme oranı ortalama % 33,6 olarak belirlenmiştir.

3.1.4. Birim ağırlık tayini

Deney numuneleri üzerinde birim ağırlık değerlerini belirleyebilmek için deneyler TS EN 1936 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Birim ağırlık tayini deneyleri 100x100x100 mm’ lik düzgün küp şeklindeki numuneler üzerinde yapılmıştır. 48 saat suda kür edilen numuneler sudan çıkarıldıktan sonra etüvde 24 saat boyunca 75 °C’

de kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kuru ağırlıkları belirlenmiştir ve G_k olarak kaydedilmiştir. Numune hacmi düzgün malzemenin hacminin hesaplanması yöntemiyle bulunmuştur ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$). 3.3' deki formül yardımıyla numune ağırlığı, numune hacmine bölünerek birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 3.5'da gösterilmiştir.

$$\Delta = \frac{G_k}{V} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.5. Birim ağırlık tayini deney sonuçları.

Numune Adı	Boyutlar (cm^3)	Etüv Kuru Ağırlığı (gr)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Ortalama Birim Ağırlık (gr/cm^3)
S1	10 x 10 x 10	1443,0	1,44	1,40
S2	10 x 10 x 10	1339,5	1,34	
S3	10 x 10 x 10	1326,0	1,32	
S4	10 x 10 x 10	1505,0	1,50	

4 numune üzerinde yapılan deneylerde Tomarza taşının ortalama birim ağırlığı $1,40 \text{ g}/\text{cm}^3$ olarak belirlenmiştir.

3.1.5. Tek eksenli basınç dayanımı tayini

TS EN 1926 standardı çerçevesinde $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ ebatlarında hazırlanan taş numunelerinin basınç dayanımı yapılmıştır (Şekil 3.5). 4 numune üzerinde yapılan deneyde kırılma yükü, numunenin basınç kuvveti uygulanan yüzey alanına bölünerek basınç dayanım değeri hesaplanmıştır. Numunelerin her birinin basınç dayanım değerleri belirlendikten sonra aritmetik ortalamaları alınarak ortalama basınç dayanım değeri hesaplanmıştır ve Çizelge 3.6' da gösterilmiştir.



(a) 1. numunenin Basınç dayanımı tayini

Şekil 3.5. Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği.



(b) 2. numunenin Basınç dayanımı tayini



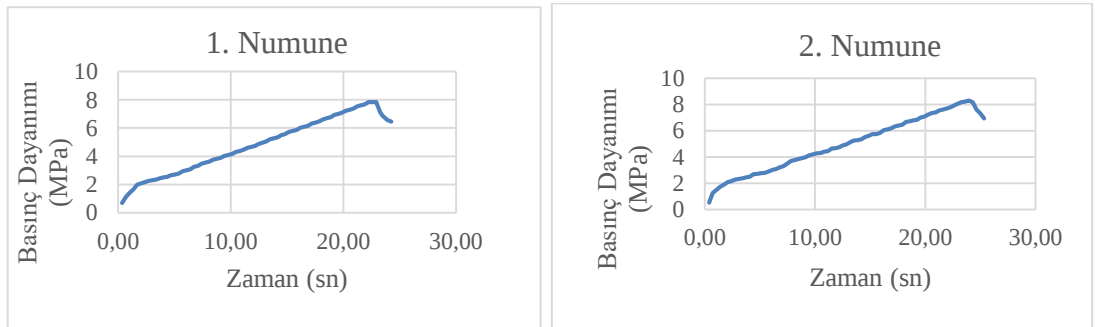
(c) 3. numunenin Basınç dayanımı tayini



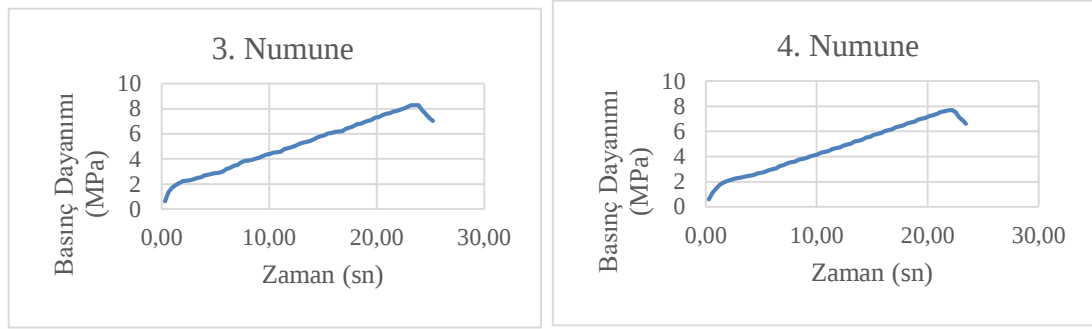
(d) 4. numunenin Basınç dayanımı tayini

Şekil 3.5 (devam). Basınç dayanımı tayininde kullanılan deney düzeneği.

Şekil 3.6’da numuneler üzerinde zamanla meydana gelen basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Numunelerin basınç dayanım diyagramları.



Şekil 3.6 (devam). Numunelerin basınç dayanım diyagramları.

Çizelge 3.6. Basınç dayanımı tayini deney sonuçları.

Numune Adı	S1	S2	S3	S4
Boyutlar (mm)	100x100x100	100x100x100	100x100x100	100x100x100
Uygulanan Kuvvet (kN)	78,0	82,1	82,9	76,7
Basınç Dayanımı (MPa)	7,80	8,21	8,29	7,67
Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	7,99			

Yapılan deneyler sonucunda Tomarza taşının ortalama basınç dayanımı 7,99 MPa olarak hesaplanmıştır.

3.1.6. Eğilme dayanımı tayini

TS EN 12372 standardı esaslarına göre, 50x150x300 mm ebatlarındaki numunelere üç noktalı eğilme dayanımı deneyi uygulanmıştır (Şekil 3.6). Deneyde iki mesnet arasındaki açıklık 250 mm'dir. Bu açıklığın üzerine yerleştirilen numunelere otomatik test cihazı ile tek noktadan yükleme yapılmıştır ve eğilme dayanımları belirlenmiştir.



(a) 1. numunenin Eğilme dayanımı tayini



(b) 2. numunenin Eğilme dayanımı tayini

Şekil 3.7. Eğilme dayanımı tayininde kullanılan deneyi düzeneği.



(c) 3. numunenin Eğilme dayanımı tayini



(d) 4. numunenin Eğilme dayanımı tayini

Şekil 3.7 (devam). Eğilme dayanımı tayininde kullanılan deneyi düzeneği.

4 numune üzerinde yapılan deneyde her bir numunenin eğilme dayanımı ayrı ayrı belirlenmiştir ve daha sonra bu numunelerin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama eğilme dayanımları hesaplanmıştır ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

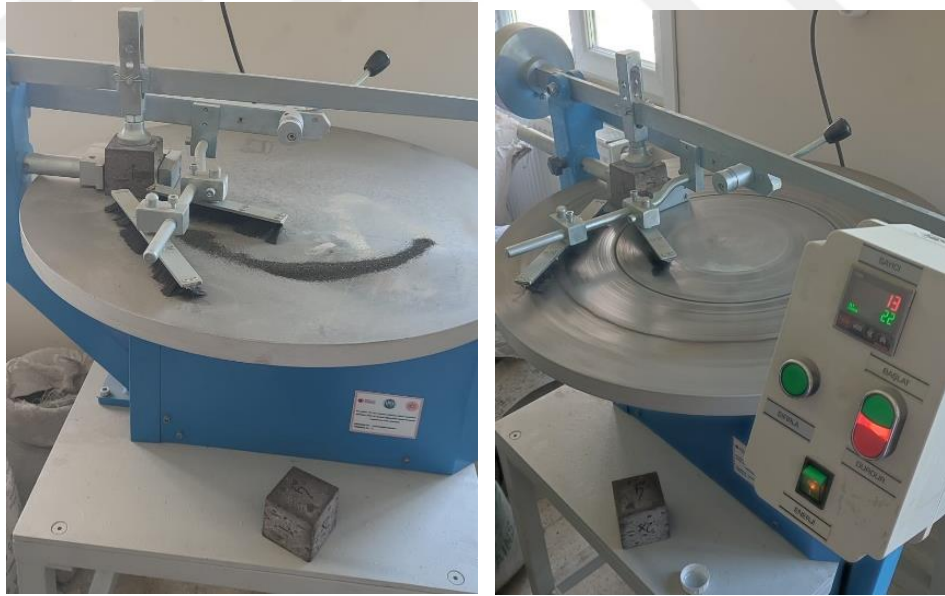
Çizelge 3.7. Eğilme dayanımı tayini deney sonuçları.

Numune Adı	S1	S2	S3	S4
Boyutlar (mm)	50x150x300	50x150x300	50x150x300	50x150x300
Eğilme Dayanımı (MPa)	1,59	1,64	1,87	1,73
Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	1,70			

Yapılan deneyler sonucunda Tomarza taşının ortalama eğilme dayanımı 1.70 MPa olarak hesaplanmıştır.

3.1.7. Aşınma direnci tayini

Deney numuneleri üzerinde aşınma direnci tayini değerlerini belirleyebilmek için yapılan deneyler TS EN 14157 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. 71x71x71 mm boyutlarında küp şeklinde kesilen numuneler böhme (yatay aşınma) cihazı üzerine yerleştirilmiş ve temas yüzeyini aşındırmak amacıyla disk ile sürtünecek yüzey arasına 20 g standart aşındırıcı suni korundum tozu serpilmiştir (Şekil 3.7). Numunelerin üzerine 294 ± 3 N düşey yük uygulanmıştır ve daha sonra deneye başlanmıştır.



Şekil 3.8. Böhme deney cihazı.

Numuneler için 22 devir tamamlandıktan sonra böhme cihazı durdurulmuştur. Numune 90° döndürüldükten sonra yeni döngüye başlayabilmek için sürtünme şeridi temizlenmiştir. Temizlenen şerit üzerine korundum tozu tekrardan dökülmüştür ve

yeni döngüye başlanmıştır. 22 devir tamamlandıktan sonra saat yönünde işleme devam edilmiştir.

Numunelerin her biri için 4 periyot yapılmıştır ve her bir periyot 22 devirdir. Toplam olarak 88 devir yapılmıştır. Bu döngü 4 kez tekrarlanmıştır ve toplamda 16 periyot, 352 devir yapılarak aşınma deneyi sonlandırılmıştır. Numuneler 16. döngüden sonra dijital terazi ile tartılmıştır.

$$\Delta = \frac{\Delta_m}{\rho_R} \quad (3.4)$$

Aşınma (böhme) deney yöntemi sonucunda Tomarza taşı numunelerinin 16. döngü sonundaki ağırlıkları Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Aşınma direnci tayini deney sonuçları.

		S1	S2	S3
Boyutlar (mm)	a (en)	74,08	72,60	72,5
	b (boy)	71,41	72,37	73,7
	h (yükseklik)	74,44	72,96	73,35
Ağırlık (gr)		532,0	539,8	537,2
Yoğunluk (gr/mm³)		0,0013	0,0014	0,0013
16. Döngü (gr)		526,4	534,6	531,4
Kütle Kaybı (gr)		5,6	5,2	5,8
Hacim Kaybı (mm³)		4145,2	3692,8	4231,5
Ortalama Kütle Kaybı (gr)		5,5		
Ortalama Hacim Kaybı (mm³)		4023,1		
Aşınma Direnci (mm³ / 5000 mm²)		0,80		

Aşınma (böhme) deney yöntemi uygulanan Tomarza taşı numunelerinin deneysel çalışma sonucunda aşınmaya bağlı olarak toplam kütle kayıpları ve toplam hacim kayıpları bulunmuştur. Çizelge 3.8 ’de verilen verilere göre Aşınma deneyi sonucunda Tomarza taşında meydana gelen ortalama kütle kaybı 5,5 gr, ortalama hacim kaybı 4023,1 mm³, ortalama aşınma direnci 0,80 mm olarak belirlenmiştir.

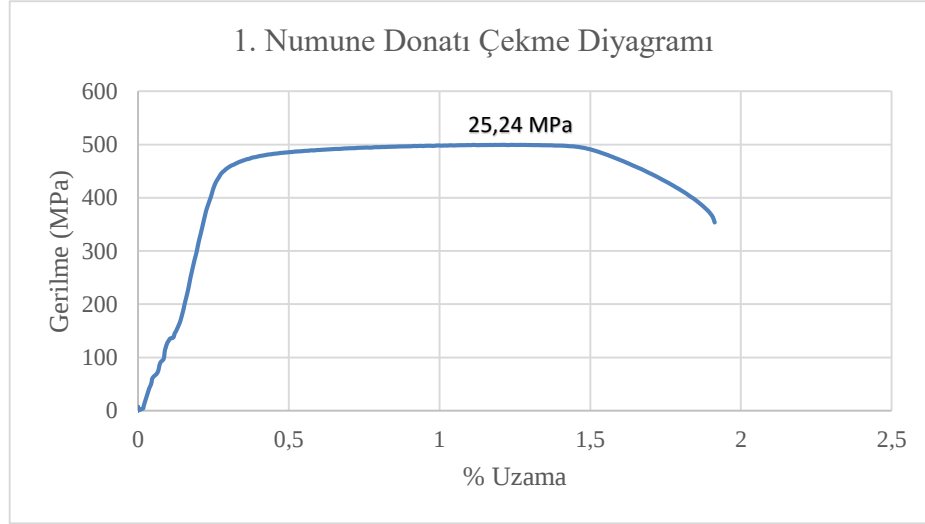
3.2. Güçlendirilmede Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.2.1. Gijon (tij çubuğu)

Orta kısmı veya gövdesinin tamamı dişli olan silindirik çubuklara gijon veya tij çubuğu denilmektedir. Gijonlar farklı ölçülerde bulunabilmektedir. Cıvata başı bulunmayan gijonlarda paslanma meydana gelmemesi için özel çinko kaplamalar kullanılmaktadır. 8 mm çapında ve 40 cm uzunluğunda kesilmiş 3 adet gijon numunesinin kırılma yükü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. Deney sırasında 600 kN kapasiteli hidrolik üniversal çekme cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.8).

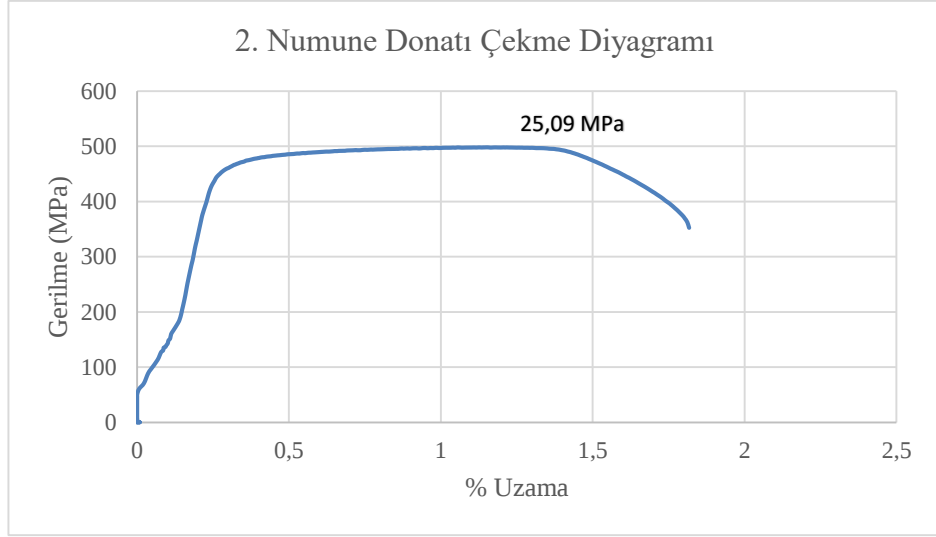
Çizelge 3.9. Gijon çekme deney sonuçları.

Numune Adı	S1	S2	S3
Çap (mm)	8	8	8
Yükseklik (mm)	400	400	400
Kırılma Yükü (kN)	25.24	25.09	25.39
Akma Mukavemeti (MPa)	499	496	502
Çekme Mukavemeti (MPa)	502.2	499.4	505.4
İlk Boy (mm)	403.7	407.1	405.2
Son Boy (mm)	411.5	414.6	413.3
% Uzama Miktarı	1.93	1.84	1.99

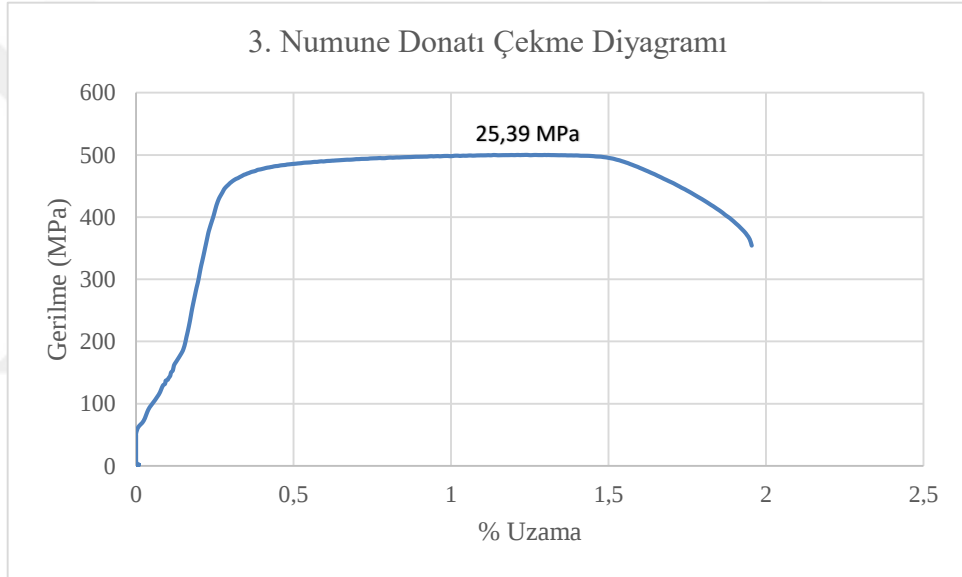


(a)

Şekil 3.9. Numunelerin donatı çekme diyagramları.

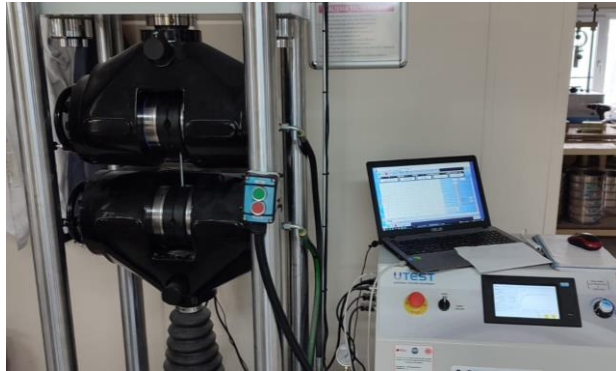


(b)



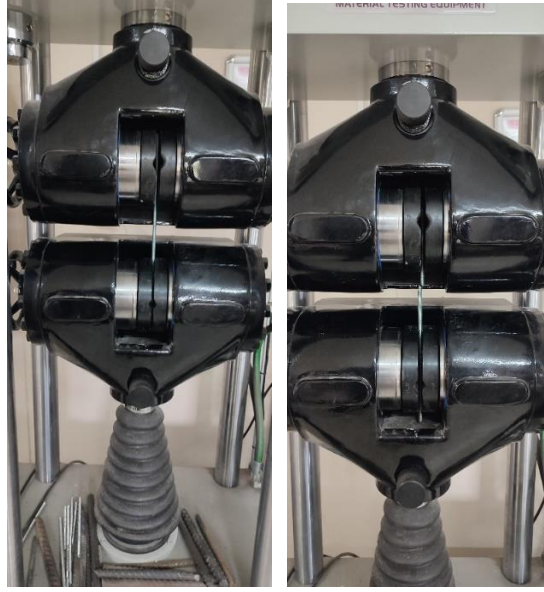
(c)

Şekil 3.9 (devam). Numunelerin donatı çekme diyagramları.



(a) Donatı çekme makinesi

Şekil 3.10. Donatı çekme tayininde kullanılan deney düzeneği.



b) Donatı çekme tayini

Şekil 3.10 (devam). Donatı çekme tayininde kullanılan deney düzeneği.

3.2.2. CFRP (karbon lif takviyeli polimer)

Hasar verilmiş numuneleri güçlendirme amacıyla yapılan karbon lif takviyeli polimerin (CFRP) karakteristik özellikleri Çizelge 3.10’da gösterilmiştir. CFRP uygulaması yapılacak yüzey üzerindeki tozlar temizlendikten sonra iki bileşenli doyurma reçinesi ve yapıştırıcı özelliği olan epoksi malzemesi sütun başlıklarının yüzeyine sürülmüştür. Epoksi reçinesinin özellikleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP) malzemesinin özellikleri (URL -7).

Lif Tipi	Karbon Fiber Özellikleri	
Doku Yapısı	Lif doğrultusu: Tek yönlü	
Boyutları (1 Rulo)	Uzunluk	50 m
	Kalınlık	300 mm
Birim Ağırlık	230 g/m ²	
Lif Yoğunluğu	1.76 g/cm ³	
Kuru Lif Özellikleri	Çekme Dayanımı	4300 N/mm ²
	Çekme Elastisite Modülü	234000 N/mm ²
	Kopma Uzaması	%1.8
Elektriksel Direnç	1.55 ohm/cm	
Karbon İçeriği	%95	

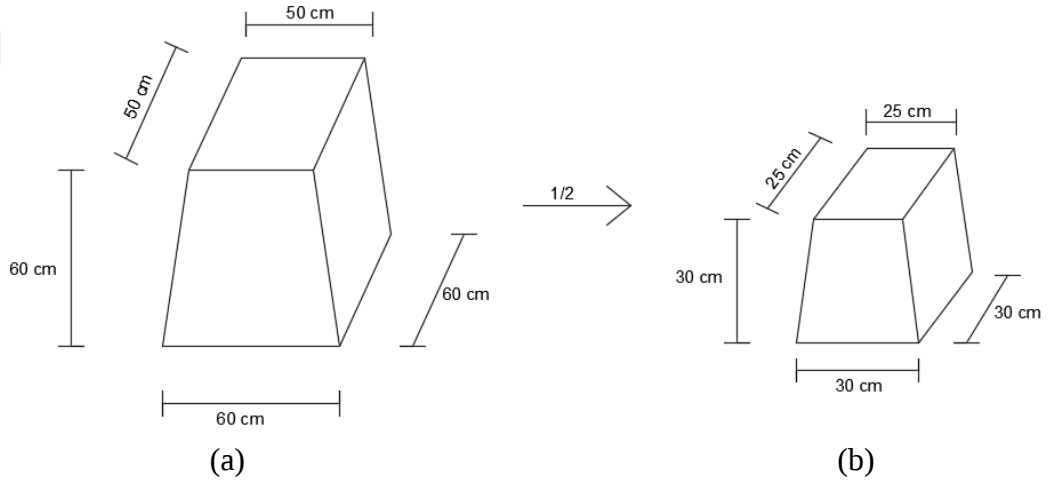
Çizelge 3.11. Epoksi reçinesinin özellikleri (URL-8).

Görünüm	Reçine A Bileşeni : Macun şeklinde Sertleştirici B Bileşeni : Macun şeklinde
Renk	A Bileşeni: Beyaz B Bileşeni: Gri A+B Bileşeni : Açık Gri
Karışım	4 birim A : 1 birim B
Birim Ağırlık (A+B)	1.30 Kg/L
Uygulanacak Zemin Sıcaklığı	(+10°C) – (+35 °C)
Kap Ömrü	30 dakika
Basınç Dayanımı	80 N/mm ²
Çekme Dayanımı	30 N/mm ²
Eğilme Dayanımı	40 N/mm ²
Sarfiyat	1-1.15 kg/m ²
Tam Kürünü Alma	5 gün

4. SÜTUN BAŞLIĞI NUMUNE DENEYLERİ

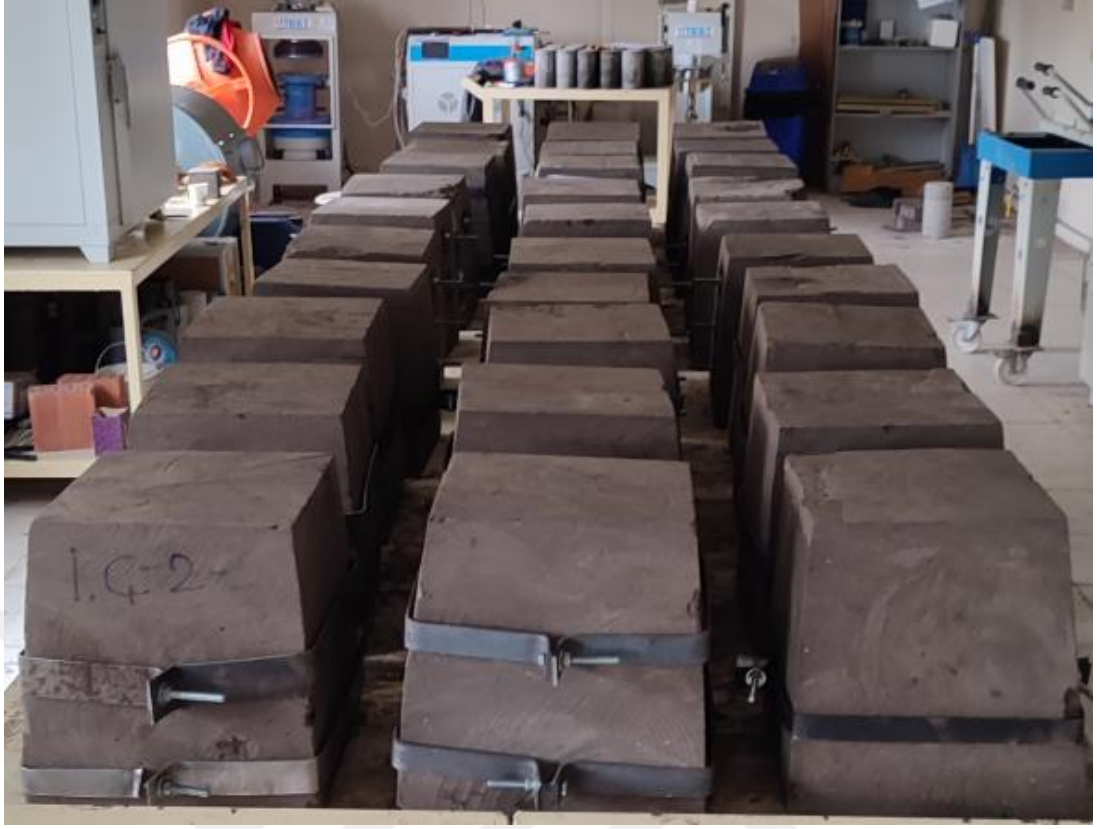
4.1. Sütun Başlıklarının Hazırlanması

Toplam 25 adet tarihi yapı incelenmiş ve bu yapıların kesik piramit şeklindeki sütun başlıklarının ölçüleri tespit edilmiştir. Ölçülen sütun başlıklarının her bir boyutu için ortalama sütun başlığı boyutları belirlenmiştir. Ortalama sütun başlığı boyut değerleri yaklaşık olarak Şekil 4.1 a) da gösterilmiştir. Deneylerde kullanılacak kesik piramit şeklindeki numuneler ise elde edilen ortalama değerlere dayalı olarak $\frac{1}{2}$ ölçeğinde hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. a) Analizler sonucunda belirlenen sütun başlığının boyutları b) Boyutları %50 oranında azaltılarak deneyleri yapılan sütun başlığı.

Kayseri ili Tomarza ilçesinde bulunan Okyay Doğaltaş ve Madencilik şirketi tarafından ocaktan çıkarılıp istenilen boyutlarda kesilen sütun başlıkları laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen 42 adet sütun başlığına her bir model için 3 tane numune hazırlanarak toplam 13 farklı model olacak şekilde güçlendirme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 4.2). Geriye kalan numuneler ise referans numunesi olarak kullanılmıştır. Güçlendirme yöntemi tamamlanan sütun başlıkları pres makinesinde kırılarak taşıma yükü kapasiteleri belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. Sütun başlıklarının genel görüntüleri.

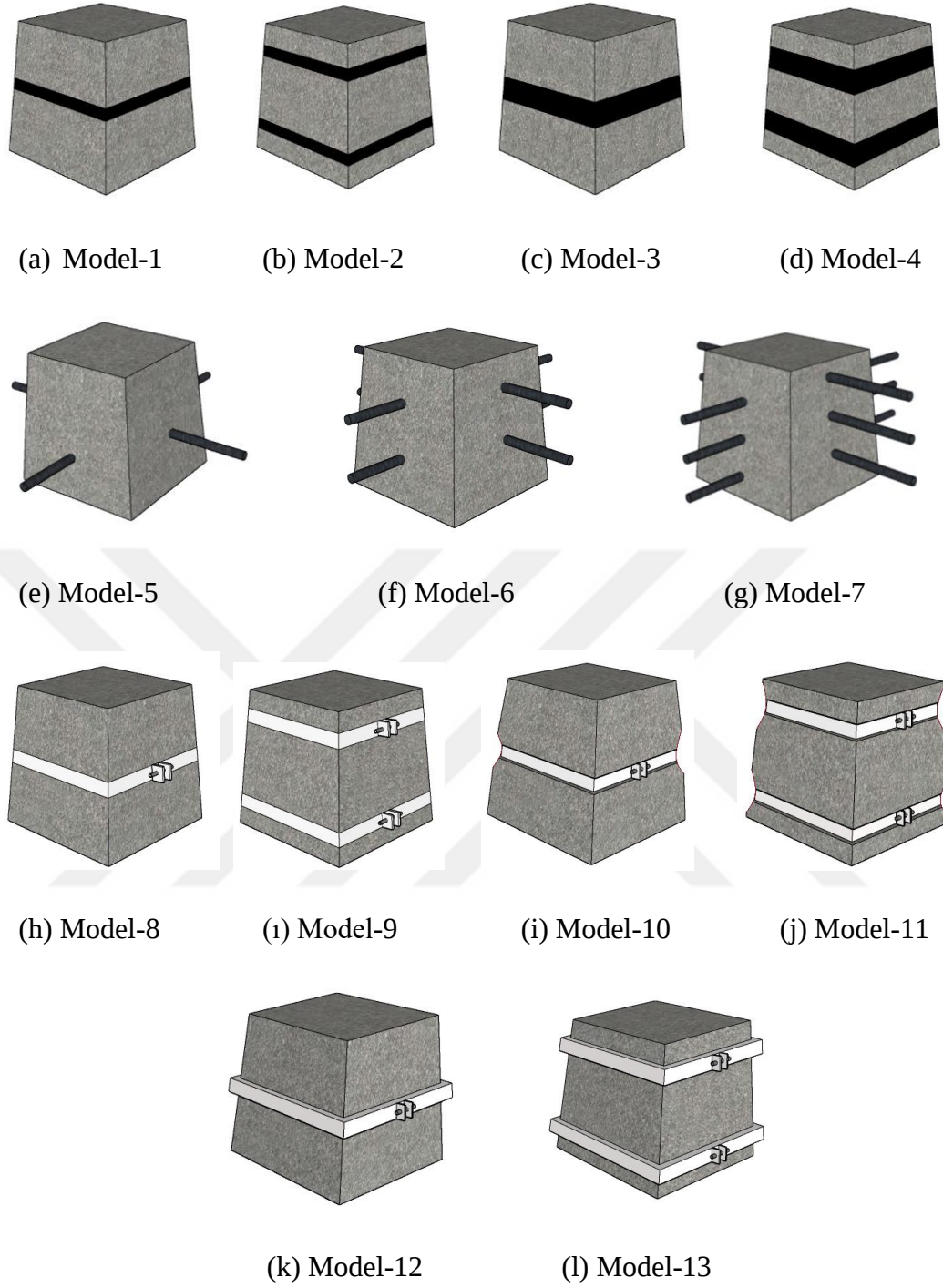
Daha detaylı olarak anlatılacak olan farklı güçlendirme yöntemlerinin uygulandığı deney numuneleri Model 1 den Model 13' e kadar isimlendirilmiştir. Çalışmada herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmayan numuneler ise referans numunesi olarak isimlendirilmiştir. Referans numunesinin amacı herhangi bir güçlendirme yapılmamış sütun başlıkları ile güçlendirme yapılmış sütun başlıklarını karşılaştırarak, güçlendirmenin sütun başlıkları üzerindeki etkisini incelemektir.

Farklı kalınlıklarda ve sayılarda yapılan FRP uygulamasında amaç numunelerin taşıma gücünde meydana gelebilecek artışı görebilmek ve bu artışı diğer modellerle kıyaslayabilmektir. FRP uygulamasının kullanımındaki bir başka amaç ise eğrisel yüzeyli olan sütun başlıklarındaki taşıma gücünün diğer güçlendirme yöntemlerine göre değişimini görebilmeyi amaçlamaktadır. Numuneleri F-1-1, F-1-2 ve F-1-3 olarak adlandırılan Model 1' de sütun başlıklarının orta kısmına sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık % 10'u kadar genişlikte FRP şerit uygulaması yapılmıştır. Numuneleri F-2-1, F-2-2 ve F-2-3 olarak adlandırılan Model 2'de sütun başlıklarının alt ve üst kısımlarına her bir şerit sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık % 10'u kadar genişlikte FRP şerit uygulaması yapılmıştır. F.K-1-1, F.K-1-2 ve F.K-1-3 olarak adlandırılan Model 3' de sütun başlıklarının orta kısımlarına sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık % 20'si kadar genişlikte FRP şerit uygulaması yapılmıştır. Numuneleri F.K-2-1, F.K-2-2 ve F.K-2-3 olarak adlandırılan Model 4'de sütun başlıklarının alt ve üst kısımlarına her bir şerit sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık % 20'si kadar genişlikte FRP şerit uygulaması yapılmıştır.

Farklı sayılarda Gijon uygulaması yapılmasındaki amaçlardan birisi, numunelere ard gerilme verilerek taşıma gücündeki artışı görebilmek ve bu artışı diğer modellerle kıyaslayabilmektir. Gijon uygulamasındaki bir başka amaç ise estetik ve sanatsal değeri olan yüzeylerde FRP uygulaması ve metal çemberleme uygulamasının estetik ve sanat değerini bozabileceğinden dolayı, numunelere Gijon uygulamasıyla güçlendirme yöntemi uygulanmıştır. Numuneleri G-1-1, G-1-2 ve G-1-3 olarak adlandırılan Model 5'de 8 mm çapındaki gijonlar, sütun başlıklarının yaklaşık olarak orta noktası delindikten sonra bu delikten geçirilerek, 50 mm genişliğinde 70 mm uzunluğunda ve 2mm et kalınlığındaki lamalar ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır. Numuneleri G-2-1, G-2-2 ve G-2-3 olarak adlandırılan Model 6'da 8 mm çapındaki gijonlar, sütun başlıklarının yüzeyinde 2 delik açıldıktan sonra bu deliklerden

geçirilerek, 50 mm genişliğinde 70 mm uzunluğunda ve 2mm et kalınlığındaki lamalar ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır. Numuneleri G-3-1, G-3-2 ve G-3-3 olarak adlandırılan Model 7’de 8 mm çapındaki gijonlar, sütun başlıklarının yüzeyinde 3 delik açıldıktan sonra bu deliklerden geçirilerek, 50 mm genişliğinde 70 mm uzunluğunda ve 2mm et kalınlığındaki lamalar ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır.

Farklı et kalınlığında ve farklı sayılarda yapılan metal çemberleme yönteminin numunelere uygulanarak güçlendirilmesindeki başlıca amaç, çoğunlukla tarihi yapıların sütunlarının güçlendirilmesinde kullanılan bu yöntemin sütun başlıkları üzerindeki etkisini incelemek ve taşıma gücündeki değişimi görebilmektir. Numuneleri İ.Ç-1-1, İ.Ç-1-2 ve İ.Ç-1-3 olarak adlandırılan Model 8’de 30 mm genişliğinde, 2 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına orta noktalarından sarılmıştır ve cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Numuneleri İ.Ç-2-1, İ.Ç-2-2 ve İ.Ç-2-3 olarak adlandırılan Model 9’da 30 mm genişliğinde, 2 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına alttan ve üstten sarılmıştır ve cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Numuneleri T.İ.Ç-1-1, T.İ.Ç-1-2 ve T.İ.Ç-1-3 olarak adlandırılan Model 10’da sütun başlıklarının kenarları metal çembere göre törpülenmiştir ve 30 mm genişliğinde, 2 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına orta noktalarından sarıldıktan sonra cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Numuneleri T.İ.Ç-2-1, T.İ.Ç-2-2 ve T.İ.Ç-2-3 olarak adlandırılan Model 11’de sütun başlıklarının kenarları metal çembere göre törpülenmiştir ve 30 mm genişliğinde, 2 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına alt ve üstüne sarıldıktan sonra cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Numuneleri K.Ç-1-1, K.Ç-1-2 ve K.Ç-1-3 olarak adlandırılan Model 12’de 30 mm genişliğinde, 5 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına orta noktalarından sarılmıştır ve cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Numuneleri K.Ç-2-1, K.Ç-2-2 ve K.Ç-2-3 olarak adlandırılan Model 13’de 30 mm genişliğinde, 5 mm et kalınlığındaki metal çemberler, sütun başlıklarına alttan ve üstten sarılmıştır ve cıvatalar yardımıyla sıkılıp sabitlenmiştir. Tüm modellere ait çizimler Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sütun başlıklarının modellemeleri.

4.2. Referans Numunesi

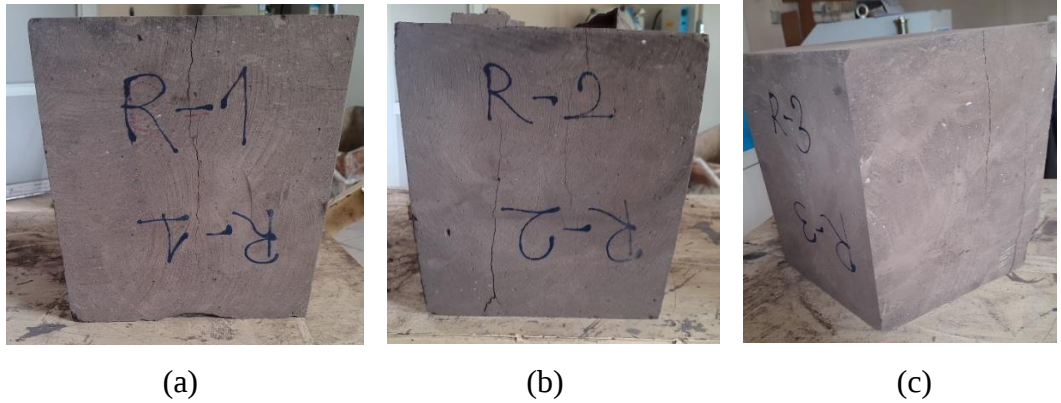
Sütun başlıklarının deneysel çalışmalarından önce blok halinde bulunan taşlar taş ocağında, alt yüzey ölçüleri 250x250 mm, üst yüzey ölçüleri 300x300 mm ve yüksekliği 300 mm olacak şekilde boyutlandırılarak kesik piramit şeklinde sütun başlıkları haline getirilmiştir (Şekil 4.4). Güçlendirme işlemi yapılmayan Referans

numunesinin hazırlanmasındaki amaç, numunenin kendi taşıma yükü kapasitesini belirleyebilmek ve güçlendirme yapılmış olan numuneler ile güçlendirilmemiş numuneyi karşılaştırabilmektedir.



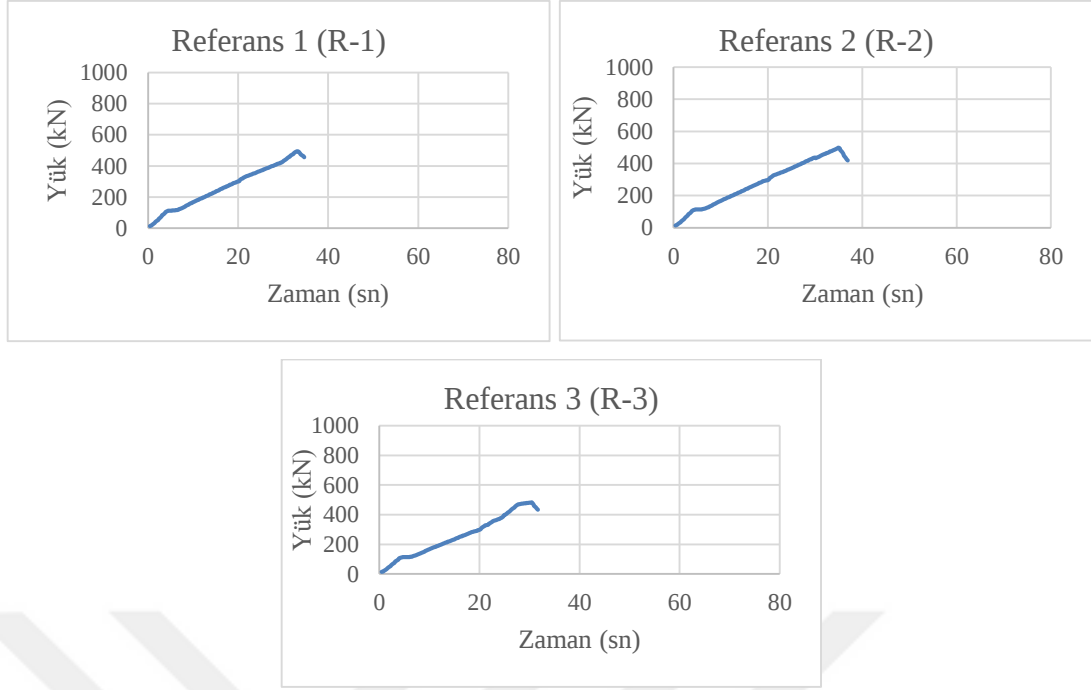
Şekil 4.4. Referans numuneleri.

Deneylerde 3000 kN basma kapasitesine sahip pres makinesinin içerisine yerleştirilen referans numunelerine düşey yüklemeler yapılmıştır. Referans numunelerinde görülen çatlaklar, numunelerin gövdesinde, yük eksenine paralel şekilde oluşmuştur (Şekil 4.5). Referans numunesi olarak alınan numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 494.43 kN, 498.64 kN, 483.84 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak referans numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Referans numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.3. Model – 1

Model-1 için hazırlanan numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle yüzeyinde yer alan toz parçacıklarından temizlenmiştir ve ardından FRP uygulaması yapılmıştır. FRP'nin yüzeye yapışması için 2 bileşenli Sikadur-330 epoksi malzemesi uygulanmıştır. Tasarım Şekil 4.7'de verilen Model-1 sütun başlıklarının orta kısımlarına ve sütun başlığının etrafını tamamen saracak şekilde uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan FRP malzemesinin genişliği, sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık olarak %10'u kadardır.



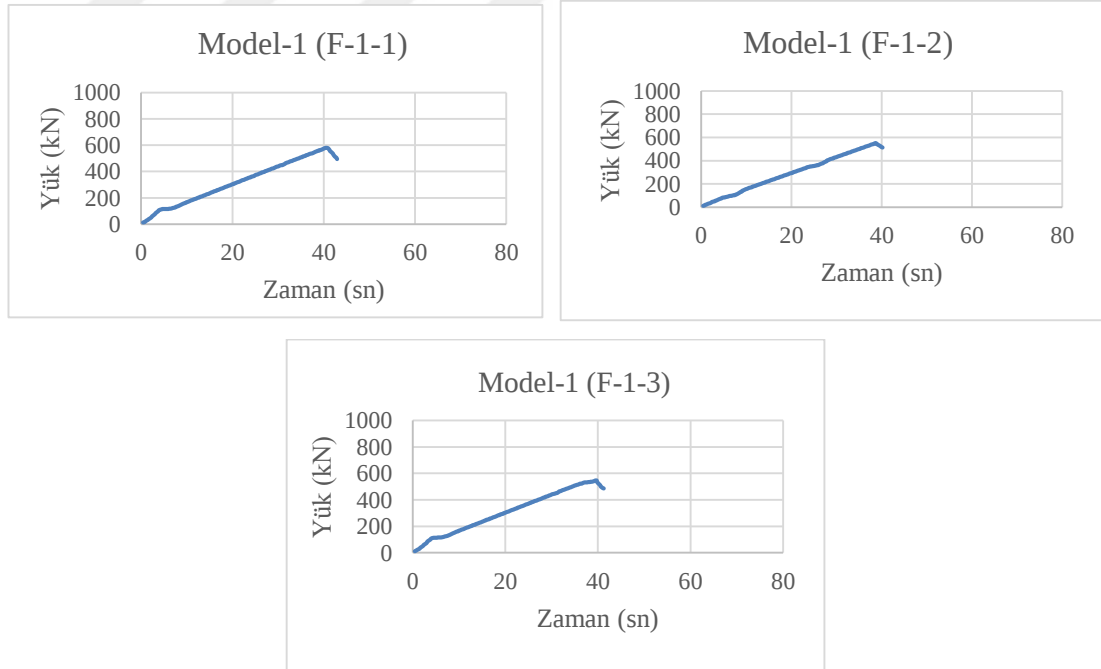
Şekil 4.7. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-1 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %14 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. FRP malzemesinde herhangi bir açılma meydana gelmemiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.8). Model-1’de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 579.73 kN, 552.41 kN, 546.06 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-1 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Model-1 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

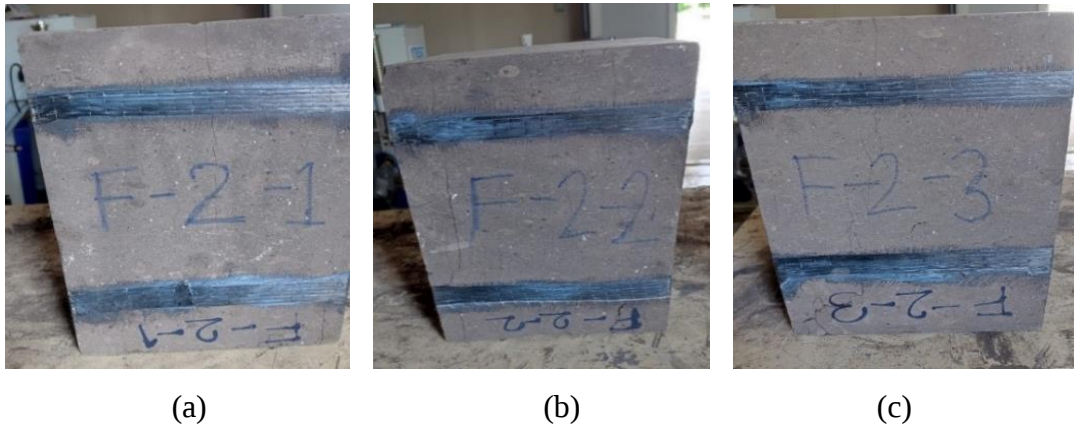
4.4. Model – 2

Model-2 numunelerinin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle yüzeyinde yer alan toz parçacıklarından temizlenmiştir ve ardından FRP uygulaması yapılmıştır. FRP'nin yüzeye yapışması için 2 bileşenli Sikadur-330 epoksi malzemesi sürülmüştür. Tasarım Şekil 4.10' da verilen Model-2 sütun başlıklarının alt ve üst kenarlarından 50 mm boşluk bırakıldıktan sonra sütun başlığının etrafını tamamen saracak şekilde uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan FRP malzemesinin genişliği, sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık olarak %10'u kadardır.



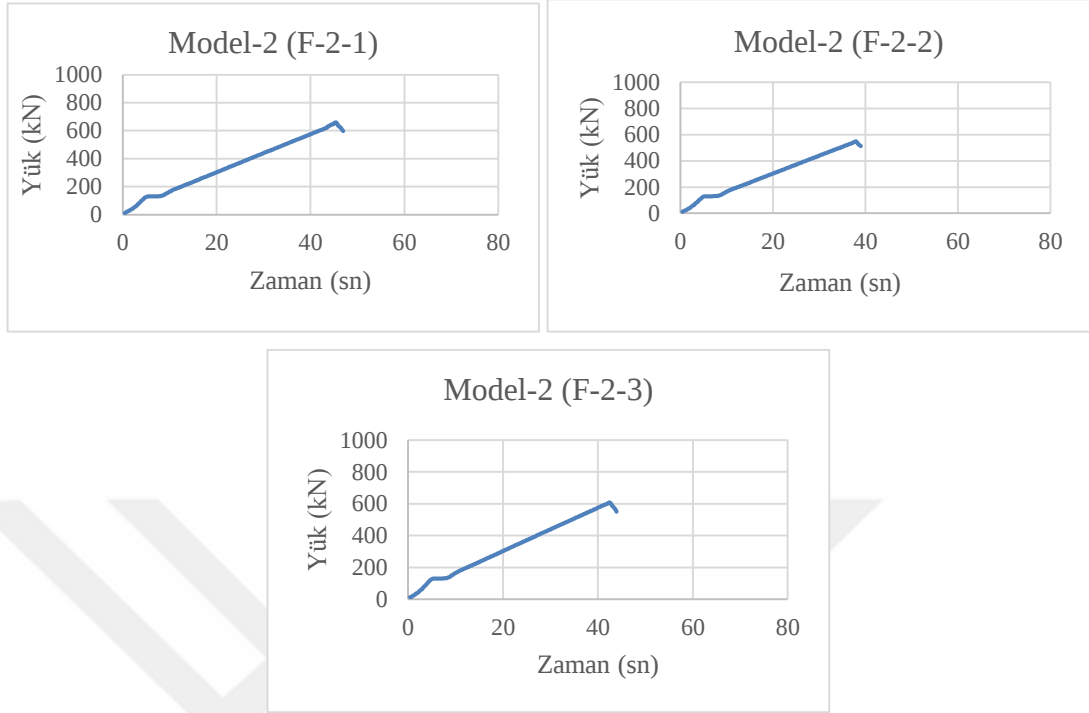
Şekil 4.10. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-2 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %23 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. FRP malzemesinde herhangi bir açılma meydana gelmemiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.11). Model-2'de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 659.30 kN, 548.73 kN, 608.82 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

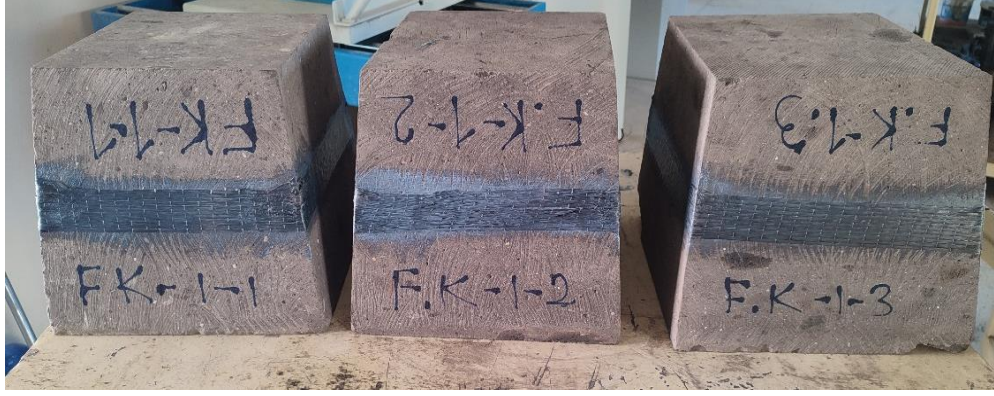
Uygulanan kuvvete bağı olarak Model-2 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Model-2 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

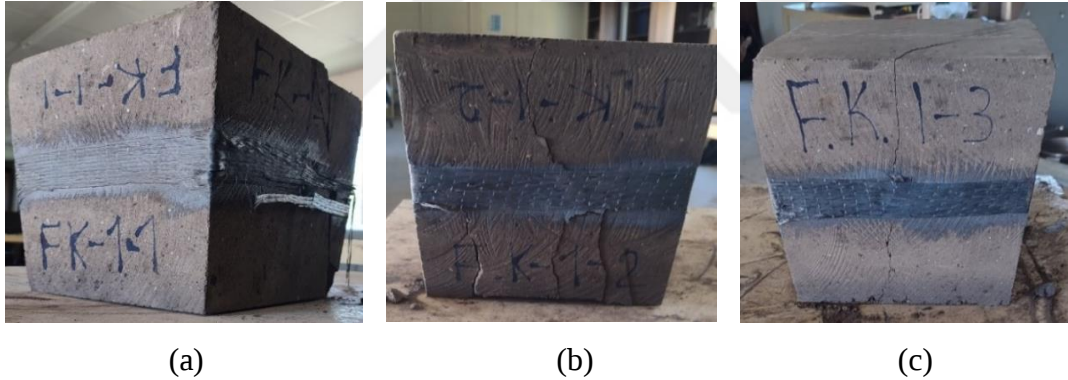
4.5. Model – 3

Model-3’deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle yüzeyinde yer alan toz parçacıklarından temizlenmiştir ve ardından FRP uygulaması yapılmıştır. FRP’nin yüzeye yapışması için 2 bileşenli Sikadur-330 epoksi malzemesi sürülmüştür. Tasarım Şekil 4.13’de verilen Model-3 sütun başlıklarının orta kısımlarına ve sütun başlığının etrafını tamamen saracak şekilde uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan FRP malzemesinin genişliği, sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık olarak %20’si kadardır.



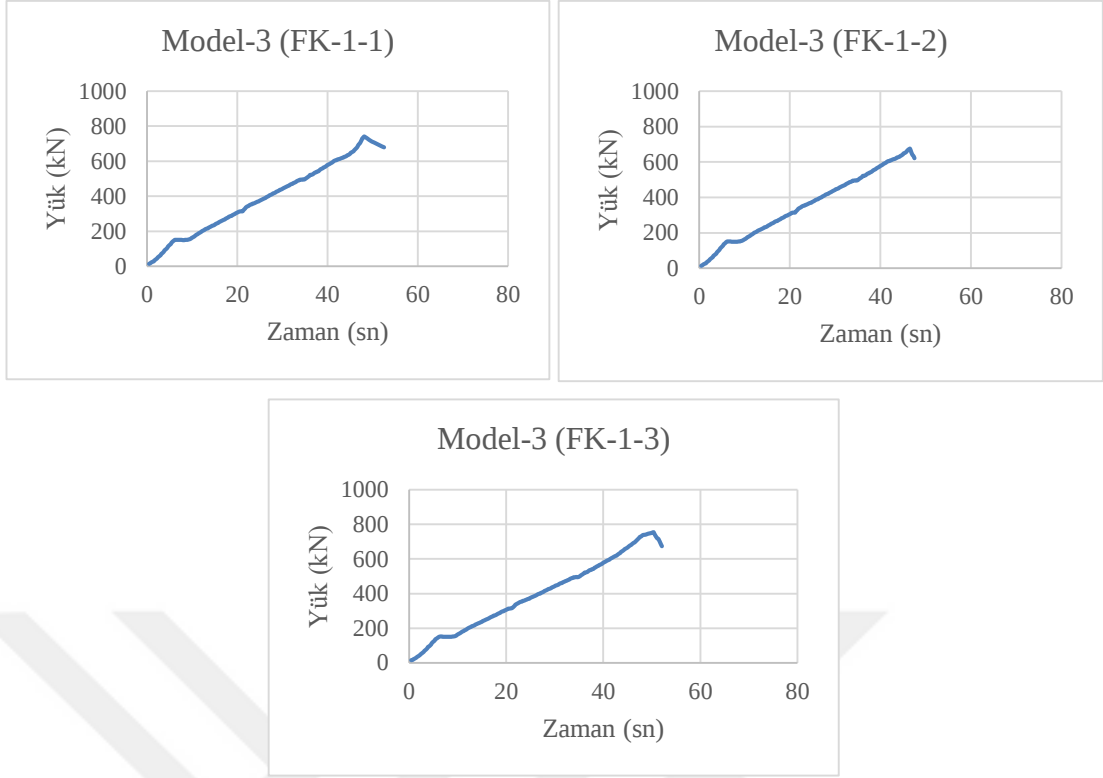
Şekil 4.13. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-3 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %47 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. FRP malzemesinde herhangi bir açılma meydana gelmemiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.14). Model-3’de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 742.25 kN, 675.94 kN, 754.66 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-3 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15. Model-3 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.6. Model – 4

Model-4'deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle yüzeyinde yer alan toz parçacıklarından temizlenmiştir ve ardından FRP uygulaması yapılmıştır. FRP'nin yüzeye yapışması için 2 bileşenli Sikadur-330 epoksi malzemesi sürülmüştür. Tasarım Şekil 4.16 'da verilen Model-4 sütun başlıklarının alt ve üst kenarlarından 50 mm boşluk bırakıldıktan sonra sütun başlığının etrafını tamamen saracak şekilde uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan FRP malzemesinin genişliği, sütun başlığı yüksekliğinin yaklaşık olarak %20'si kadardır.



Şekil 4.16. FRP uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-4 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %73 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. FRP malzemesinde herhangi bir açılma meydana gelmemiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.17). Model-4 'de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 806.17 kN, 889.72 kN, 860.97 kN olarak belirlenmiştir.



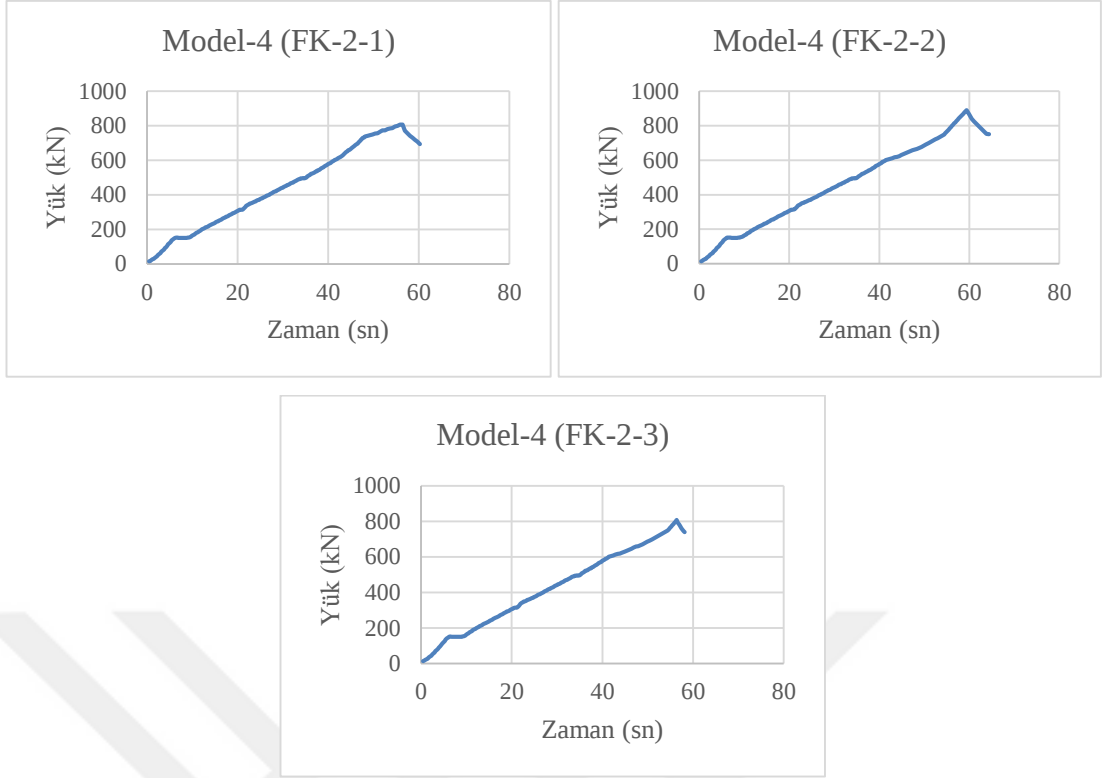
(a)

(b)

(c)

Şekil 4.17. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-4 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Model-4 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.7. Model – 5

Model-5 için hazırlanan numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle 10 mm çapında ve 35 mm uzunluğundaki matkapla delinmiştir (Şekil 4.19). Açılan deliklerden 8 mm çapındaki M8 gijonlar geçirilmiştir daha sonra ortası delinen lamalar gijonların üstünden geçirilmiş ve taş yüzeyine sabitlenmiştir. Taş yüzeyine sabitlenen lamalar pul ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır. Tasarım Şekil 4.20 ‘de verilen Model-5 sütun başlıklarının yaklaşık olarak orta noktalarında matkap yardımıyla açılan deliklerden gijonlar geçirilip lama, pul ve cıvatalar yardımıyla sabitlenmiştir.

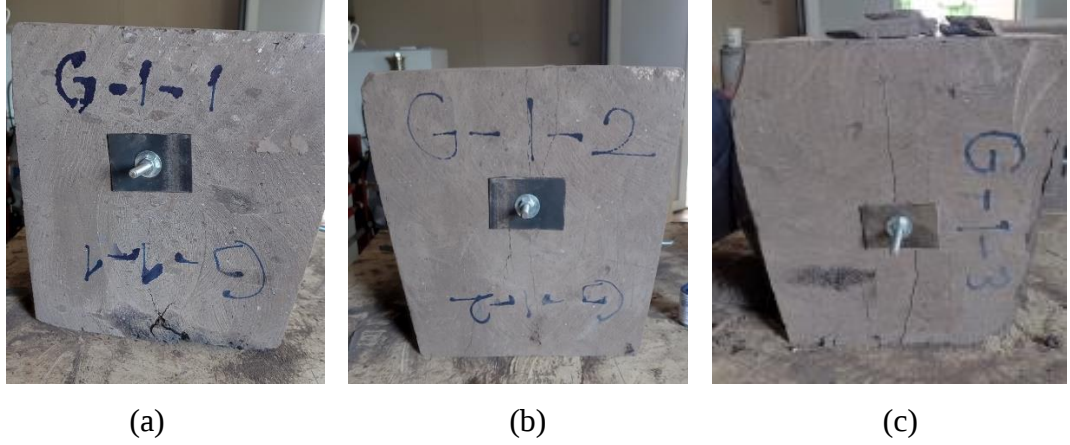


Şekil 4.19. Numunelerin matkapla delinmesi.



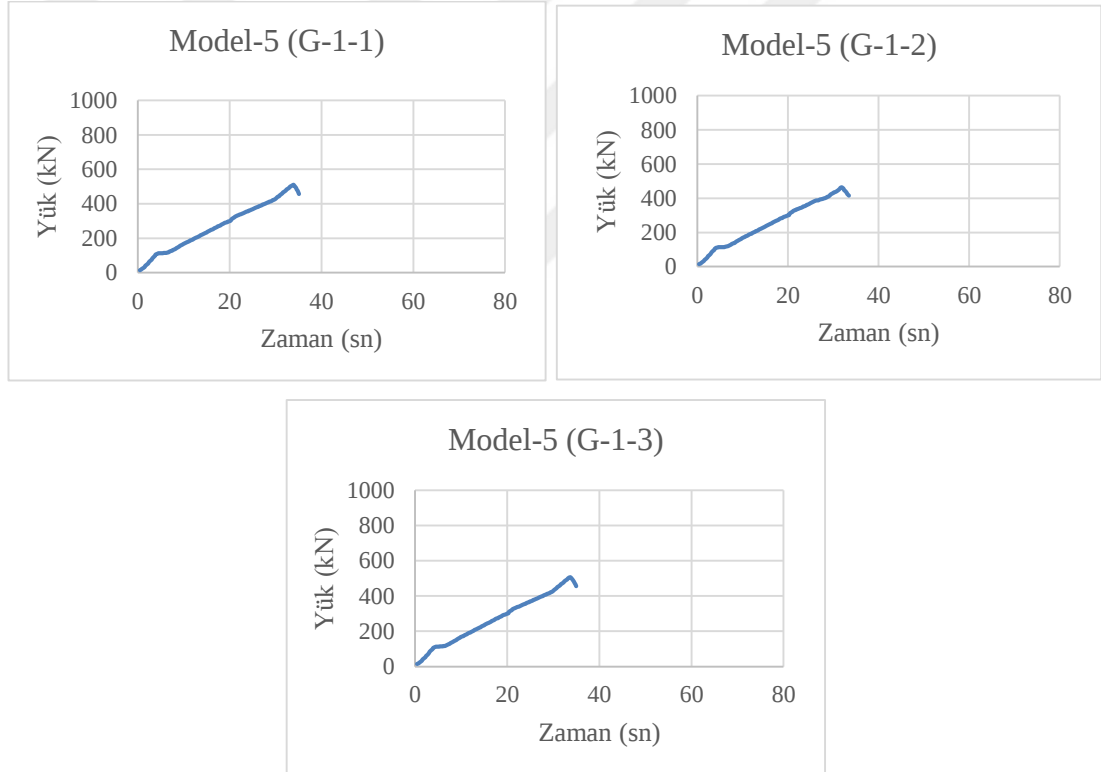
Şekil 4.20. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-5 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %0.4 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Gijon malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, gijonun sabitlendiği yerlerde çatlamlar görülmektedir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.21). Model-5’de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 511.45 kN, 465.10 kN, 507.29 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-5 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Model-5 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.8. Model – 6

Model-6 için hazırlanan numuneler güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle 10 mm çapında ve 35 mm uzunluğundaki matkapla delinmiştir. Açılan deliklerden 8 mm çapındaki M8 gijonlar geçirilmiştir daha sonra ortası delinen lamalar gijonların üstünden geçirilmiş ve taş yüzeyine sabitlenmiştir. Taş yüzeyine sabitlenen lamalar

pul ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır. Tasarım Şekil 4.23 'de verilen Model-6 sütun başlıkları yaklaşık olarak ön yüzey için alt kısmın 60 mm ve 180 mm, yan yüzey için ise alt kısmının 120 mm ve 240 mm noktalarında geçirilen gijonlar; lama, pul ve cıvatalar yardımıyla sabitlenmiştir.



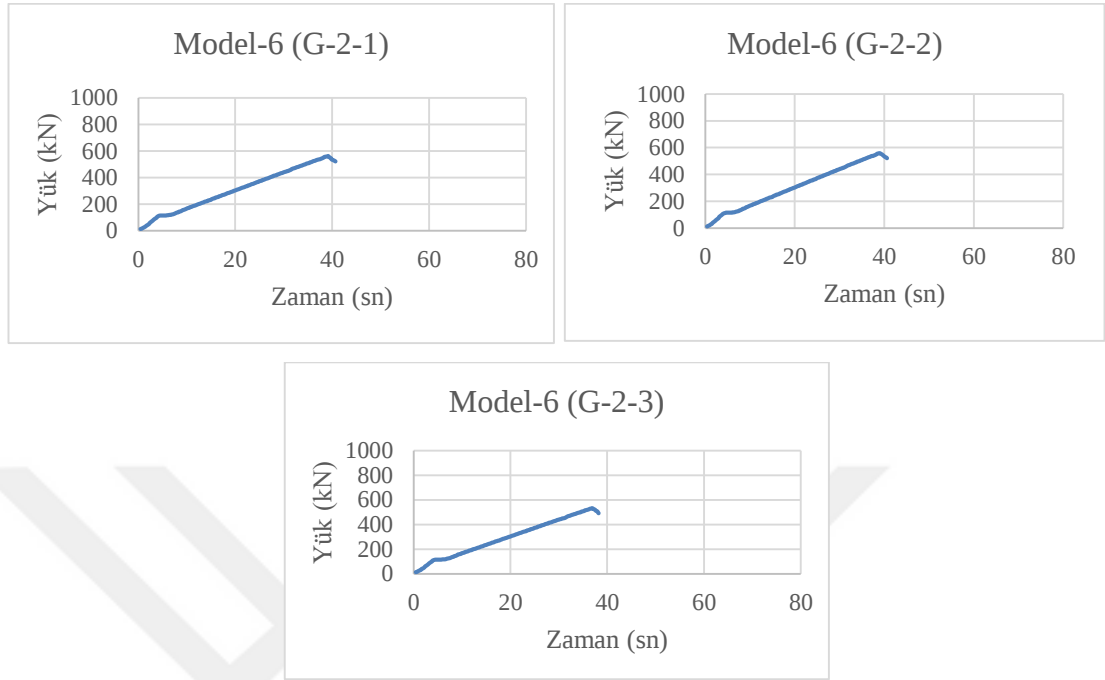
Şekil 4.23. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-6 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %12 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Gijon malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, gijonun sabitlendiği yerlerde çatlamlar görülmektedir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.24). Model-6'da numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 561.05 kN, 557.64 kN, 533.23 kN olarak bulunmuştur.



(a) (b) (c)
Şekil 4.24. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağı olarak Model-6 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25. Model-6 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

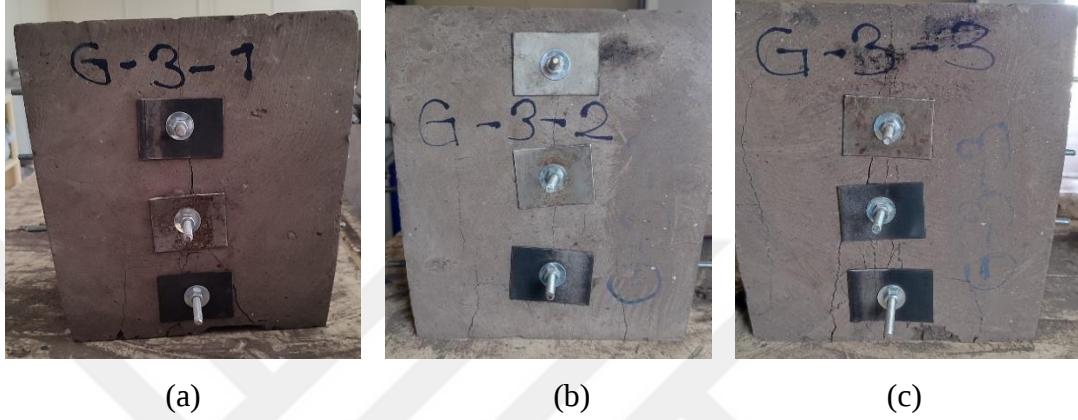
4.9. Model – 7

Model-7’deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle 10 mm çapında ve 35 mm uzunluğundaki matkapla delinmiştir. Açılan deliklerden 8 mm çapındaki M8 gijonlar geçirilmiştir daha sonra ortası delinen lamalar gijonların üstünden geçirilmiş ve taş yüzeyine sabitlenmiştir. Taş yüzeyine sabitlenen lamalar pul ve cıvatalar yardımıyla sıkılmıştır. Tasarım Şekil 4.26 ‘da verilen Model-6 sütun başlıkları yaklaşık olarak ön yüzey için 60 mm, 160 mm ve 260 mm, yan yüzey için ise 40 mm 140 mm ve 240 mm noktalarında geçirilen gijonlar; lama, pul ve cıvatalar yardımıyla sabitlenmiştir.



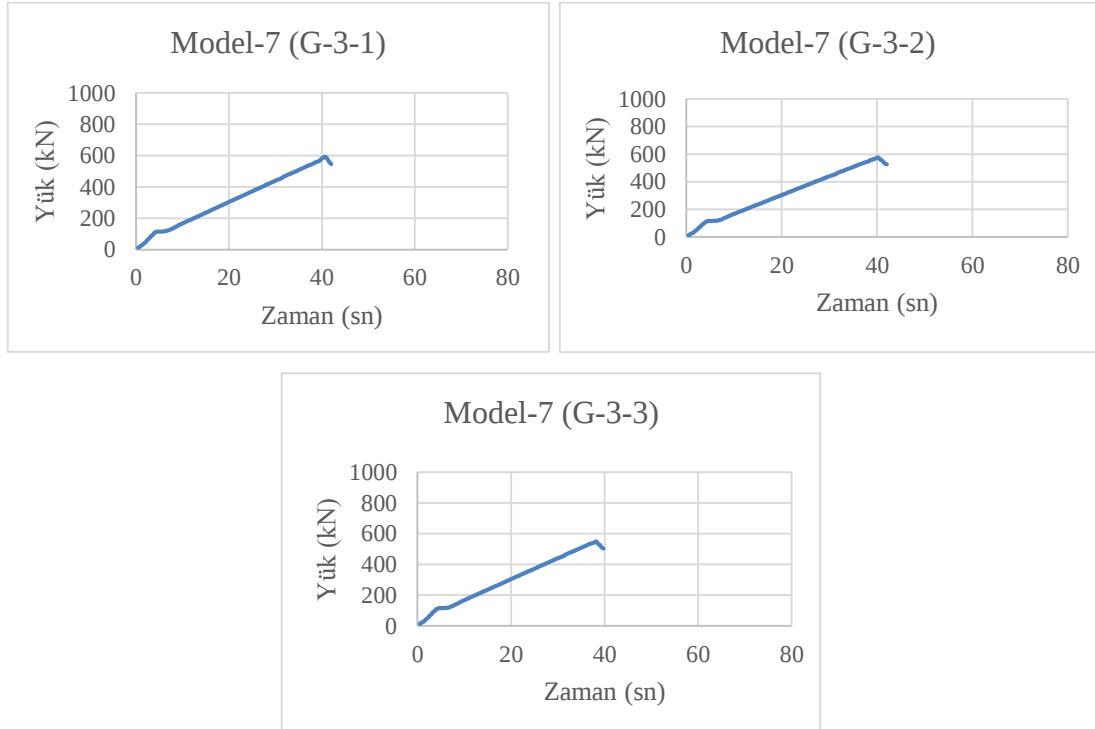
Şekil 4.26. Gijon uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-7 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %16 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Gijon malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, gijonun sabitlendiği yerlerde çatlamlar görülmektedir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.27). Model-7’de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 593.07 kN, 577.64 kN, 548.34 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-7 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. Model-7 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

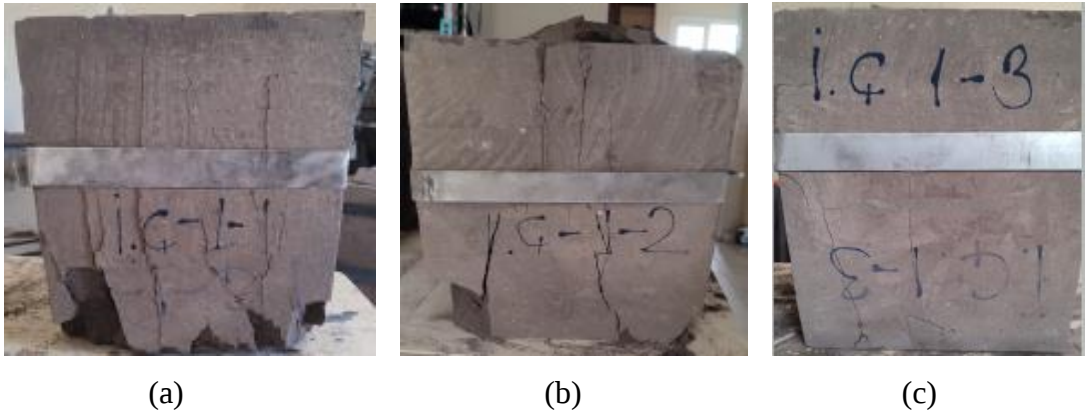
4.10. Model – 8

Model-8'deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin yaklaşık 150 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.29 'de verilen Model-8 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 2 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



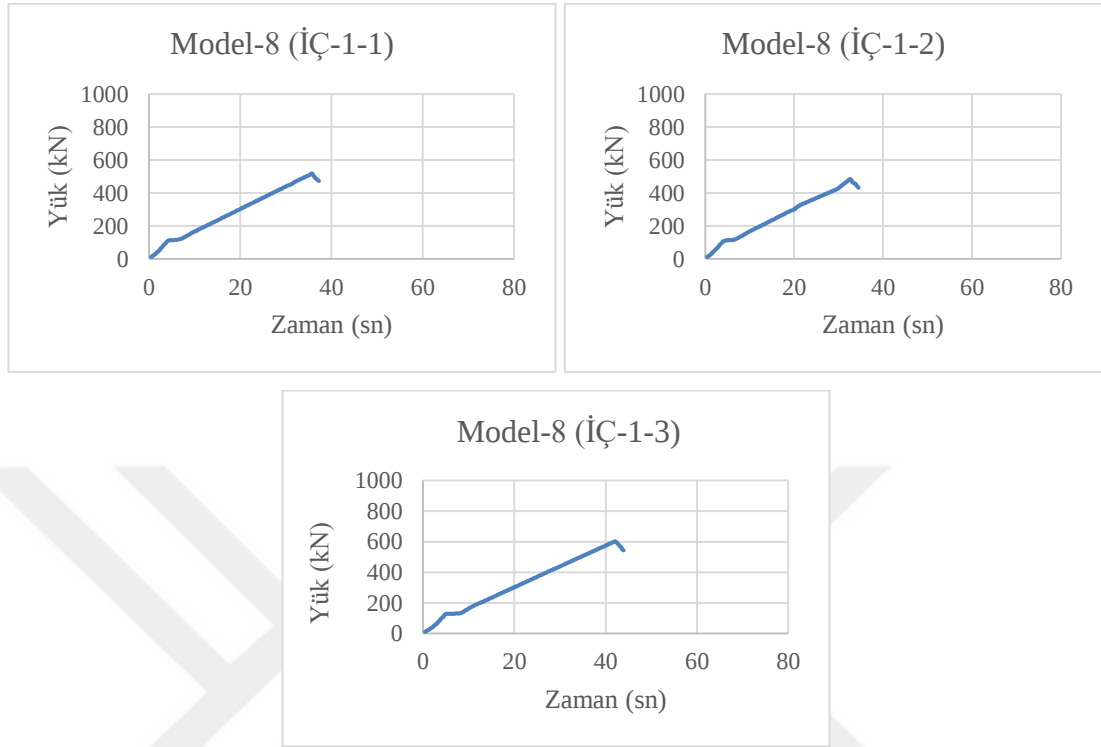
Şekil 4.29. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-8 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %8 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal çemberleme malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlaklar görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.30). Model-8'de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 518.72 kN, 485.52 kN, 602.87 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.30. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağı olarak Model-8 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Model-8 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

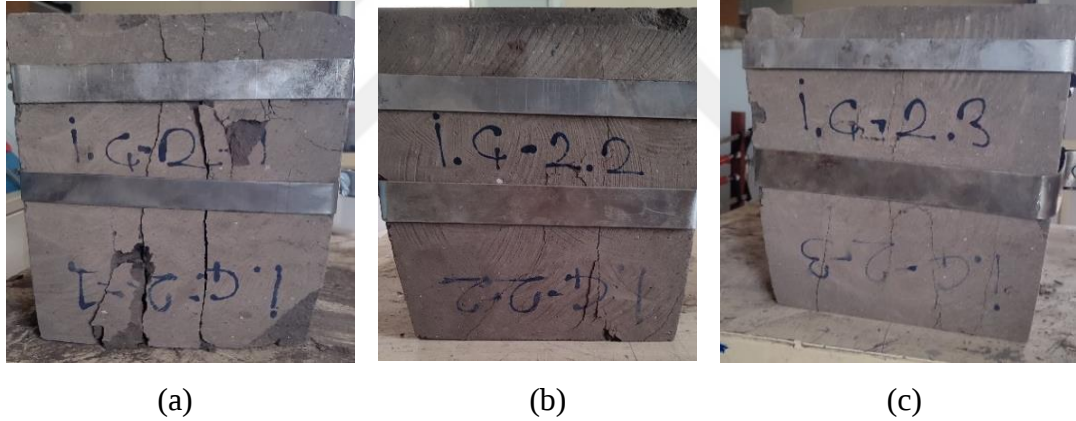
4.11. Model – 9

Model-9 numunelerinin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin yaklaşık olarak 50 mm ve 200 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.32 ‘de verilen Model-9 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 2 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



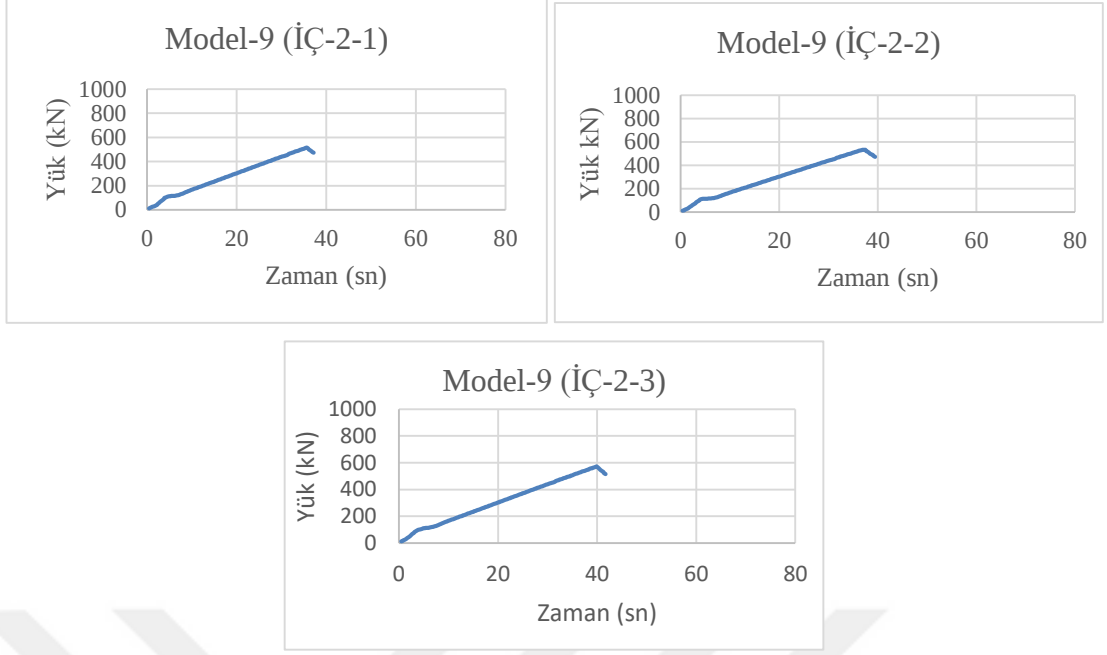
Şekil 4.32. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-9 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %10 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal çemberleme malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlamlar görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.33). Model-9’da numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 516.72 kN, 532.02 kN, 571.70 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.33. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

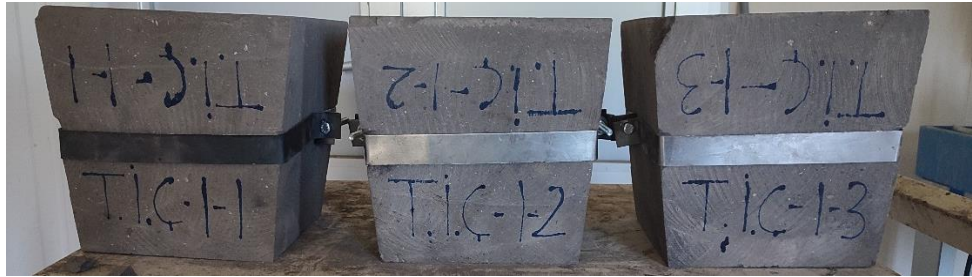
Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-9 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.34’de verilmiştir.



Şekil 4.34. Model-9 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.12. Model – 10

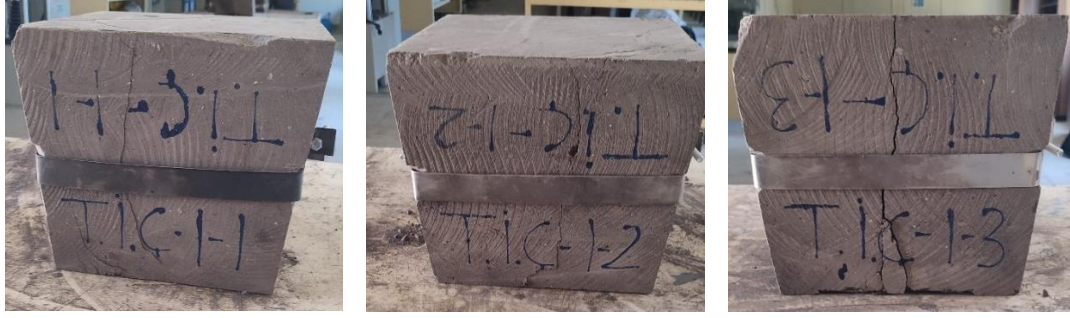
Model-10'daki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Daha sonra metal çemberin köşelerinin daha iyi yerleşmesi için numunelerin metal çemberlere denk gelen köşeleri törpülenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin 150 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.35 'de verilen Model-10 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 2 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.35. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

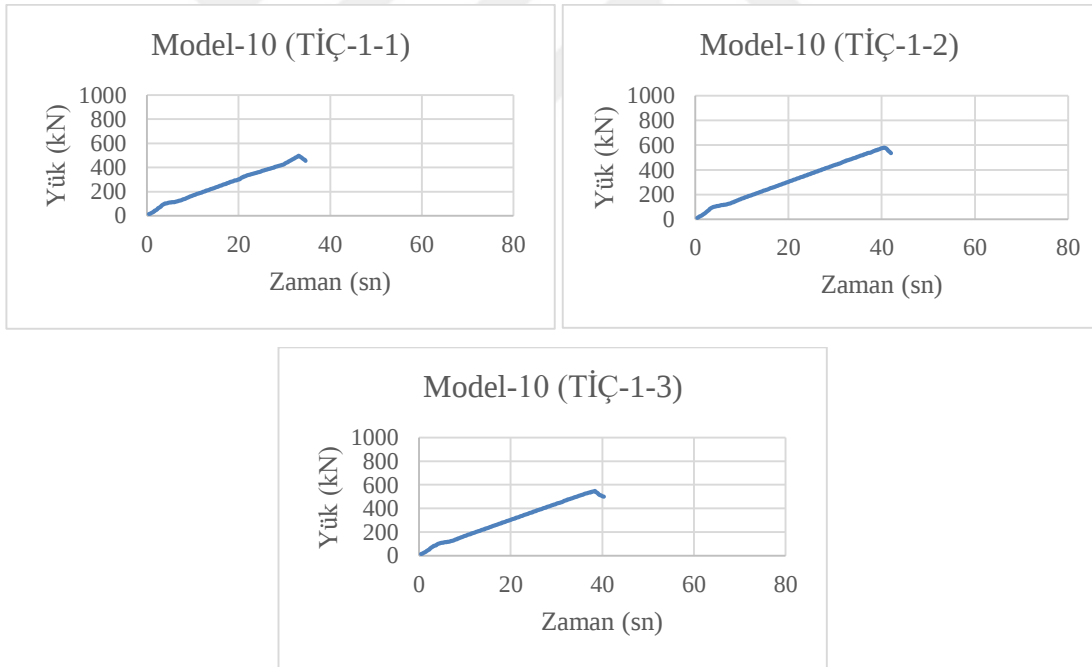
Model-10 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %10 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal çemberleme malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlamlar

görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.36). Model-10’da numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 498.41 kN, 580.02 kN, 547.73 kN olarak elde edilmiştir.



(a) (b) (c)
Şekil 4.36. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.13. Model – 11

Model-11’deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Daha sonra metal çemberin köşelerinin daha iyi yerleşmesi için numunelerin ilgili köşe kısımları törpülenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan

lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin yaklaşık olarak 50 mm ve 200 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.38 'de verilen Model-11 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 2 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



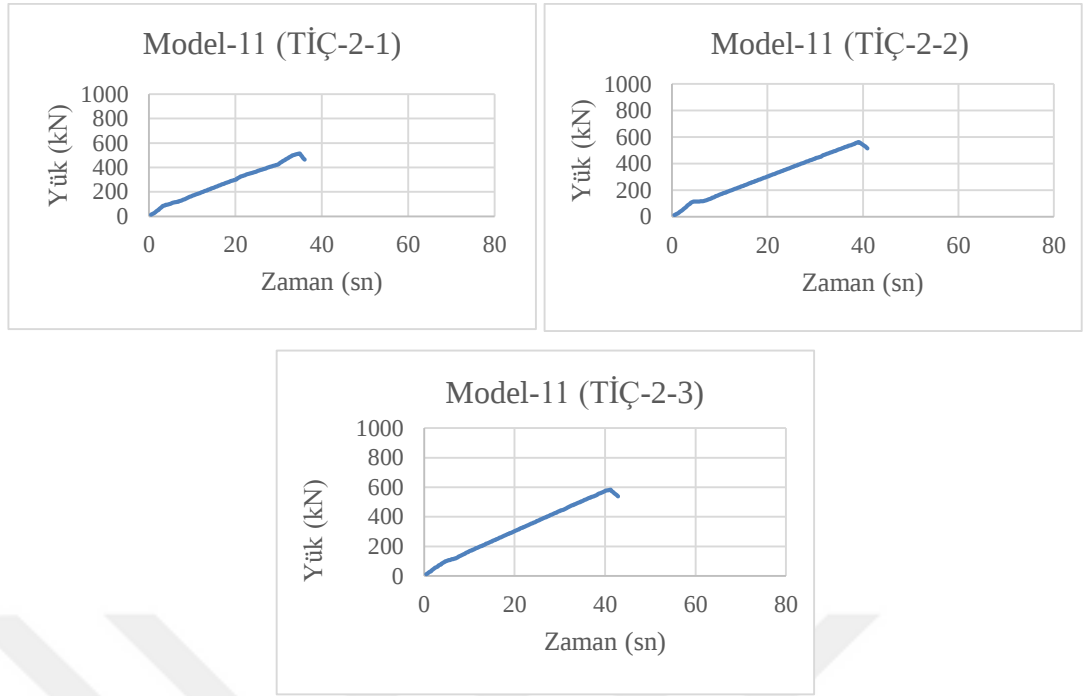
Şekil 4.38. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-11 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %12 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal çemberleme malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlamlar görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.39). Model-11'de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 513.04 kN, 562.20 kN, 583.49 kN olarak belirlenmiştir.



(a) (b) (c)
Şekil 4.39. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40. Model-11 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.14. Model – 12

Model-12'deki numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin yaklaşık olarak 150 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.41 'de verilen Model-12 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 5 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.41. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-12 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %8 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal Çemberleme malzemesinde herhangi bir

kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlamlar görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.42). Model-12’de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 534.46 kN, 543.32 kN, 524.20 kN olarak elde edilmiştir.



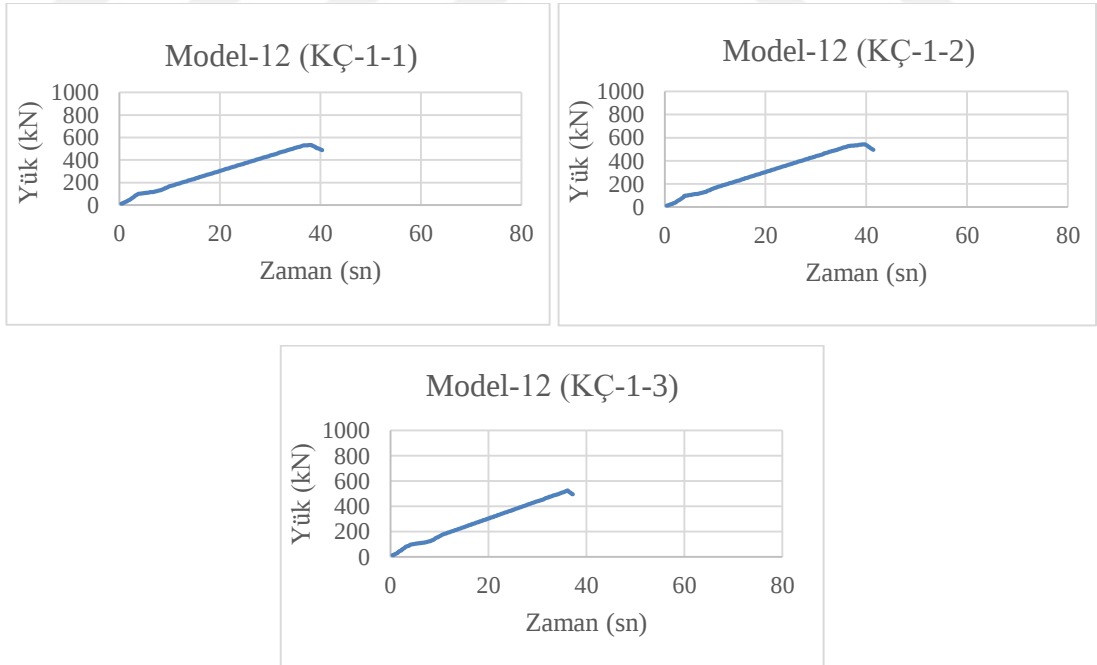
(a)

(b)

(c)

Şekil 4.42. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

Uygulanan kuvvete bağlı olarak Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.43’de verilmiştir.



Şekil 4.43. Model-12 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

4.15. Model – 13

Model-13 için hazırlanan numunelerin güçlendirme işlemi yapılacağı kısımlar öncelikle belirlenmiştir. Metal çemberleme için yaptırılan lamalar sütun başlığının üst yüzeyinin 50 mm ve 200 mm altından sabitlenerek pul ve cıvata yardımıyla sıkıştırılmıştır. Tasarım Şekil 4.44 'de verilen Model-13 sütun başlıklarına 30 mm genişliğinde ve 5 mm et kalınlığında U şeklindeki lamalar sütun başlığının etrafına yerleştirilmiştir. Yerleştirilen metal çemberler pul ve cıvatalar yardımı ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.44. Metal çemberleme uygulaması yapılmış sütun başlığı numuneleri.

Model-13 numunelerinin yapılan yüklemelerde referans numunesinden yaklaşık %6 daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Metal Çemberleme malzemesinde herhangi bir kopma meydana gelmemiştir, metal çemberlemenin yapıldığı yerlerde çatlamlar görülmektedir, numunelerde parça kopması meydana gelmiştir. Numunelerde referans numunesine benzer şekilde yük eksenine paralel biçimde çatlaklar görülmektedir (Şekil 4.45). Model-13'de numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 459.32 kN, 584.49 kN, 523.51 kN olarak belirlenmiştir.



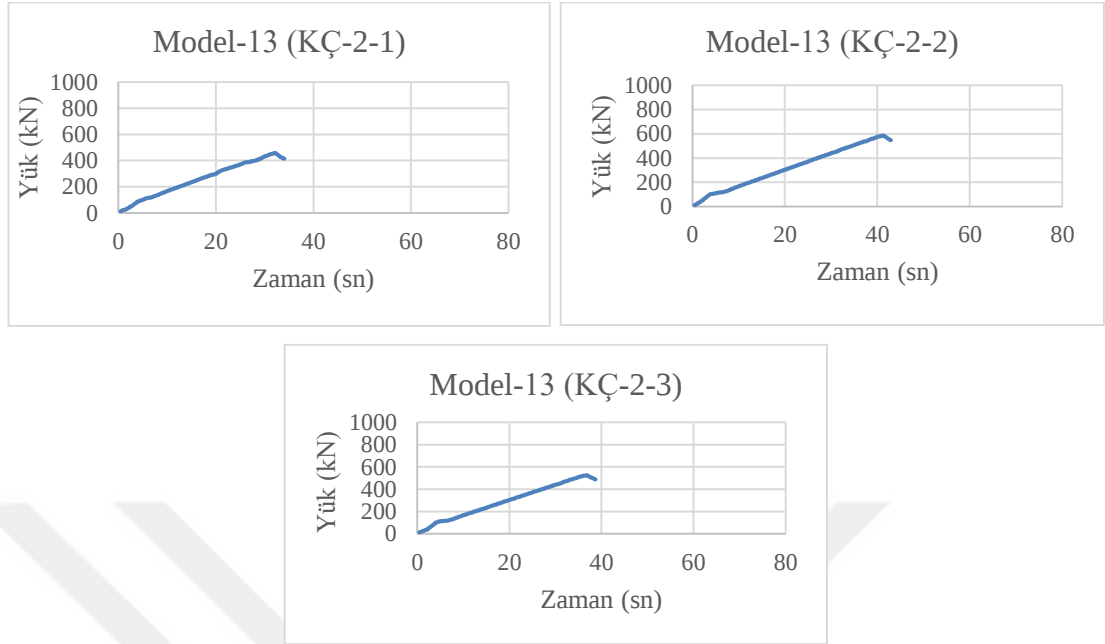
(a)

(b)

(c)

Şekil 4.45. Numunelerin pres makinesinde kırıldıktan sonraki halleri.

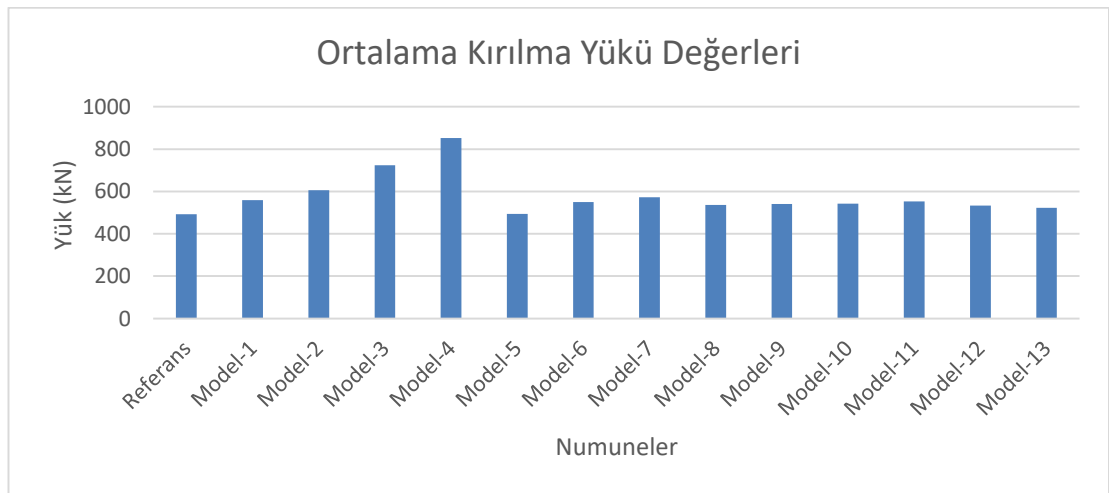
Uygulanan kuvvete bağı olarak Model-10 numunelerinin yük-zaman grafikleri Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. Model-13 numunelerinin yük-zaman grafikleri.

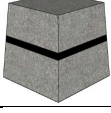
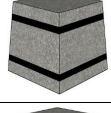
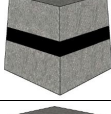
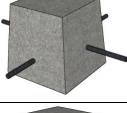
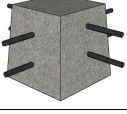
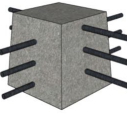
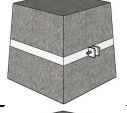
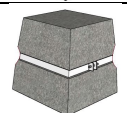
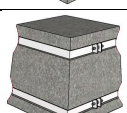
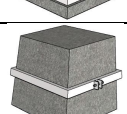
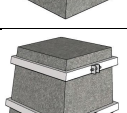
4.16. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Eksenel kuvvet uygulanan numunelerin ortalama kırılma yükü değerleri Şekil 4.47'de ve deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Deneylerde her model için 3 numune kullanılmıştır. Bu 3 numunenin ortalamaları alınarak her model için ayrı ayrı kırılma yükü değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.47. Eksenel kuvvet uygulanan numunelerin ortalama kırılma yük değerleri.

Çizelge 4.1. Deney sonuçları.

Model			Numuneler	Kırılma Yüğü (kN)	Ortalama Kırılma Yüğü (kN)	Yük Değişim Oranı (%)
Referans			R-1	464,43	492,3	0
			R-2	513,64		
			R-3	498,84		
Model 1	FRP Uygulaması		F-1-1	579,73	559,4	14
			F-1-2	552,41		
			F-1-3	546,06		
Model 2			F-2-1	659,30	605,6	23
			F-2-2	548,73		
			F-2-3	608,82		
Model 3			FK-1-1	742,25	724,3	47
			FK-1-2	675,94		
			FK-1-3	754,66		
Model 4			FK-2-1	806,17	852,3	73
			FK-2-2	889,72		
			FK-2-3	860,97		
Model 5	Gijon Uygulaması		G-1-1	511,45	494,6	0,4
			G-1-2	465,10		
			G-1-3	507,29		
Model 6			G-2-1	561,05	550,6	12
			G-2-2	557,64		
			G-2-3	533,23		
Model 7			G-3-1	593,07	572,9	16
			G-3-2	577,64		
			G-3-3	548,34		
Model 8	Metal Çemberleme Uygulaması		İÇ-1-1	533,72	535,7	8
			İÇ-1-2	515,52		
			İÇ-1-3	557,87		
Model 9			İÇ-2-1	516,72	540,1	10
			İÇ-2-2	532,02		
			İÇ-2-3	571,70		
Model 10			TİÇ-1-1	498,41	542,1	10
			TİÇ-1-2	580,02		
			TİÇ-1-3	547,73		
Model 11			TİÇ-2-1	513,04	552,9	12
			TİÇ-2-2	562,20		
			TİÇ-2-3	583,49		
Model 12			KÇ-1-1	534,46	533,9	8
			KÇ-1-2	543,32		
			KÇ-1-3	524,20		
Model 13			KÇ-2-1	501,32	522,4	6
			KÇ-2-2	542,49		
			KÇ-2-3	523,51		

Çizelge 4.1'e göre Referans numunelerinin yük taşıma kapasitesi ortalama 492.3 kN olarak hesaplanmıştır.

Sütun başlığı yüksekliğinin %10'una denk gelecek şekilde, orta noktasını FRP şerit ile tamamen sararak tasarlanan Model-1'in yük taşıma kapasitesi ortalama 559.4 kN olarak hesaplanmıştır. Model-1 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-1'in taşıma kapasitesini %14 artırdığı görülmektedir. Sütun başlığının alt ve üst kısımlarını tamamen sararak, toplamda sütun başlığı yüksekliğinin %20'sine denk gelecek şekilde FRP uygulaması ile tasarlanan Model-2'nin yük taşıma kapasitesi ortalama 605.6 kN olarak hesaplanmıştır. Model-2 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-2'nin taşıma kapasitesini %23 artırdığı görülmektedir. Sütun başlığı yüksekliğinin %20'sine denk gelecek şekilde, orta noktasını FRP uygulaması ile tamamen sararak tasarlanan Model-3'ün yük taşıma kapasitesi ortalama 724.3 kN olarak hesaplanmıştır. Model-3 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-3'ün taşıma kapasitesini %47.0 artırdığı görülmektedir. Sütun başlığının alt ve üst kısımlarını tamamen sararak, toplamda sütun başlığı yüksekliğinin %33'üne denk gelecek şekilde FRP uygulaması ile tasarlanan Model-4'ün yük taşıma kapasitesi ortalama 852.3 kN olarak hesaplanmıştır. Model-4 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-4'ün taşıma kapasitesini %73.0 artırdığı görülmektedir.

Her iki doğrultuda da numunenin içerisinden birer adet gijon geçirilerek tasarlanan Model-5'in yük taşıma kapasitesi ortalama 494.6 kN olarak hesaplanmıştır. Model-5 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-5'in taşıma kapasitesini %0.4 artırdığı görülmektedir. Her iki doğrultuda da numunenin içerisinden ikişer adet gijon geçirilerek tasarlanan Model-6'nın yük taşıma kapasitesi ortalama 550.6 kN olarak hesaplanmıştır. Model-6 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-6'nın taşıma kapasitesini %12 artırdığı görülmektedir. Her iki doğrultuda da numunenin içerisinden üçer adet gijon geçirilerek tasarlanan Model-7'nin yük taşıma kapasitesi ortalama 572.9 kN olarak hesaplanmıştır. Model-7 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-7'nin taşıma kapasitesini %16 artırdığı görülmektedir.

Numunelerin orta kısımlarına 2 mm et kalınlığındaki ince metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-8'in yük taşıma kapasitesi ortalama 535.7 kN

olarak hesaplanmıştır. Model-8 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-8'in taşıma kapasitesini %8 artırdığı görülmektedir. Numunenin alt ve üst kısımlarına 2 mm et kalınlığındaki ince metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-9'un yük taşıma kapasitesi ortalama 540.1 kN olarak hesaplanmıştır. Model-9 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-9'un taşıma kapasitesini %10 artırdığı görülmektedir.

Numunelerin orta kısımlarına denk gelen kenarlar törpüledikten sonra 2 mm et kalınlığındaki ince metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-10'un yük taşıma kapasitesi ortalama 542.1 kN olarak hesaplanmıştır. Model-10 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-10'un taşıma kapasitesini %10 artırdığı görülmektedir. Numunelerin alt ve üst kısımlarına denk gelen kenarlar törpüledikten sonra 2 mm et kalınlığındaki ince metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-11'in yük taşıma kapasitesi ortalama 552.9 kN olarak hesaplanmıştır. Model-11 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-11'in taşıma kapasitesini %12 artırdığı görülmektedir.

Numunelerin orta noktalarına 5 mm et kalınlığındaki kalın metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-12'nin yük taşıma kapasitesi ortalama 533.9 kN olarak hesaplanmıştır. Model-12 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-12'nin taşıma kapasitesini %8 artırdığı görülmektedir. Numunelerin alt ve üst kısımlarına 5 mm kalınlığındaki kalın metal çemberleme uygulaması yapılarak tasarlanan Model-13'ün yük taşıma kapasitesi ortalama 522.4 kN olarak hesaplanmıştır. Model-13 ile Referans numunesi karşılaştırıldığında yapılan güçlendirmenin Model-13'ün taşıma kapasitesini %6 artırdığı görülmektedir.

FRP uygulaması ile yapılan güçlendirme yöntemi Model-1, Model-2, Model-3 ve Model-4'e uygulanmıştır. Bu modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 852.3 kN ile Model-4'te meydana gelmiştir. Model-4'ün, referans numunesine göre taşıma kapasitesinde %73'lük artış gerçekleşmiştir.

Gijon uygulaması ile yapılan güçlendirme yöntemi Model-5, Model-6 ve Model-7'ye uygulanmıştır. Bu modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 572.9 kN ile Model-7'de meydana gelmiştir. Model-7'nin, referans numunesine göre taşıma kapasitesinde %16'lık artış gerçekleşmiştir.

İnce metal çemberle uygulaması ile yapılan güçlendirme Model-8 ve Model-9'a uygulanmıştır. Bu modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 540.1 kN ile Model-9'da meydana gelmiştir. Model-9'un, referans numunesine göre taşıma kapasitesinde %10'luk artış gerçekleşmiştir.

Köşeleri törpülenmiş ince metal çemberle uygulaması ile yapılan güçlendirme Model-10 ve Model-11'e uygulanmıştır. Bu modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 552.9 kN ile Model-11'de meydana gelmiştir. Model-11'in, referans numunesine göre taşıma kapasitesinde %12.3'lük artış gerçekleşmiştir.

Kalın metal çemberle uygulaması ile yapılan güçlendirme Model-12 ve Model-13'e uygulanmıştır. Bu modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 533.9 kN ile Model-12'de meydana gelmiştir. Model-12'nin, referans numunesine göre taşıma kapasitesinde %8.5'lik artış gerçekleşmiştir.

Deneysel çalışma sonuçlarına göre, güçlendirme yapılan modeller içerisinde FRP uygulaması yapılarak güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 852.3 kN ile Model-4'te gerçekleşmiştir. Gijon uygulaması yapılarak güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 572.9 kN ile Model-7'de gerçekleşmiştir. İnce metal çemberleme uygulaması yapılarak güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 540.1 kN ile Model-9'da gerçekleşmiştir. Köşeleri törpülenmiş ince metal çemberleme uygulaması yapılarak güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 552.9 kN ile Model-11'de gerçekleşmiştir. Kalın metal çemberleme uygulaması yapılarak güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 533.9 kN ile Model-12'de gerçekleşmiştir.

Bu sonuçlara göre, yapılan güçlendirme yöntemleri arasında taşıma kapasitesindeki yüzdesel artış sırasıyla en fazla FRP uygulaması, gijon uygulaması ve metal çemberleme uygulaması ile sağlanmıştır. Metal çemberleme yöntemlerinde beklenen artış istenilen düzeyde meydana gelmemiştir. Metal çemberleme uygulamalarının, sütun başlığına gelen yükün etkisiyle kırılan numunelerin dağılmasını engellediği gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tarihi yapıların korunması ve hasar almış yapıların onarım ve güçlendirilmesi, hizmet verebilirlik ve geleceğe güvenle aktarım açısından oldukça önemlidir. Yapılara gerekli müdahalelerinin yapılabilmesi için mevcut durumlarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tarihi yapıların sütun başlıklarında karşılaşılan hasar tipleri, hasar kaynakları ve bu başlıklarda hasar meydana gelmemesi için uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri araştırılmıştır. Aynı özelliklerde üretilen sütun başlığı numunelerine farklı güçlendirme yöntemleri uygulanarak bu sütun başlıklarının yeni taşıma yükü kapasiteleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda alt kenarı 300x300 mm, üst kenarı 250x250 mm ve yüksekliği 300 mm olan kesik piramit şeklinde 42 adet sütun başlığı üretilmiştir. Bu sütun başlıklarından 3 tanesi referans numunesi olarak belirlenmiştir. Diğer sütun başlıkları ise 3'erli gruplara ayrılarak 13 farklı güçlendirme modeli tasarlanmıştır. Bu modellerden Model-1, Model-2, Model-3 ve Model-4'te FRP kullanılmıştır. Model-5, Model-6 ve Model-7'de sütun başlıklarında eğimli yüzeylerin ve işleme sanatının olması durumunda FRP ve metal çember uygulaması yapılamayacağından değişik sayılarda çelik çubuk (gijon) ard gerilmesi uygulaması yapılmıştır. Model-8 ve Model-9, 30 mm genişliğinde 2 mm et kalınlığındaki metal çemberlerin, sütun başlığı yüksekliğinin ortasından tek veya sütun kenarlarından çift olarak uygulanması ile oluşturulmuştur. Model 10 ve 11, Model 8 ve Model 9 da çemberlerin numune kenarlarında eğim kaynaklı gerilme birikmelerine neden olabileceği için bu kenarların çember köşelerine uygun şekilde törpülenmesi ile oluşturulmuştur. Yine aynı şekilde Model 12 ve Model 13, Model 8 ve Model 9'da kullanılan 30 mm genişliği 2 mm et kalınlığındaki metal çemberlerin et kalınlığının 5 mm'ye çıkarılması ile elde edilmiştir.

FRP uygulaması yapılarak güçlendirilen modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 852.3 kN ile Model-4'te görülmektedir ve Model-4'ün referans numunesine göre taşıma kapasitesi artışı %73 olarak hesaplanmıştır. Gijon uygulaması yapılarak güçlendirilen modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 572.9 kN ile Model-7 görülmektedir ve Model-7'nin referans numunesine göre taşıma kapasitesi artışı %16.4 olarak hesaplanmıştır. İnce metal çemberleme uygulaması yapılarak güçlendirilen modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 540.1 kN ile Model-

9’da görülmektedir ve Model-9’un referans numunesine göre taşıma kapasitesi artışı %9.7 olarak hesaplanmıştır. Kenarları törpülenmiş ince metal çemberleme uygulaması yapılarak güçlendirilen modeller arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 552.9 kN ile Model-11’de görülmektedir ve Model-11’deki taşıma kapasitesi artışı %12.3 olarak hesaplanmıştır. 5 mm et kalınlığındaki metal çemberler ile güçlendirilen numuneler arasında en fazla yük taşıma kapasitesi 533.9 kN ile Model-12’de görülmektedir ve Model-12’deki taşıma kapasitesi artışı %8.5 olarak hesaplanmıştır.

Sütun başlıklarının orta kısmına ve alt üst kenarlarına uygulanarak yapılan FRP şerit güçlendirme yönteminde, sütun başlıklarında meydana gelen taşıma kapasitesindeki değişimi incelenmiştir. Daha sonra FRP şerit uygulamasındaki şerit genişliğinin iki kat artırılmasıyla FRP şerit genişliğinin sütun başlıklarına etkisinin ne düzeyde olduğu araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda FRP şerit uygulaması yapılarak tasarlanan modeller arasında şerit sayısının artırılmasının ve şerit genişliğinin artırılmasının, sütun başlığının taşıma kapasitesinde önemli düzeyde artış meydana getirdiği görülmüştür. Yük taşıma kapasiteleri ve kullanılabilirlik düzeylerine göre hazırlanan, farklı güçlendirme yöntemlerinin uygulandığı modeller arasında, düşey yük taşıma kapasitesindeki artış en fazla FRP şerit ile yapılan güçlendirme yönteminde meydana gelmiştir.

Bazı sütun başlıklarında oyma, işleme, süsleme ve heykel gibi sanatsal değerlerin var olması, FRP şerit uygulamasının yapılmasını veya metal çemberleme yönteminin uygulanmasını mümkün hale getirememektedir. Bu nedenle bu uygulamalara nispeten alternatif bir uygulama olan, Gijon olarak adlandırılan çelik çubukların sütun başlığının içerisinden geçirilerek sütun başlığına bir ard gerilme verilmesi sonucu taşıma kapasitesinde meydana gelen artış araştırılmıştır. Sütun başlığı içerisinden geçen gijonların adetleri artırılarak, bu uygulamaların sütun başlığı taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Gijon uygulaması yapılarak tasarlanan modeller arasında, Gijon sayısının artırılmasıyla, sütun başlığının yük taşıma kapasitesinde de dikkate değer artış meydana gelmiştir.

Günümüzde güçlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan metal çemberleme uygulamasında, farklı et kalınlığına sahip metal çemberlerin sütun başlıklarına sabitlenmesiyle, sütun başlıklarında meydana gelebilecek taşıma gücü değişimleri incelenmiştir. İlaveten metal çemberlemenin sütun başlığının alt ve üst kısımlarına

yapılmasının sütun başlıklarının taşıma gücüne olan etkileri sorgulanmıştır. Metal çemberleme yapılırken metal çemberlerin etkilediği köşelerde bir gerilme yığılmasının olmaması için taşın bu bölgeleri yontularak metal çember köşelerine daha uygun hale getirilmiş ve taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Metal çemberleme yöntemleri arasında, çember sayısının ve çemberin et kalınlığının artırılmasının sütun başlığının yük taşıma kapasitesine olumlu etkisinin olduğu fakat beklenen düzeyde bir artışın olmadığı görülmüştür. Ancak metal çemberin et kalınlığı artırılarak kıyaslanan modeller arasında, ortadan yapılan metal çemberleme yönteminin yük taşıma kapasitesinin alt üst kısımlardan yapılan metal çemberleme yöntemine göre daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise metal çemberlerin et kalınlığının fazla olmasından dolayı esneme yapamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Metal çemberleme ile yapılan güçlendirme yönteminin, numuneler kırıldıktan sonra numunelerin dağılmasını engellediği tespit edilmiştir.

Tarihi yapılara bakıldığında genelde kesik piramit şeklinde sütun başlıkları görüldüğünden, çalışmada ele alınan modellerdeki sütun başlığı kesik piramit şeklindedir. Bununla birlikte dikdörtgenler prizması, silindir ve kesik koni şeklinde sütun başlıklarına da rastlanılmaktadır. Bu çalışmada dikkate alınan güçlendirme yöntemlerinin ve deneysel modellerin silindir ve kesik koni şeklindeki sütun başlıklarındaki işlevselliği ayrı bir araştırma konusudur. Özellikle metal çemberleme yönteminin eğrisel sütun başlığı yüzeylerde daha iyi sonuç vereceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada deney aleti sınırları içerisinde kalma açısından emniyetli tarafta kalabilmek için nispeten düşük dayanıma sahip bir doğal taş tercih edilmiştir. Çünkü bazı güçlendirme modellerinde taşıma kapasitesinin çok artabileceği ihtimali göz önüne alınmıştır. Bununla beraber yapılan güçlendirmelerin basınçta çalışan sütun başlıklarının taşıma kapasitesini en fazla %70 civarında arttırdığı görülmüştür. Bununla beraber yüksek basınç dayanımına sahip (farklı fiziksel özellikleri olan) doğal taş kullanarak imal edilmiş sütun başlıklarının güçlendirilmesinin de araştırılması gereken yeni bir çalışma konusu olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aiello, M.A., Micelli, F. ve Valente, L., 2005. Circular masonry columns confined with Frp, composites in construction, Third International Conference, Lyon, France, 485-492.
- Aiello, M.A., Micelli, F. ve Valente, L., 2007. Structural up grading of masonry columns by using composite reinforcements, Journal of Composites for Construction, 11, 6, 650-658.
- Aiello, M. A., Micelli, F. ve Valente, L., 2009. FRP Confinement of Square Masonry Columns, Journal of Composites for Construction, 13, 2, 148-158.
- Alotaibi, K. ve Galal, K., 2017. Axial compressive behavior of grouted concrete block masonry columns confined by CFRP jackets. Composites Part B. 11, 4, 467-479.
- Amman, B., 2012. Tarihi yapıların hasar onarım tespiti ve restorasyon çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Aşık, M. F., 2018. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar için onarım ve güçlendirme teknikleri, Zeburi Mescidi'nin model analizi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Bal, A. ve Şimşek, S.S., 2019. Tarihi yığma bir yapının lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme alternatiflerinin araştırılması ve proje uygulaması, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 4, 3, 112-119.
- Balsamo, A., Ludovico, M., Prota, A. ve Manfredi, G. 2009. confinement of brick masonry columns with advanced materials, 13-15 July, Sydney, Australia.
- Baranaydın, F., 2020. Ephesos St. Jean Kilisesi Kiborion sütunu 1963 yılı restorasyonuna güncel bir yaklaşım, AMİSOS, 5, 8, 31-50.
- Brandonisio, G., Angelillo, M. ve De Luca, A., 2020. Seismic capacity of buttressed masonry arches, Engineering Structures, 215, 110661. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110661>
- Brown, E.T., 1981. Suggested methods of rock characterization testing and monitoring, International Journal of Rock Mechanics, 18, 6, 109-116.
- Corradi, M., Grazini, A. ve Borri, A., 2007. Confinement of brick masonry columns with CFRP materials, Composites Science and Technology, 67, 14, 1772-1783.
- Çelik, O.C., 2014. Yapısal restorasyon mühendisliği ilkeleri ve uygulama örnekleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu çalışması, İstanbul.

- Çelik, T., 2020. Tarihi cami kubbelerinde güçlendirme yöntemlerinin deneysel metotlarla incelenmesi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Çöğürçü, M.T., 2007. Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dabanlı, Ö., 2008. Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirtaş, M.B., 2006. Magnesia Artemis Tapınağı'nın teknik ve işçilik özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Duran, F., 2009. Erciyes volkanizmasının oluşumu, Koçcağz köyü (Kayseri) dolayının stratigrafisi ve tüflerin yapı-kaplama taşı olarak kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H. ve Velazquez-Dimas, J.I., 1999. Behavior of retrofitted URM walls under simulated earthquake loading, Journal of Composites for Construction, 3, 134-142.
- Fırat, F.K. ve Eren, A., 2015. Investigation of FRP effects on damaged arches in historical masonry structures, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30, 4, 659-670.
- Fırat, F.K., Tanrıverdi, Ş., Ural, A. ve Kara, M.E., 2022. Kubbe yapı formlarının kenet ile güçlendirilmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11, 2, 326-334.
- Fırat, F.K., Ural, A. ve Kara, M.E., 2022. January 24, 2020 Sivrice Earthquake and the response of the masonry Haci Yusuf Tas (New) mosque, Earthquakes and Structures, 22, 4, 331-343.
- Gedik, Y.H., 2008. Analysis, repair and strengthening of historical masonry structures case study: Mehmet Aga Mosque, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Girgin, O., 2014. Nikomedia ve çevresinden Roma ve Bizans dönemi sütun başlıkları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Güven, A. ve Fırat, F.K., 2022. Tarihi yapılardaki hasarlı sütunların güçlendirilme yöntemleri, 9. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 81-89.
- Güven, A. ve Fırat, F. K., 2022. Tarihi yapıların sütunlarında görülen hasar türleri, 7. Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 395-402.

- Harajli, M., El Khatib, H. ve Tomas San-Jose, J., 2010. Stativand cyclic out-of-plane response of masonry walls strengthened using textile-mortar system, *Journal of Materials in Civil Engineering*, DOI:10.1061/_ASCE_MT.1943-5533.0000128.
- Kaygısız, H., 2010. Kayseri yöresindeki yapıtaşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Krevaikas, T.D. ve Triantafillou, T.C., 2005. Masonry confinement with Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Compositesfor Construction*, 9, 2, 128-135.
- Ludovico, M.D., Ambra, C., Prota, A. ve Manfredi, G., 2010. FRP confinement of tuffand clay brick columns experimental study and assessment analytical models, *Journal of Composites for Construction*, 14, 5, 143-151.
- Mahrabel, H.A., 2006. Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri hasarlar onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maras M.M. ve Kose M.M., 2021. Structural behavior of masonry panels strengthened using geopolymer composites in compression tests, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 45, 767-777, <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00433-6>.
- Moosavi, M. ve Ziyaeifar, M., 2020. A simplified model for investigation on the effects of seismic actions on masonry arch bridges, *Iranian Journal of Science and Technology Transactions Civil Engineering* 44, 421-437, <https://doi.org/10.1007/s40996-019-00325-4>.
- Nurci, A. ve Valdes, M., 2005. Strengthening of stone mansonry columns by means of cement-based composite wrappin, *Third International Conference*, Lyon, France, July 11 – 13.
- Önlü, Ş., 2010. Yerebatan Sarnıcı'nın taşıyıcı elemanlarının analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Remki, M., Chikh, B., Kibboua, A., Kehila, F. ve Mehani1, Y., 2019. Fettareb seismic vulnerability and damage assessment of an existing URM building, *Iranian Journal of Science and Technology Transactions Civil Engineering*, 43, 569-581. <https://doi.org/10.1007/s40996-018-0187-z>
- Saygılı, O. ve J, Lemos., 2021. Seismic vulnerability assessment of masonry arch bridges, *Structures*, 33, 3311-3323.
- Sayın, E., Calayır, Y. ve Karaton, M., 2011. Tarihi Uzunok Köprüsünün lineer olmayan sismik analizi, *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 423-429.
- Schmidt, E., 1951. A non-destructive concrete tester, *Concrete*, 59, 34-35.

- Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı, F., 2007. İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülten, 89, 10-21.
- Şakalak, E., 2021. Tarihi yapıların uluslararası farklı yönetmeliklere göre analizlerinin yapılarak sonuçlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Tan K.H. ve Patoary M.K.H., 2004. Strengthening of masonry wall against out-of-plane loads using fiber-reinforcement polymer reinforcement, Journal of Composites for Construction, 8, 1, 79-87.
- Tanrıverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A. ve Fırat, F.K., 2020. Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12, 2, 56-62.
- Tetik, T., 2015. Tarihi yığma yapıların deprem performansı ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TS 699, 2009. Doğal taşlar deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1926, 2007. Doğal taşlar deney metotları, Basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar deney metotları, Gerçek yoğunluk- görünür yoğunluk- toplam ve açık gözeneklilik tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12372, 2013. Doğal taşlar deney yöntemleri, Yoğun yük altında eğilme dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü Ankara.
- TS EN 13755, 2014. Doğal taşlar deney yöntemleri, Atmosfer basıncında su emme tayini, Türk Standartları Enstitüsü Ankara.
- TS EN 13791, 2007. Basınç dayanımının yapılar ve ön dökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14157, 2017. Doğal taşlar deney yöntemleri, Aşınma direncinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uslu, S., 2013. Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Ural, A. ve Fırat, F.K., (2015). Evaluation of masonry minarets collapsed by a strong wind under uncertainty. Nat Hazards, 76, 999-1018, DOI 10.1007/s11069-014-1531-7.
- Ural, A., Fırat, F.K., Tuğrulçeli, Ş. ve Kara, M.E., 2016. Experimental and numerical study on effectiveness of various tie-rod systems in brick arches, Engineering Structures, 110, 209-221.

- Ünay, A.İ., 2002. Tarihi yapıların depreme dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Ünay, A.İ., 1997. A method for the evaluation of the ultimate safety of historical masonry structures, Ph.D Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Yılmaz, İ.A., 2014. Tarihi tuğlalarla örülen yığma kolonların harç takviyeli bazalt lifli kumaşlar ile sargılaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yurdakul, M., Yılmaz, F., Artar, M., Can, O., Oner, E. ve Daloglu, A.T., 2021. Investigation of time-history response of a historical masonry minaret under seismic loads, Structures, 30, 265-276.
- URL-1 <<https://afzir.com/tr/structural-retrofitting/seismic-retrofitting/>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-2 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nas%C4%B1r%C3%BClm%C3%BClk_Camii>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-3 <<https://kudeb.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2019/12/Kargir-Yapilarda-Koruma-ve-Onarim-Semineri-Kitabi-05.pdf>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-4 <<https://pxhere.com/tr/photo/765224>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-5 <<https://peyzax.com/antik-yunan-mimarisi-assasins-creed-odyssey/>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-6 <https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCtun_ba%C5%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-7 <<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6259/20/19.pdf>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.
- URL-8 <<https://tur.sika.com/tr/Urun-listesi.html>>, Erişim Tarihi: 29.07.2022.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Atahan GÜVEN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Ön lisans : Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi, 2012

Ön lisans : Atatürk Üniversitesi Açık öğretim Fakültesi, Adalet Bölümü 2021

Lisans : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği, 2011

Lisans : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 2014

Yüksek Lisans : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği, 2013

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 2022

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Erciyes Üniversitesi Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu / 2014-2018
2. Kayseri Üniversitesi Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu / 2018

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Güven, A. ve Fırat, F.K., 2022. Tarihi Yapılardaki Hasarlı Sütunların Güçlendirilme Yöntemleri, 9. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye,14-16 Mayıs, 81-89.
2. Güven, A. ve Fırat, F.K., 2022. Tarihi Yapıların Sütunlarında Görülen Hasar Türleri, 7. Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, İstanbul, Türkiye,16-18 Nisan, 395-402.