

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMAR SİNAN KÖPRÜLERİNİN GÜNCEL DURUM  
DEĞERLENDİRMESİ VE  
KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ RESTORASYON PROJESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Murat ALABOZ**

**Anabilim Dalı : MİMARLIK**

**Programı : RESTORASYON**

**EYLÜL 2008**

**MİMAR SİNAN KÖPRÜLERİNİN GÜNCEL DURUM  
DEĞERLENDİRMESİ VE  
KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ RESTORASYON PROJESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş. Müh. Murat ALABOZ  
(502041209)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008  
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Eylül 2008**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Gülsün TANYELİ  
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Zeynep AHUNBAY (İ.T.Ü.)  
Prof.Dr. Görün ARUN (Y.T.Ü.)**

**EYLÜL 2008**

## **ÖNSÖZ**

Mimar Sinan'ın köprüleri üzerine, mimarlık ve mühendislik yaklaşımlarını bir arada kullanarak hazırladığım bu tez çalışması sırasında ve tüm yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek olan, yol gösteren, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gülsün Tanyeli'ye, jüri üyelerim Prof. Dr. Zeynep Ahunbay ve Prof. Dr. Görün Arun'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında, kurumsal ve kişisel birikimlerinden faydalanmamı sağlayan Karayolları Genel Müdürlüğü Tarihi Köprüler Müdürü Y. Mimar Halide Sert'e,

Sabırla sorularımı dinleyen, yol gösteren, yardımlarını hiç esirgemeyen meslektaşlarım, Restorasyon Kürsüsü asistanlarından Y. İnş. Müh. Umut Almaç ve İnşaat Fakültesi asistanlarından Y. İnş. Müh. Cem Demir'e,

Tez çalışmam sırasında, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Y. Mimar Onur Karahan ve Mimar Ahmet Mutlu'ya,

Yaşamım boyunca hep yanımda olmuş, beni koşulsuz desteklemiş olan annem ve babam'a, onların yokluğunu hiç hissettirmemiş olan, tüm sıkıntılarımda hep yanımda olan Kardeşim Müge'ye sonsuz teşekkür ederim.

**Eylül 2008**

**Murat ALABOZ**

## İÇİNDEKİLER

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                        | <b>vi</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                 | <b>ix</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                              | <b>x</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| 1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı .....                        | 1         |
| 1.2. Kapsam ve Yöntem .....                                 | 1         |
| <b>2. TAŞ KEMERLİ KÖPRÜLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....</b>     | <b>3</b>  |
| 2.1. Kemer Formunun Oluşumu ve Taş Köprülerin Gelişimi..... | 3         |
| 2.2. Anadolu Köprüleri .....                                | 5         |
| 2.2.1. Anadolu'daki Roma Dönemi Köprüleri .....             | 7         |
| 2.2.2. Anadolu'daki Bizans Dönemi Köprüleri .....           | 8         |
| 2.2.3. Anadolu'daki Selçuklu Dönemi Köprüleri .....         | 10        |
| 2.2.4. Anadolu'daki Osmanlı Dönemi Köprüleri .....          | 11        |
| <b>3. YAPIM TEKNİKLERİ .....</b>                            | <b>13</b> |
| 3.1. Yapısal Özellikler.....                                | 13        |
| 3.2. İnşaat Öncesi Hazırlıklar .....                        | 15        |
| 3.3. Temel Sistemi.....                                     | 15        |
| 3.4. Kemer Biçimi .....                                     | 20        |
| 3.5. Malzeme .....                                          | 24        |
| 3.5.1. Geleneksel Yapılarda Kullanılan Taşlar .....         | 26        |
| 3.5.2. Geleneksel Harçlar .....                             | 28        |
| <b>4. KÖPRÜLERDE MEYDANA GELEN HASARLAR .....</b>           | <b>30</b> |
| 4.1. Ayaklarda Oluşan Hasarlar .....                        | 30        |
| 4.2. Sel Hasarları .....                                    | 31        |
| 4.3. Deprem Hasarları .....                                 | 33        |
| 4.4. Kaplama Malzemesi ve Drenaj Sorunları .....            | 35        |
| 4.5. Malzemelerin Dayanımı .....                            | 36        |
| 4.6. Bitkilenme .....                                       | 36        |
| 4.7. İnsan Kaynaklı Hasarlar .....                          | 36        |
| 4.7.1. Akarsu Yatağının Değiştirilmesi .....                | 37        |
| 4.7.2. Aşırı Yükleme .....                                  | 37        |
| 4.7.3. Köprü Eğiminin Değiştirilmesi .....                  | 37        |
| 4.7.4. Savaşlar .....                                       | 38        |
| 4.7.5. Hatalı Onarımlar .....                               | 38        |
| 4.7.5.1. Uygun Olmayan Malzeme Kullanımı .....              | 38        |
| 4.7.5.2. Yanlış Detay Uygulaması .....                      | 40        |
| 4.7.5.3. Kemer Formunun Değiştirilmesi .....                | 41        |

|                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. MİMAR SİNAN KÖPRÜLERİ .....</b>                                                                 | <b>42</b>  |
| 5.1. Odabaşı Köprüsü .....                                                                            | 44         |
| 5.1.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 44         |
| 5.1.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 45         |
| 5.1.3. Öneriler .....                                                                                 | 49         |
| 5.2. Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü/Gebze.....                                                        | 50         |
| 5.2.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 50         |
| 5.2.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 52         |
| 5.2.3. Öneriler .....                                                                                 | 53         |
| 5.3. Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü/Lüleburgaz.....                                                      | 53         |
| 5.3.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 54         |
| 5.3.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 55         |
| 5.3.3. Öneriler .....                                                                                 | 57         |
| 5.4. Büyükçekmece Köprüsü .....                                                                       | 58         |
| 5.4.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 59         |
| 5.4.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 59         |
| 5.4.3. Öneriler .....                                                                                 | 54         |
| 5.5. Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü/Silivri.....                                                         | 65         |
| 5.5.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 65         |
| 5.5.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 66         |
| 5.5.3. Öneriler .....                                                                                 | 68         |
| 5.6. Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü/Alpullu.....                                                         | 69         |
| 5.6.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                | 69         |
| 5.6.2. Yapının Mevcut Durumu .....                                                                    | 70         |
| 5.6.3. Öneriler .....                                                                                 | 73         |
| <b>6. KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ .....</b>                                                                     | <b>74</b>  |
| 6.1. Yapının Mimari Özellikleri.....                                                                  | 74         |
| 6.1.1. Kemer 1 .....                                                                                  | 79         |
| 6.1.2. Kemer 2 .....                                                                                  | 80         |
| 6.1.3. Ana Kemer .....                                                                                | 80         |
| 6.1.4. Tahliye Kemerleri .....                                                                        | 82         |
| 6.1.5. Hafifletme Kemerleri .....                                                                     | 83         |
| 6.1.6. Ayaklar.....                                                                                   | 83         |
| 6.1.7. Selyaranlar .....                                                                              | 84         |
| 6.1.8. Parapetler .....                                                                               | 86         |
| 6.1.9. Baba Taşları .....                                                                             | 86         |
| 6.2. Hasar Analizi.....                                                                               | 87         |
| 6.3. Restitüsyon.....                                                                                 | 92         |
| 6.4. Restorasyon.....                                                                                 | 98         |
| <b>7. YAPISAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ VE KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ<br/>(ANA KEMERİ) İÇİN BİR ÖRNEKLEME .....</b> | <b>100</b> |
| 7.1. Yığma Yapılara Etkiyen Kuvvetler .....                                                           | 100        |
| 7.2. Yığma Yapılarda Oluşan Çatlak ve Deformasyonlar.....                                             | 101        |
| 7.3. Yığma Yapıların Analizinde Kullanılan Yöntemler .....                                            | 102        |
| 7.4. Kemer Davranışı .....                                                                            | 103        |
| 7.4.1. Heyman'ın Plastik Teorisi .....                                                                | 110        |
| 7.4.2. Göçme Teorileri .....                                                                          | 111        |
| 7.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Kapuağası Köprüsü Ana Kemer Analizi.....                             | 113        |
| 7.5.1. Mikro ve Makro Modelleme .....                                                                 | 114        |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.5.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi.....                                      | 115        |
| 7.5.3. Sonlu Elemanlar Analizinde Kullanılan Geometrik Birimler.....                            | 115        |
| 7.5.3.1. Çerçeve Elemanlarla Çözüm.....                                                         | 115        |
| 7.5.3.2. Kabuk Elemanlarla Çözüm.....                                                           | 118        |
| 7.5.3.3. Katı Elemanlarla Çözüm Yöntemi.....                                                    | 120        |
| <b>8.SONUÇ.....</b>                                                                             | <b>122</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                          | <b>124</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                                               | <b>127</b> |
| <b>EK-A:Karayolları Genel Müdürlüğü Rölöveleri .....</b>                                        | <b>128</b> |
| EK-A1 Karayolları Genel Müdürlüğü Halkalı Odabaşı Köprüsü Rölöve Çizimleri .....                | 129        |
| EK-A2 Karayolları Genel Müdürlüğü Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Rölöve Çizimleri ..... | 131        |
| EK-A3 Karayolları Genel Müdürlüğü Büyükçekmece Köprüsü Rölöve Çizimleri .....                   | 133        |
| EK-A4 Karayolları Genel Müdürlüğü Alpullu Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Rölöve Çizimleri .....    | 138        |
| EK-A5 Karayolları Genel Müdürlüğü Haramidere Kapuağası Köprüsü Rölöve Çizimleri .....           | 140        |
| <b>EK-B :Karayolları Genel Müdürlüğü Onarım Raporları.....</b>                                  | <b>142</b> |
| EK-B1 Alpullu'da Sinanlı Köprüsü'nün Durumu Üzerine Not.....                                    | 143        |
| EK-B2 Haramidere (Kapuağası) Köprüsü .....                                                      | 145        |
| EK-B3 Tarihi Silivri Köprüsü Onarımı'na Ait Not .....                                           | 147        |
| EK-B4 Sultan Süleyman Köprüsü .....                                                             | 149        |
| EK-B5 Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü .....                                                         | 151        |
| <b>EK-C: Çizimler .....</b>                                                                     | <b>153</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                           | <b>163</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|            |                                                                                              |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | MÖ 2700-2250 Keops Piramidinde kullanılmış olan ters V şeklindeki ilk kemer formlarına örnek | 4  |
| Şekil 2.2  | Cloaca Maxima                                                                                | 4  |
| Şekil 2.3  | Boğazköy Köprüsü                                                                             | 5  |
| Şekil 2.4  | Boğazköy Köprüsü detay                                                                       | 5  |
| Şekil 2.5  | Aslanlı Kapı Hattuşaş (bilgisayarla yapılmış rekonstrüksiyonu, H. Schriever)                 | 6  |
| Şekil 2.6  | Hiyeroglifli Oda – Boğazköy                                                                  | 6  |
| Şekil 2.7  | Anadoludaki Roma Dönemi Köprüleri                                                            | 7  |
| Şekil 2.8  | Anadolu Bizans Köprüleri                                                                     | 9  |
| Şekil 2.9  | Justinyen Köprüsü / Sakarya                                                                  | 9  |
| Şekil 2.10 | Anadolu Selçuklu Köprüleri                                                                   | 10 |
| Şekil 2.11 | Anadolu Osmanlı Köprüleri                                                                    | 11 |
| Şekil 3.1  | Köprü elemanları                                                                             | 14 |
| Şekil 3.2  | Batardo tekniği ile temel çukuru açılması                                                    | 17 |
| Şekil 3.3  | Çıkırıklar ile su çekilmesi                                                                  | 17 |
| Şekil 3.4  | Konjic Köprüsü ayak temelleri                                                                | 18 |
| Şekil 3.5  | Konjic Köprüsü temelinde bulunan ahşap ızgara                                                | 19 |
| Şekil 3.6  | Ahşap kazıklar ve temel inşaatı (Orleans Köprüsü/Fransa 1751)                                | 19 |
| Şekil 3.7  | Köprü ayağı altında ahşap kazıklar, Gomeznarro Köprüsü, Valladolid, İspanya                  | 20 |
| Şekil 3.8  | Kemer üzerinde oluşan kuvvetler                                                              | 20 |
| Şekil 3.9  | Kemer kalıp iskelesi                                                                         | 21 |
| Şekil 3.10 | Pont Du Gard su kemeri üzerinde kalıp iskelesi izleri                                        | 21 |
| Şekil 3.11 | Kemer kalıp iskelesi (Sakarya yakınlarında yakın dönem bir köprü inşaatından)                | 22 |
| Şekil 3.12 | Sivri kemer tipleri                                                                          | 23 |
| Şekil 3.13 | Üstten teğet kemer                                                                           | 24 |
| Şekil 3.14 | Basık kemer ve dairesel kemer                                                                | 24 |
| Şekil 3.15 | Yapı malzemelerinin ve yığma yapının gerilme-deformasyon grafiği                             | 25 |
| Şekil 3.16 | Taşların dayanım değerleri                                                                   | 27 |

|                   |                                                                        |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.17</b> | Mimar Sinan yapılarında kullanılan taşların mühendislik özellikleri    | 28 |
| <b>Şekil 4.1</b>  | Mataracı Köprüsü kemer ayağında sel hasarı                             | 30 |
| <b>Şekil 4.2</b>  | Ayaklarda oyulma (Aspendos Köprüsü)                                    | 31 |
| <b>Şekil 4.3</b>  | Köprülerde hasara yol açan hidrolik etkenler                           | 32 |
| <b>Şekil 4.4</b>  | Sel sonrası selyaran hasarları, Diyarbakır, Devegeçidi Suyu Köprüsü    | 33 |
| <b>Şekil 4.5</b>  | Hindistan 2001 Bhurj depreminden hasar görmüş bir demiryolu köprüsü    | 34 |
| <b>Şekil 4.6</b>  | Hindistan 1967 Koyna depreminde cephe duvarları hasar görmüş bir köprü | 34 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | Adana Misis Köprüsü 1998 depremi sonrası hasarı                        | 35 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | Yüzey kaybı                                                            | 36 |
| <b>Şekil 4.9</b>  | Savaş sonrası Mostar Köprüsü                                           | 38 |
| <b>Şekil 4.10</b> | Taşlarda tuzlanma                                                      | 39 |
| <b>Şekil 4.11</b> | Donma çözülme etkisiyle oluşan hasar                                   | 40 |
| <b>Şekil 4.12</b> | Kenetle bağlı taşlar ve kurşun dökümü, Saraçhane Köprüsü onarımı       | 41 |
| <b>Şekil 4.13</b> | Onarım sonrası deforme olmuş kemer,Büyükçekmece Köprüsü                | 41 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | Odabaşı Köprüsü mansap cephesi                                         | 45 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | Odabaşı Köprüsü cephe çizimleri                                        | 45 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | Odabaşı Köprüsü güncel durum                                           | 46 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | Odabaşı Köprüsü ve su isale hattı                                      | 47 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | Odabaşı Köprüsü güney cephe kemer detayı                               | 48 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | Odabaşı Köprüsü mansap görünüşü                                        | 49 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | Odabaşı Köprüsü memba görünüşü                                         | 49 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | Onarım sonrası duruma ait kesit                                        | 49 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü / Gebze                                 | 50 |
| <b>Şekil 5.10</b> | Gebze Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi                       | 51 |
| <b>Şekil 5.11</b> | Gebze Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü memba cephesi                        | 51 |
| <b>Şekil 5.12</b> | Gebze Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi                       | 51 |
| <b>Şekil 5.13</b> | Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü                                         | 52 |
| <b>Şekil 5.14</b> | Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü mansap cephesi                          | 52 |
| <b>Şekil 5.15</b> | Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi                  | 53 |
| <b>Şekil 5.16</b> | Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap görünüşü                 | 54 |
| <b>Şekil 5.17</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü rölöve çizimleri                           | 54 |
| <b>Şekil 5.18</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü ana kemerden geçen kesit                   | 55 |
| <b>Şekil 5.19</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi                             | 56 |
| <b>Şekil 5.20</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü memba cephesi                              | 56 |
| <b>Şekil 5.21</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü, uygun olmayan onarım detayı               | 57 |
| <b>Şekil 5.22</b> | Büyük Çekmece Köprüsü, (KGM Fotoğraf Arşivi,tarihi bilinmiyor)         | 58 |
| <b>Şekil 5.23</b> | Büyükçekmece Köprüsü güney cephesi                                     | 60 |

|                   |                                                                                                     |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.24</b> | Büyükçekmece Köprüsü 2.Köprü mansap tarafında cephe taşları ile uyumsuz taş kullanımı               | 60 |
| <b>Şekil 5.25</b> | Büyükçekmece Köprüsü 1. Köprü Güney cephesinde ayaklarda farklı oturmalar                           | 61 |
| <b>Şekil 5.26</b> | 4.Köprü mansap tarafında deforme olmuş kemer, özgün olmayan çörtten detayı ve kilit taşı kabartması | 61 |
| <b>Şekil 5.27</b> | Büyükçekmece Köprüsü 4. Köprü Güney cephesi                                                         | 62 |
| <b>Şekil 5.28</b> | Kemer taşları iç yüzünde rutubet izleri                                                             | 62 |
| <b>Şekil 5.29</b> | Büyükçekmece Köprüsü 2.Köprü mansap cephesi                                                         | 63 |
| <b>Şekil 5.30</b> | 4. Köprü onarım sonrası kemer formu                                                                 | 63 |
| <b>Şekil 5.31</b> | Büyük Çekmece Köprüsü Doğu yönüne bakış                                                             | 64 |
| <b>Şekil 5.32</b> | Silivri Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü                                                                 | 65 |
| <b>Şekil 5.33</b> | Silivri Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü                                            | 66 |
| <b>Şekil 5.34</b> | ISKI'ye ait yapılar, 2008                                                                           | 67 |
| <b>Şekil 5.35</b> | Deforme olmuş kemerler                                                                              | 67 |
| <b>Şekil 5.36</b> | Mansap tarafı selyaran detayı                                                                       | 67 |
| <b>Şekil 5.37</b> | Toprak dolgu altında kalan kemerler                                                                 | 68 |
| <b>Şekil 5.38</b> | Alpullu Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü                                            | 69 |
| <b>Şekil 5.39</b> | Güney cephesi onarım izleri                                                                         | 70 |
| <b>Şekil 5.40</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Güney cephe görünüşü                                                    | 70 |
| <b>Şekil 5.41</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü                                                    | 71 |
| <b>Şekil 5.42</b> | Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü doğu tarafı                                                             | 71 |
| <b>Şekil 5.43</b> | Ana kemer iç satıh bozulmaları                                                                      | 72 |
| <b>Şekil 5.44</b> | Ana kemer kuzey cephesi                                                                             | 73 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | Kapuağası Köprüsü hava fotoğrafı                                                                    | 74 |
| <b>Şekil 6.2</b>  | Kapuağası Köprüsü Kuzey cephe görünüşü                                                              | 75 |
| <b>Şekil 6.3</b>  | Ana kemer ayakları üzerinde yer alan tahliye gözü                                                   | 75 |
| <b>Şekil 6.4</b>  | Doğu ve batı uçlarda yer alan tahliye gözleri                                                       | 76 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | Anakemer kuzey cephe görünüşü                                                                       | 76 |
| <b>Şekil 6.6</b>  | Kuzey cephe taş örgüsü detayı                                                                       | 77 |
| <b>Şekil 6.7</b>  | Kemer taşları cepheden 5 cm içeri çekilerek örülmüştür                                              | 77 |
| <b>Şekil 6.8</b>  | Tahliye kemeri tuğla tonoz örgüsü                                                                   | 78 |
| <b>Şekil 6.9</b>  | Değiştirilmiş döşeme kaplaması                                                                      | 79 |
| <b>Şekil 6.10</b> | Kapuağası Köprüsü cephe çizimleri                                                                   | 79 |
| <b>Şekil 6.11</b> | Kapuağası Köprüsü Güney cephesi                                                                     | 80 |
| <b>Şekil 6.12</b> | Kapuağası Köprüsü Kuzey cephesi                                                                     | 80 |
| <b>Şekil 6.13</b> | Kemer 2 kuzey cephesi                                                                               | 81 |
| <b>Şekil 6.14</b> | Ana kemer iç yüzeyi                                                                                 | 81 |
| <b>Şekil 6.15</b> | Tahliye kemerleri ve kemer çevre taşları                                                            | 82 |
| <b>Şekil 6.16</b> | Tahliye kemeri 1 doğu yönü kesiti (J-J kesiti)                                                      | 82 |
| <b>Şekil 6.17</b> | Tahliye Kemer 1 güney cephe çizimi                                                                  | 83 |
| <b>Şekil 6.18</b> | Hafifletme kemeri tuğla tonoz örgüsü ve döşeme taşları                                              | 84 |
| <b>Şekil 6.19</b> | Memba tarafı selyaran ve ayak görünüşü                                                              | 85 |

|                   |                                                                                   |     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.20</b> | Memba tarafı selyaranı                                                            | 85  |
| <b>Şekil 6.21</b> | Mansap tarafı selyaranı                                                           | 86  |
| <b>Şekil 6.22</b> | Batı tarafı baba detayı                                                           | 87  |
| <b>Şekil 6.23</b> | Doğu tarafı baba detayı                                                           | 87  |
| <b>Şekil 6.24</b> | Kuzey cephe hasar analizi                                                         | 87  |
| <b>Şekil 6.25</b> | Güney cephe hasar analizi                                                         | 88  |
| <b>Şekil 6.26</b> | Kuzey cephesi Kemer 1 ve onarım izleri                                            | 88  |
| <b>Şekil 6.27</b> | Kemer 2 güney cephesi hasar analizi                                               | 89  |
| <b>Şekil 6.28</b> | Kemer 2 güney cephesi                                                             | 90  |
| <b>Şekil 6.29</b> | Kemer 1 güney cephesi hasar analizi                                               | 91  |
| <b>Şekil 6.30</b> | Kemer 1 kuzey cephesi                                                             | 91  |
| <b>Şekil 6.31</b> | Kemer 2 kuzey cephesi dolgu içine gömülü kemer üzengisi                           | 92  |
| <b>Şekil 6.32</b> | 1912-1913 Erkan-ı Harbiye Haritası                                                | 93  |
| <b>Şekil 6.33</b> | Erkanı Harbiye haritası ile güncel İBB haritasının üst üste<br>çakıştırılmış hali | 93  |
| <b>Şekil 6.34</b> | Kapuağası Köprüsü'nün 1986 yılı onarımından önceki durumu                         | 94  |
| <b>Şekil 6.35</b> | Kapuağası Köprüsü'nün trafiğe açık olduğu dönemden bir<br>fotoğraf                | 94  |
| <b>Şekil 6.36</b> | Köprü'nün onarımı sırasında çekilmiş bir fotoğraf                                 | 95  |
| <b>Şekil 6.37</b> | Onarım sonrası memba cephesi                                                      | 95  |
| <b>Şekil 6.38</b> | Güney cephesi restitüsyonu                                                        | 96  |
| <b>Şekil 6.39</b> | Kuzey cephede bosajlı taş kullanımı,                                              | 96  |
| <b>Şekil 6.40</b> | Ayaklardan geçen restitüsyon kesiti                                               | 97  |
| <b>Şekil 6.41</b> | Kapuağası Köprüsü'ne ulaşımı sağlayacak cep önerisi                               | 99  |
| <b>Şekil 7.1</b>  | Kemer üzerinde yük dağılımı ve arayüzde oluşan gerilmeler                         | 103 |
| <b>Şekil 7.2</b>  | Kemer mekanizması                                                                 | 105 |
| <b>Şekil 7.3</b>  | Rijit bloklardan oluşan örnek bir kemerin noktasal yük altında<br>yıkılması.      | 105 |
| <b>Şekil 7.4</b>  | Kemer taşları üzerindeki itki çizgisi ve kemer taşı üzerinde<br>oluşan gerilmeler | 106 |
| <b>Şekil 7.5</b>  | Asılı ağırlıklar yöntemi ile itki çizgisi şeklinin belirlenmesi                   | 107 |
| <b>Şekil 7.6</b>  | Düzgün olmayan bir kemerde itki çizgisinin belirlenmesi                           | 107 |
| <b>Şekil 7.7</b>  | Gaudi'nin Colonia Güell tasarımında kullandığı model                              | 108 |
| <b>Şekil 7.8</b>  | Kemer üzerindeki kuvvetlerin şematik gösterimi                                    | 109 |
| <b>Şekil 7.9</b>  | Tesir çizgisinin kemer taşı içerisindeki konumu ve yüzeydeki<br>gerilme dağılımı  | 109 |
| <b>Şekil 7.10</b> | Heyman'ın sonsuz rijit malzeme ve elastik malzeme tanımı                          | 111 |
| <b>Şekil 7.11</b> | Noktasal yük altında kırılma mekanizması                                          | 112 |
| <b>Şekil 7.12</b> | Çerçeve eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler                                    | 115 |
| <b>Şekil 7.13</b> | Kesit verileri atanmış çubuk model                                                | 116 |
| <b>Şekil 7.14</b> | Çubuk eleman modeli ölü yük altında deforme olmuş durum                           | 117 |
| <b>Şekil 7.15</b> | Çubuk eleman eksenel yük dağılımı                                                 | 117 |
| <b>Şekil 7.16</b> | Çubuk eleman moment dağılımı                                                      | 118 |

|                   |                                              |     |
|-------------------|----------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 7.17</b> | Kabuk eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler | 118 |
| <b>Şekil 7.18</b> | Kabuk eleman gerilme diagramı                | 119 |
| <b>Şekil 7.19</b> | Katı eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler  | 120 |
| <b>Şekil 7.20</b> | Katı elemanlar modeli kuvvet dağılımı        | 121 |

# **MİMAR SİNAN KÖPRÜLERİNDE GÖRÜLEN SORUNLARIN MÜHENDİSLİK DEĞERLENDİRMESİ VE KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ RESTORASYON PROJESİ İÇİN ÖNERİLER**

## **ÖZET**

Yapısı ve işlevi gereği, iki ayrı yakayı birbirine bağlayan birleştirici bir rol üstlenmiş olan köprüler, mimarlık ve mühendislik disiplinlerinin hassas bir dengeyle bir araya gelerek oluşturduğu yapılar olmuştur. Kendisi de hep “köprü” sıfatıyla anılmış, uygarlıkların yurt edindiği, medeniyetlerin gelip geçtiği, bulunduğu Anadolu toprakları üzerinde de tarih boyunca pek çok köprü inşa edilmiştir. Bunların arasında, mimar ve mühendis olan Mimar Sinan’ın köprüleri önemli bir yer tutmaktadır.

Bu köprülerin büyük bir çoğunluğu günümüzde mevcudiyetini korumakta, işlevini sürdürmektedir. Ancak deprem, sel, iklim gibi doğal etkiler ile insan kaynaklı değişim ve müdahaleler, yapılar üzerinde çeşitli hasarların oluşmasına yol açmıştır. Bu etkilerin sebep ve sonuçlarının incelenmesi, yapıların gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlayacak onarım ve restorasyon uygulamalarının daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

Bu kapsamda, Osmanlı klasik döneminin en önemli eserlerini vermiş olan Mimar Sinan’ın Marmara bölgesi içinde yer alan ve tezkirelerde Sinan’a atfedilmiş olan köprüleri üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen etkiler altında Sinan Köprüleri’nin yapım teknikleri ve güncel durumları incelenmiştir. Örnek yapı olarak, Haramidere üzerinde Kapuağası Köprüsü’nün, sayısal ölçüm cihazı yardımıyla rölövesi yapılmış, yazılı ve görsel kaynaklardan, yapı üzerindeki izlerden faydalananarak restitüsyonu denenmiştir.

Rölöve çalışmasını temel alarak, yığma yapıların davranış mekanizmasının tahmininde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile makro düzeyde bir sayısal model oluşturulmuştur. Yöntemin kullanılmasında gerekli argümanlar ve analiz sonucunda elde edilen verilerin koruma çalışmalarına katkıları tartışılmıştır.

Yapının mevcut durumu içerisinde, yapısal sorunları mühendislik yaklaşımı ile irdelenmiş, müdahale önerileri geliştirilmiştir. Yapının konumundan kaynaklanan koruma sorunlarının çözümü için tavsiyelerde bulunulmuştur.

# **EVALUATION OF ACTUAL STRUCTURAL CONDITIONS OF ARCHITECT SINAN BRIDGES IN MARMARA REGION AND KAPUAGASI BRIDGE RESTORATION PROJECT**

## **SUMMARY**

As their functions and properties provide a connection between two sides, the stone arched bridges are composed of architectural and engineering approaches in an impressionable equation. Anatolia, named as a bridge itself, has been host of nations and civilizations constructed many bridges. The bridges of Architect Sinan have a great importance among the stone bridges in Anatolia.

Many of the stone bridges still exist today and maintain their functions. But some natural and human factors, such as floods, earthquakes and conservation interventions cause damages on bridges. Analysis of such factors and their reasons are important to decide on interventions for the maintenance of bridges.

For that purpose, a complimentary study was hold on the bridges of Architect Sinan who was the designer of masterpieces of golden age of The Ottoman Empire.

Within this study, the bridges of Architect Sinan that are referred to Marmara region were examined to evaluate the traditional structural technics and their actual structural conditions. The bridges were evaluated by considering the factors told above.

Kapuağası Bridge in Beylikdüzü was chosen to exemplify the conservation process which consist of surveys, restitution and restoration pojects. The bridge was surveyed with digital topography equipments precisely. Restitution project is prepared by using visual and writen historical sources and structural traces on the bridge.

In addition to common documentation technics, a finite element model was used to obtain more detailed data for the restoration interventions. As the finite element analysis method brings the consideration of structural deformations and material aging, the results serve significant datas for the basis of intervention decisions.

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Marmara Bölgesi'nde bulunan ve tezkirelerde kayıtlı Mimar Sinan köprülerinin güncel durumlarının incelenmesi, köprülerde hasara sebep olan etkilerin belirlenmesi ve uygun onarım-koruma önerilerinin geliştirilmesi bu tezin öncelikli hedefidir. Konuyla ilgili gözlem ve araştırmalara ek olarak, örnek bir yapı üzerinde mühendislik modelinin kurularak analitik verilerin yorumlanması ve taş köprülerin çözümlenmesinde izlenecek yola dair bir örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

### **1.2. Kapsam ve Yöntem**

Çalışma, mevcut yapısal sorunları ve tezkirelerdeki referanslar doğrultusunda, tez kapsamına alınacak yapıların belirlenmesi ile başlamıştır. Ön çalışma sırasında, Orhan Bozkurt'un 1951 tarihli, Sinan köprülerinin ayrıntılı incelemelerinin yer aldığı doçentlik tezi<sup>1</sup> ve Cevdet Çulpan'ın Türk Taş Köprüleri<sup>2</sup> adlı eserleri temel başvuru kaynakları olmuştur. Yukarıda belirtilen gerekçeler doğrultusunda, Halkalı Odabaşı Köprüsü, Haramidere Kapuağası Köprüsü, Büyükçekmece Köprüsü (Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü), Silivri Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü, Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü, Alpullu Sinanlı Köprüsü ve Gebze Sultan Süleyman Köprüsü üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

Çalışma sırasında mevcut kaynaklar ve yerinde yapılan incelemeler dışında, Karayolları Genel Müdürlüğü Tarihi Köprüler Müdürlüğü, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulları, T.C. Başbakanlık Devlet Arşivleri Genel Müdürlüğü arşiv ve dosyalarından faydalanılmıştır.

---

<sup>1</sup> Bozkurt, O., 1951. Koca Sinan'ın Köprüleri, Doçentlik Tezi, III.Bina Bilgisi Kürsüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

<sup>2</sup> Çulpan, C., 2002. Türk Taş Köprüleri – Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.

Örnek yapılar üzerinde gerçekleştirilen yapısal incelemeler ve bu incelemeler sonucunda ulaşılan, inceleme, analiz ve müdahale teknikleri birikiminin, teknik ve analitik verilerin bir yapı üzerinde uygulanması amacıyla, Haramidere Beylikdüzü'nde bulunan Kapuağası Köprüsü seçilmiştir.

Rölöve çalışması sırasında, dijital ve hassas ölçüme olanak sağlayan, Leica marka TCR805 Ultra model dijital teodolit (Total Station) kullanılmıştır. Tüm kemer ve cephe taşlarını tesbit edecek şekilde, yaklaşık 3500 nokta okuması yapılarak rölöve çizimleri gerçekleştirilmiştir.

Restitüsyon projeleri için, Orhan Bozkurt'un 1950'li yıllara ait tespitleri, Karayolları Genel Müdürlüğü Tarihi Köprüler Müdürlüğü Arşivi'nden edinilen fotoğraf ve belgeler ile birlikte yapı üzerindeki izlerden faydalanılmıştır.

Yapının mevcut durumunun iyileştirilmesi için gerekli müdahale önerileri hazırlanmıştır. Taş kemerli köprülere uygulanacak müdahalelerin belirlenmesinde kullanılabilecek çözümleme yöntemleri incelenmiştir. Sayısal analiz yöntemlerinin koruma çalışmalarına katkıları tartışılmış, örnek olarak Kapuağası Köprüsü ana kemerinin sayısal modeli kurularak düşey yükler altında doğrusal analizi denenmiştir. Sayısal analiz yönteminin uygulanmasındaki sorunlar ve elde edilen verilerin kullanılmasına yönelik yaklaşımlar değerlendirilmiştir.

## **2. TAŞ KEMERLİ KÖPRÜLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ**

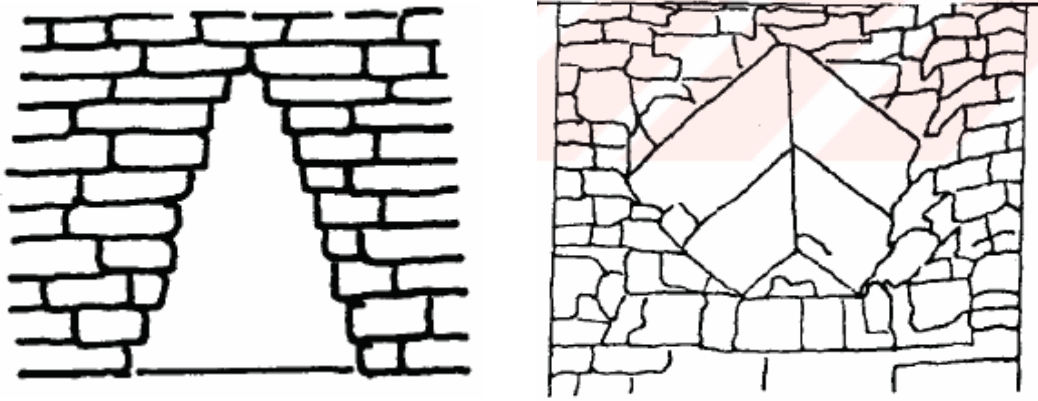
### **2.1. Kemer Formunun Oluşumu ve Taş Köprülerin Gelişimi**

Her insan yapısında olduğu gibi, köprüler de günümüze gelene kadar bir evrim süreci geçirmiş ve halen yeni teknolojiler ve tekniklerin bulunması ile gelişimini devam ettirmektedir. Köprülerin yapımında farklı teknikler ve malzemeler kullanılmış, her malzeme ve yapım tekniği kendi gelişim süreci ile köprüleri değiştirmiş, dönüştürmüştür.

İlk inşa edilen köprüler, ahşap köprüler olmuş ve bunu uzun yıllar ayakta kalabilecek taş köprüler izlemiştir. Ahşap köprüler günümüzde de kullanılıyor olmasına rağmen, malzeme özelliklerinden dolayı, bugüne kadar ayakta kalabilmiş, antik yapım tekniklerinin gözlemlenip, incelenebileceği ahşap köprüler bulunmamaktadır [1,sf.43]. Ancak taş köprüler için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Günümüzde mimari bütünlüğünü korumanın yanında, işlevini sürdüren, tasarım yüklerinden çok daha fazlasına dahi cevap verebilen taş köprüler bulunmaktadır.

Taş köprüler, kemer formunun bulunmasına kadar, yalancı kemer olarak adlandırabileceğimiz teknikler ile inşa edilmiştir. İlk taş kemerli köprü örnekleri, levha şeklindeki taşların birbirleri üzerine, kemer formunu oluşturacak şekilde, kaydırılarak yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur [1,sf.43]. Bu sistem, lento kullanımına benzer şekilde oluşturulmaktadır. Her bir taş bir diğerrinin üzerinde, konsol gibi kaydırılarak yerleştirilmektedir. Kısa açıklıkların geçilebildiği bu tip köprülere bugün Anadolu, Yunanistan ve Mısır'da rastlamak mümkündür.

Sıklıkla kullanılagelen dairesel kemer formunun ilk örnekleri, taşların birbirine yaslanarak ters V formunu oluşturacak şekilde kullanımıyla ortaya çıkmıştır. Bu tipte, dairesel kemerde olduğu gibi taşların mesnetlendiği kısımlarda yatay kuvvetler oluşmaktadır [2,sf.165]. Ters V formundaki kemerlere MÖ. 3000'de Mezopotamya mezar yapılarında rastlanmaktadır (Şekil 2.1). Mısır ve Mezopotamya'da kullanılmaya başlayan bu teknikler, yalancı kemer inşa tekniklerinin daha kolay olması sebebiyle, Helenistik Dönem öncesi ve Antik Yunan tarafından tercih edilmemiştir [1,sf.43].



**Şekil 2.1 :** MÖ 2700-2250 Keops Piramidinde kullanılmış olan ters V şeklindeki ilk kemer formlarına örnek. [3]

Bugün pek çok modern yapıda da kullanılan ideal kemer formu ise ilk defa M.Ö.700’lu yıllarda Etruskler tarafından bulunmuştur. Roma dönemi kemerlerinin erken örnekleri ise, kentin lağım sistemin akıtıldığı altar drenajlarında karşımıza çıkmaktadır. En bilinen örneği Saturn Tapınağı yakınlarında bulunan Etrüsk etkilerinin gözlendiği, üç katmanlı Cloaca Maxima’dır (Şekil 2.2.) [1,sf.44].



**Sekil 2.2 :** Cloaca Maxima [1]

Dairesel kemer formunun bulunuşu ile birlikte kamusal yapıların inşasında büyük bir ilerleme olmuştur. Kent kapıları, portikolu giriş cepheleri gibi pek çok yerde kemer formu kullanılmaya başlamıştır. Kent yakınlarındaki su kaynaklarından kent içersine su taşıyabilecek su kemerlerinin inşası da bu ilerlemenin örneklerindendir.

Bununla birlikte, Roma’nın idari yönetimini güçlü kılacak, bir iletişim sistemine duyulan ihtiyaç sonucu, Roma döneminde köprü yapım teknolojisi altın çağını

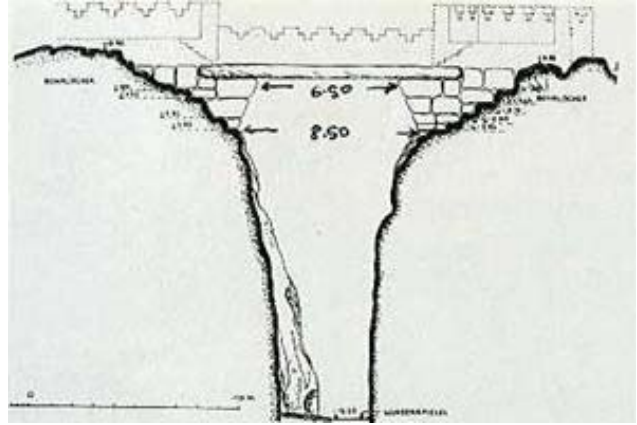
yaşamıştır. Bugün hala, pek çok Roma köprüsü ve su kemeri kullanılabilir durumdadır. Anadolu toprakları üzerinde de önemli Roma köprüleri bulunmaktadır.

## 2.2. Anadolu Köprüleri

Anadolu toprakları, pek çok uygarlığın eserlerini bünyesinde barındıran bir coğrafyadır. Hitit, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemi eserlerinin yoğunlukla bulunduğu Anadolu toprakları üzerinde yer alan pek çok Anadolu köprüsü bugün işlevini devam ettirebilecek şekilde varlığını korumaktadır.



Şekil 2.3 : Boğazköy Köprüsü [4]



Şekil 2.4 : Boğazköy Köprüsü detay [4]

Prof.Dr.R.Naumann tarafından Hitit- Boğazköy’de ortaya çıkarılan ve MÖ.13.yy’a tarihlenen ahşap kirişli taş köprü, bugün Anadolu toprakları üzerinde yer alan en eski köprü olarak bilinmektedir. <sup>3</sup> (Şekil 2.3, 2.4)

Köprü; derin bir vadi oluşturan iki kayalık zemin arasında, yerden 16,62 m yüksek ve 8.50 m’lik bir açıklığı geçecek şekilde inşa edilmiştir. Köprü tabliyesini oluşturan ahşap kiriş, yalancı kemer gibi örülmüş mesnetlere oturmaktadır [4,sf.2]. Bu sistem, yukarıda sözü edilen yalancı kemer formunun bir örneğini oluşturmaktadır. Hattuşaş kentinin diğer yapısal elemanlarında da görüldüğü üzere, kemer formuna duyulan ihtiyaç, Kral Kapısı’nda olduğu gibi benzer şekillerde çözülmeye çalışılmıştır (Şekil 2.5, 2.6).

<sup>3</sup> Naumann, R., Die hethitische Brücke über die Schlucht bei Büyükkaya (Boğazköy), Mitteil. deutsch-türk. Orient Gesell., Nr. 94, 1963, s. 24-32



**Şekil 2.5 :** Aslanlı Kapı Hattuşaş (bilgisayarla yapılmış rekonstrüksiyonu, H. Schriever) (<http://bogazkalehem.meb.gov.tr/aslanlikapi.htm>)



**Şekil 2.6 :** Hiyeroglifli Oda – Boğazköy  
(<http://www.diyemediklerim.com/resimlerle-corum-t28444/index.html?s=19bf3678814e5addb743c947de7d6014&>)

Edirne'nin Uzunköprü ilçesinde yer alan 174 kemerli ve 1392 m uzunluğundaki Osmanlı köprüsü ise, dünyanın en uzun taş köprüsü ünvanına sahiptir. Köprünün bugünkü uzunluğu 1266 metredir [5,sf.6].

Karayolları Genel Müdürlüğünün yaptığı belgeleme çalışmalarına göre, Türkiye sınırları içerisinde bugün ;

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Hitit Dönemi .....         | 1 Adet   |
| Roma Dönemi .....          | 80 Adet  |
| Bizans Dönemi .....        | 10 Adet  |
| Selçuklu Dönemi .....      | 90 Adet  |
| Osmanlı Dönemi .....       | 413 Adet |
| Dönemi belli olmayan ..... | 576 Adet |

tarihi köprü bulunmaktadır[5,sf.2].

### 2.2.1. Anadolu'daki Roma Dönemi Köprüleri



**Şekil 2.7 : Anadoludaki Roma Dönemi Köprüleri [5]**

Anadolu toprakları üzerinde Roma'lılar tarafından yapılmış ve bugüne kadar çeşitli onarımlarla mevcudiyetini kısmen veya tamamen koruyabilmiş 80 köprü bulunmaktadır. Bu köprülerden bazıları halen kullanılabilir vaziyettedir (Şekil 2.7) [5,sf.11].

Bu köprülerden, Güneydoğu Anadolu'da, Adıyaman yakınlarında bulunan Cendere Köprüsü, II. y.y.'da Septimus Severus tarafından yaptırılmış tek kemerli bir köprüdür. Köprü, 133.74 m boyundadır. 1999 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından

onarılmıştır. Köprü başlarında yer alan dört sütun üzerinde heykellerin bulunduğu belirtilmektedir; ancak bugün sadece üç sütun ayakta kalmış durumdadır [4,sf.3].

Keban Barajı yakınlarında Ağın'a 10 km mesafede yer alan Karamağara Köprüsü Türkiye sınırları içerisinde varlığını koruyan bir diğer Roma köprüsü olarak kaydedilmektedir [4,sf.3]. MS. 5.-6. yy.'a ait olduğu tahmin edilmektedir. Tek açıklıklı sivri kemerli köprü, güney tarafında kayalara, kuzey tarafında ise bir taş temele oturmaktadır. Kemer açıklığı 14.50 m, yüksekliği 9.50 m'dir. Ana kemerin sivri formu, Türkler tarafından yapılmış bir onarıma işaret etmektedir [4,sf.3].

MS.2. yy'dan kalma diğer bir önemli Roma köprüsü ise, Antalya ili, Köprülü Kanyon Milli Parkı Beşkonak'ta yer alan, Köprülü Kanyon Deresi üzerindeki Olukköprü'dür. 22.80 m uzunluğunda, tek gözlü olan köprü, 1997 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından onarılmıştır [5,sf.11].

Aynı döneme ait diğer önemli bir köprü ise, Adana şehir merkezinde, Seyhan Nehri üzerinde bulunan Taşköprüdür. Köprü, 310,20 m uzunluğunda ve 15 gözlüdür. Hadrianus zamanında yaptırılan köprü, Justinianos zamanında büyük bir onarım geçirmiştir. Karayolları genel Müdürlüğü tarafından 2005 yılında başlatılan onarımı 2007 yılında tamamlanmıştır [5,sf.12].

MS.4. yy'a ait Misis Köprüsü, Ceyhan Nehri üzerinde yer almakta ve Constantinus zamanında yaptırıldığı bilinmektedir. Köprü 135 m uzunluğunda ve 9 gözlüdür. 6.yy'da Bizanslılar tarafından onarım görmüştür [4,sf.23]. 1998 Ceyhan depreminde tüm kemerlerinde ciddi hasarlar meydana gelmiş ve 1998-2001 yılları arasında KGM tarafından onarılmıştır [5,sf.12].

### **2.2.2. Anadolu'da ki Bizans Dönemi Köprüleri**

Bugün Türkiye sınırları içerisinde, KGM tarafından tescil edilmiş 10 adet Bizans köprüsü bulunmaktadır (Şekil 2.8) [5,sf.13]. Bizans yollarının büyük kısmı justinianos tarafından tamamlanmıştır. Önemli bir güzargah olan Kayseri-Sivas'a giden yol üzerinde yer alan Kızılırmak ise aşılması zor geçitlerdendir.



**Şekil 2.8 : Anadolu Bizans Köprüleri [5]**

Bizans döneminin önemli eserlerinden biri olan MS.561 yılına ait Sangarios Köprüsü, Sakarya Nehri'nin bir kolu üzerinde bulunmaktadır. Justinianos tarafından yaptırılan köprü, 336.50 m uzunluğunda ve 8 gözlüdür [4,sf.3]. 1989-1994 yılları arasında KGM tarafından onarılmıştır [5,sf.14].



**Şekil 2.9 : Justinyen Köprüsü / Sakarya**  
(<http://www.karadenizliyiz.org/forum/archive/index.php?t-41.html>)

### 2.2.3. Anadolu'daki Selçuklu Dönemi Köprüleri

Türkiye sınırları içerisinde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından belgelenmiş, 90 tane Selçuklu dönemi köprüsü bulunmaktadır (Şekil 2.10)[5,sf.16].



Şekil 2.10 : Anadolu Selçuklu Köprüleri [5]

Selçuklu ve Artukoğlu köprüleri özenli kesme taş ve almaşık düzenli (Hoşap Güzelsu), bezemeli yapılardır. Doğu anadoluda beden duvarları ve kemerlerin farklı taşlarla örüldüğü örnekler bulunmaktadır. Kemerler büyük ve ince işçilikli taşlarla, beden duvarları ise yöresel taşlar veya moloz örgü şeklinde olabilmektedir [6,sf.14].

En bilinenlerinden biri olan Malabadi Köprüsü; Diyarbakır-Silvan yolunda Batman suyu üzerinde yer almaktadır. Kitabesinde 1147 yılında yapıldığı yazılı olan köprü Artukoğlu İlğazi Temurtaş tarafından yaptırılmıştır [5,sf.17]. Köprü, 40,80 m açıklığında ve su seviyesinden kilit taşına kadar 19 m yüksekliktedir. Kemer taşlarının genişliği 1.60 metre olan köprü, döneminin ve bölgesinin en büyük açıklıklı kemerine sahiptir. Albert Gabriel<sup>4</sup>, köprü için şöyle demektedir:

“Modern statik hesabının olmadığı devirde bu açıklıkta o zaman için böyle bir eser hayranlık ve takdiri muciptir. Ayasofya’nın kubbesi köprünün altına rahatlıkla girer. Balkanlarda, Türkiye’de, Orta Şark’ta bu açıklıkta, bu yaşta köprü yoktur.”

Köprünün ana kemerinin yanlarında odacıklar bulunmaktadır. Konaklama ve savunma gibi amaçları olduğu tahmin edilen odalardan, Evliya Çelebi köprüden şu şekilde bahsetmektedir;

“Köprünün iki tarafında kale kapıları gibi demir kapıları vardır. Bu kapıların içinde, sağ ve solda köprünün temeli beraberliğinde, kemerin altında hanlar vardır ki gelip

<sup>4</sup> 1883-1972 yılları arasında yaşamış, ressam, mimar, arkeolog ve gezgin olarak tanınmaktadır. 1926-1930 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Sanat Tarihi Kürsü başkanlığı yapmış, İstanbul Fransız Arkeoloji Enstitüsü’nün kuruculuğunu yapmıştır.

geçen, sağdan ve soldan geldikleri vakit misafir olurlar. Köprünün kemeri altında birçok odalar vardır. Demir pencereler şahneşinlerine misafirler oturup, kemerin karşı tarafındaki adamlarla kimi sohbet eder, kimi ağ ve oltalarla balık avlarlar. Bu köprünün sağ ve solunda da nice pencereci odalar vardır. Köprünün sağ ve solundaki bütün korkuluklar Nahcivan çeliğindendir. Ama demirci ustası da var kudretini sarf ederek bir türlü sanatlı kafesli korkuluklar yapmış ve doğrusu elinin ustalığını göstermiştir. Doğrusu, üstad mühendis var kuvvetini sarfederek bu köprüde öyle sanatlar göstermiştir ki, bu işçiliği geçmiş mimarlardan hiç birisi göstermemiştir.”

Diğer bir önemli örnek ise Hasankeyf Köprüsü’dür. Günümüzde yapımı devam eden Ilısu Barajının suları altında kalması söz konusudur. 12. Yüzyıla tarihli üç gözlü köprünün sadece tek gözü ayakta kalabilmiştir. Ana kemer açıklığı 42 m’dir [5,sf18].

#### 2.2.4. Anadolu’daki Osmanlı Dönemi Köprüleri

Türkiye sınırları içerisinde 1299 – 1923 yılları arasına tarihlenen ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından belgelenen 260 adet taş köprü bulunmaktadır (Şekil2.11)[5,sf.24]. Osmanlı döneminden kalma en önemli köprüler, Osmanlı Klasik Dönemine ait Sinan köprüleri olmakla birlikte, geniş bir zaman dilimi ve coğrafyaya yayılmış pek çok örnekten bahsedilebilir.



**Şekil 2.11 : Anadolu Osmanlı Köprüleri [5]**

Osmanlı köprülerinde tek kemerli köprülerden çok, sıralı kemerli köprülere rastlanmaktadır. Sıralı kemerli köprüler ise, eş sıralı kemerli köprüler ve değişken boyutlu kemerli köprüler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Orta kemer açıklığı en uzun ve yüksek, kenarlara doğru gittikçe açıklık ve yükseklik değerleri düşen kemerlerden oluşan tipler yaygın olanlarıdır [6,sf.15]. Osmanlı köprülerinde görülen

bir diğerk özellik ise tarih ve seyir köşklridir. Orta açıklık kemerinin üzerinde yer alan, konsol olarak çıkma yapan kısımlardır.

Edirne içerisinde yer alan Tunca (1608-1613) ve geç döneme ait olan Meriç Köprüleri (1832) de Osmanlı dönemine ait önemli eserler arasında sayılabilir. Bunlar arasında en uzun taş köprü olan, Edirne Uzunköprü, Ergene nehri üzerinde yer almaktadır. II.Murat döneminde, 1443 yılında inşa edilmiştir. 1392 m uzunluğunda ve 174 kemerden oluşmaktadır [4,sf.100].

Akarsularca zengin olan Trakya-Marmara bölgesinde yoğunlaşan Osmanlı köprüleri arasında Mimar Sinan'ın eserleri önemli bir yer tutmaktadır. Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa, Alpullu Mehmet Paşa, bataklık bir bölgeyi geçen Silivri Köprüsü, bir Roma dönemi köprüsünün yerine yapılan ve Mimar Sinan'ın en güzel eserleri arasında sayılan Büyükçekmece Köprüleri dönemin mimari ve teknik birikimini ortaya koyan eserlerdir.

Osmanlı köprüleri arasında tek sayılabilecek Bursa İrgandı Köprüsü, Avrupa'da örneklerine rastlanan, iskana açık köprülere bir örnek oluşturmaktadır. Köprü hem bir akarsuyu aşmakta, hem de üzerinde dükkan, konut gibi yapıları bulundurmaktadır [6,sf.16].

### **3. YAPIM TEKNİKLERİ**

#### **3.1. Yapısal Özellikler**

Taş köprülerin tarihi Romalılar ile birlikte başlamış ve en ileri teknik düzeye yine bu dönemde ulaşılmıştır. Bugün pek çoğu ayakta olmakla birlikte ilk yapıldığı dönemden bu yana, zamana bağlı malzeme bozulmaları, sel ve deprem hasarları, ulaşım ağlarındaki ihtiyaçlar sebebiyle değişiklik ve müdahalelere maruz kalmıştır [1,sf.100].

Roma döneminde en ileri düzeye ulaşan kemer kullanımı ve taş köprü yapım teknikleri çok büyük farklılıklar göstermeksizin pek çok dönemde kullanılmıştır [1,sf.55]. Anadolu toprakları üzerindeki köprülerde de benzer tekniklere rastlanmaktadır. Ancak coğrafi farklılıklar kemer formunda, çevre taş ocakları ve teknik birikim ise örgü tekniklerinde farklılaşmalar yaratmıştır.

Roma köprülerinin oluşum sürecinde statik kaygılar ön planda olmuştur [1,sf.56]. Genellikle dairesel kemer formu ile inşa edilen Roma köprülerinde kemer açıklığı tasarımı etkileyen en önemli kriter olarak karşımıza çıkmaktadır.

Roma köprülerinde tanımlayıcı bir özellik gösteren teknik ise, büyük kesme taşların (Opus Vittatum) özenli ve ince bir işçilikle uygulanmış olmasıdır. Ancak bazı Roma köprülerinde tuğla (Opus Latericiae) veya tuğla ile birlikte taş kullanımına da rastlanmaktadır. Roma yapılarının genelinde kullanılan bosajlı taş, köprülerde de yoğunlukla görülmektedir [7,sf.34-37].

Duvar yüzeyinde kullanılan kesme taşlar, cephede enine ve boyuna şaşırtmalı olarak kullanılmıştır. Taş sıralarından biri boyuna doğrultuda yerleştirilmiş taşlardan oluşurken, bir sonraki enine doğrultuda yerleştirilerek çekirdek ile cephenin birlikteliği sağlanmıştır. Taşların birbirleriyle bağlantılarında da kenet ve miller(zıvanalar) kullanılmıştır [2,sf.109].

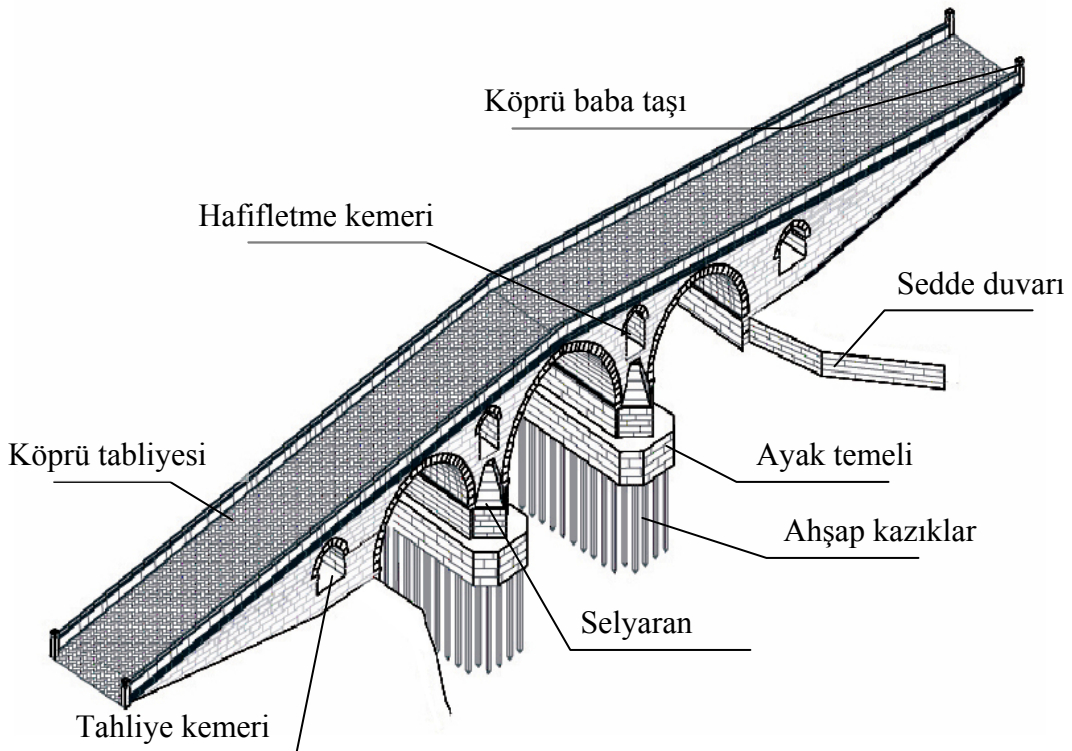
Roma köprülerinde sıklıkla kullanılan dairesel kemer formu ve köprü genişliği, Roma köprülerinin tanımlanmasında bir unsur olarak değerlendirilebilecek kadar belirli ölçülerde inşa edilmiştir. Özellikle Orta Çağ'da görülen çok farklı

genişliklerdeki köprülere oranla, Roma köprülerinde genişlikler genellikle 6-7 m'dir. Roma köprüleri düşük eğimli (% 3-10 eğim) olarak inşa edilmiş ve pek çok Roma köprüsünde benzer eğimler tekrarlanmıştır [1,sf.101].

Roma köprüleri genellikle eş kemerli, az eğimli köprüler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip köprülerde genellikle basık kemer veya dairesel kemer kullanılmıştır

Nehir akışının ayaklar üzerindeki itme kuvveti, aşılması gerekli en önemli ve en maliyetli sorun olduğundan, Roma köprülerinde tek seferde büyük açıklıklar geçilmeye çalışılarak dairesel basık kemerler veya ayak boyutlarını küçültmek için daha sık dairesel kemerler kullanılmıştır [2,sf.286].

Köprü drenajını iyileştirmek, sel sırasında ayaklara ve beden duvarlarına gelen yükleri azaltmak için selyaranlar kullanılmıştır. Roma köprülerinde selyaranlar genelde küçük, alçak, üçgen şeklinde ve kemer üzengi seviyesinde sonlanacak şekilde yapılmıştır. Akışın tersi yönde ise dikdörtgen şeklinde sonlanmaktadır. Bazı ender örneklerde selyaranların dairesel olduğu görülmektedir [1,sf.106-107].



Şekil 3.1 : Köprü elemanları

Anadoludaki Selçuklu ve Osmanlı dönemi köprülerinde ise, nehirlerin düzensiz rejime sahip olması nedeniyle, sel zamanlarında ulaşacakları yükseklik ve itki kuvvetleri gözönüne alınarak, ortada en büyük açıklık ve yükseliğe ulaşan, kıyıya doğru gittikçe, kemer açıklık ve yükseklikleri azalan, dolayısıyla yüksek eğimli olarak inşa edilen köprüler görülmektedir. Kemerlerde daha çok sivri kemer formu kullanılmaktadır.

Tek gözlü köprüler daha çok dar akarsuların üzerinde yer almaktadır. Geniş yataklı düşük debili akarsular ise sıra gözlü uzun köprülere (Silivri, Edirne Uzun köprü) rastlamak da mümkündür. Nehir yatağının daha geniş olduğu veya bataklık zeminlerde, doğrultu değiştirilerek sağlam mesnet noktaları bulunarak yada mesnet teşkil edecek adacıklar inşa edilerek (Büyükçekmece Köprüsü) köprüler yapılmıştır [6,sf.7].

Ancak bazı durumlarda (Edirne Uzunköprü’de olduğu gibi), daha uzun açıklıkları geçebilmek için, eş veya yakın yükseklikde kemerler kullanılarak düşük eğimli köprüler de inşa edilmiştir.

### **3.2. İnşaat Öncesi Hazırlıklar**

Köprü yapımına öncelikle topografik ölçümlerle başlanmaktadır. Misaha (mesaha) denilen bu işlem, genellikle mimarlar tarafından yapılmakta, ancak mühendis veya mesahacı denen kişilerinde bu işi yaptığı belgelerden bilinmektedir. Osmanlıda yatay ölçümler için iki ucu mühürlü urgan (uzunluğu 75 terzi zırası olarak belirtilmektedir) düşey ölçümler ise havayı terazi denilen araçla yapılmaktadır [6,sf.11].

### **3.3. Temel Sistemi**

Üst yapının doğal zemin ile ilişkisini kuran temeller, yapı stabilitesi için büyük öneme sahip olmakla birlikte, zemin özelliklerinin bilinmezliği sebebiyle çözümlenmesi en zor yapı elemanıdır. Çoğu kez zemin özelliklerinin kontrol edilemiyor olması sebebiyle antik çağlardan günümüze kadar, yapay zemin katmanları üzerine inşa yoluna gidilmiştir [1,sf.252].

İdeal bir oturma sağlamak için, doğal durumu değiştirilmek istenmiş, kimi zaman vadileri doldurulmuş, kimi zaman tepeler kaldırmıştır. Flavian zamanında önemli yapıları yükseltilmiş olarak inşa etmek sık karşılaşılan bir pratiktir. Yol, su kemeri, köprü, liman gibi yapıların temellerinde batırma temeller kullanılmıştır [8,sf.155].

Esquiline Wing of the Domus Aurera<sup>5</sup> kalın bir roma betonu tabakasının üzerine oturmaktadır. Trajan Market'i tonozlu teraslar üzerine inşa edilmiştir. Pantheon dairesel bir beton kütle üzerinde bulunmaktadır. Bu önlemlerden dolayı yapılarda oturma görülmemektedir. Temeller dışarıdan gelecek olan deprem gibi yatay kuvvetleri karşılayabilecek şekilde yapılmıştır [8,sf.155].

Vitruvius da temel yapımının önemini vurgulayarak, duvar ve kule temelleri için öncelikle sağlam zemine ulaşana kadar derin bir kuyu kazılmasını, ardından üzerine gelecek yapıyı taşıyabilecek, yapı taşıyıcı kesitinden daha geniş sömellerin oluşturulması gerektiğini belirtmiştir. Temel inşasında düzgün taşlar veya moloz taş ile kireç harcının birlikte kullanılmasını önermektedir. Sağlam zemine ulaşamadığı, gevşek zemin veya bataklık kısımlarda ise yanık kızılğaç, zeytin veya meşeden kazıkların kullanılması gerektiğini söylemektedir. Köprü ayaklarında bu kazıkların daha sık ve derine çakılması gerektiğini, aralarının ise kömürle doldurulmasını önermektedir [9,sf.62].

Geleneksel yapı malzemeleri ile bir seferde geçilebilen açıklık, günümüz modern malzeme ve tekniklerinin sağlandığı açıklıktan çok daha az olduğu düşünüldüğünde akarsuların geçilebilmesi için, akarsu içerisinde ayak oluşturulması zorunlu olmaktadır. Köprü temellerinin su içerisinde oluşturulmasında farklı tekniklerden yararlanılmaktadır. Köprü inşasında çalışanların dışında, sadece temel inşaatı konusunda uzmanlaşmış kişilere ihtiyaç duyulmaktadır.

En sık kullanılan teknikler, kazık çakma, batardo ile çevrelenen temel alanından, suyun çekilmesi veya kesonlar ile istenilen derinliğe ulaşılması şeklinde olmaktadır.

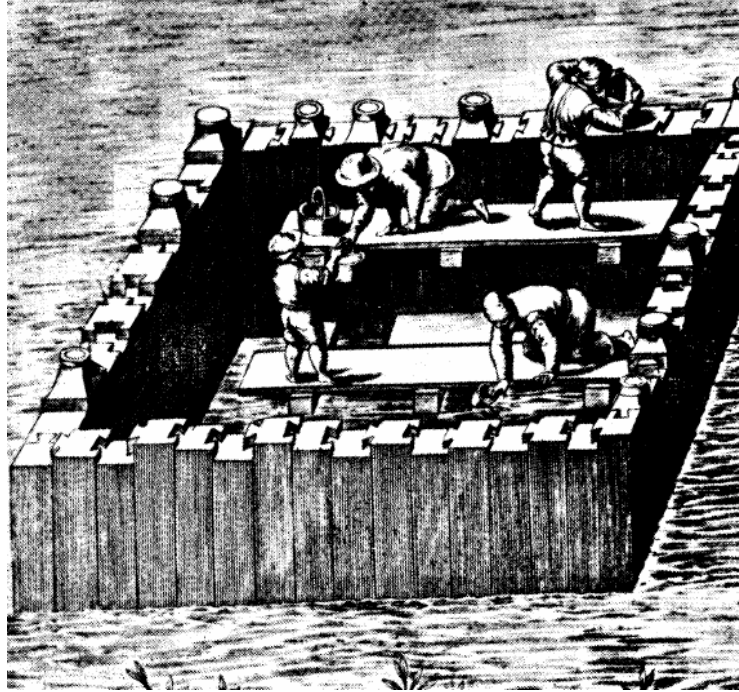
Ahşap kazıkların kullanılmasında amaç, yapı yüklerinin elastik bir mesnet oluşturarak zemine aktarılmasıdır. Ancak, üst zeminin yapı temelini taşıyabildiği durumlarda, sel sırasında bu zeminin sürüklenmesi tehlikesine karşı da destekleyici bir sistem oluşturmaktadır.

Batardo sisteminde, ahşap levhalar birbirine paralel olarak iki sıra halinde zemine çakılmakta ve suyun geçişini engelleyecek şekilde iki levha sırası arasına kil

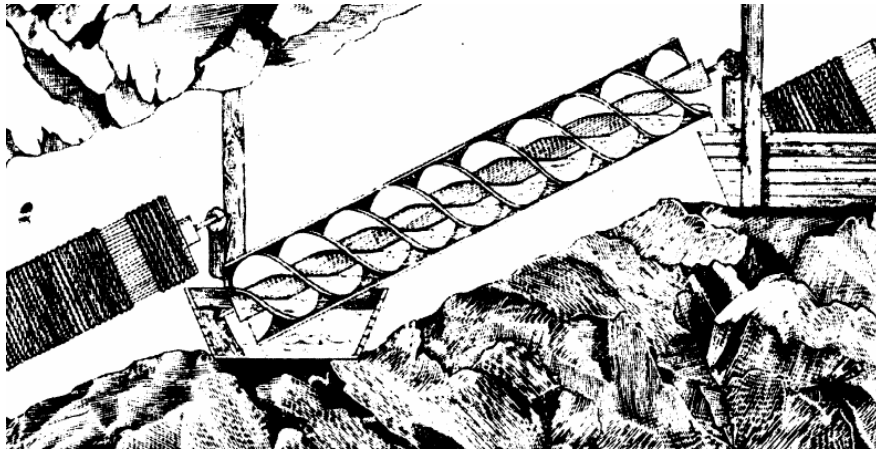
---

<sup>5</sup> M.S. 65'te Nero tarafından yaptırılan, geniş bir alana yayılmış, pavyon , dükkan ve konutlardan oluşan yapılar topluluğu.

doldurulmaktadır. Daha sonra içeride kalan su, tulumba veya çıkırıklar yardımıyla dışarı atılmaktadır (Şekil 3.2,3.3) [1,sf.253].



Şekil 3.2 : Batardo tekniği ile temel çukuru açılması



Şekil 3.3 : Çıkırıklar ile su çekilmesi

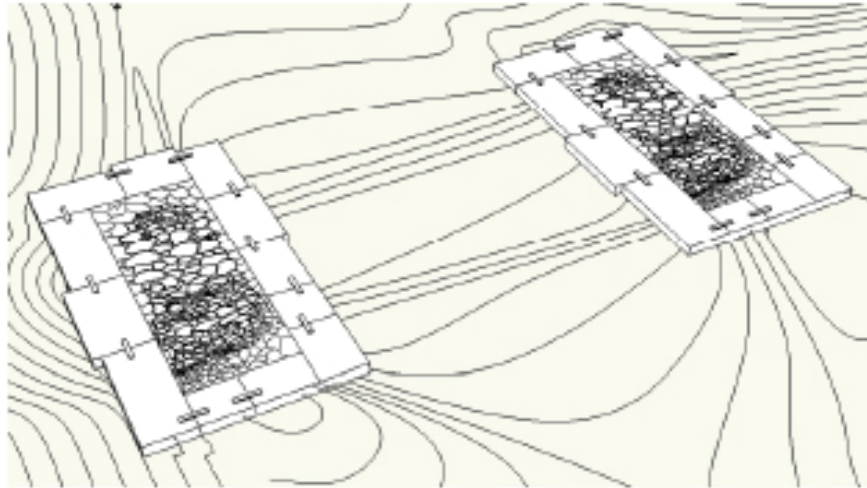
Temel yapımına büyük özen gösteren Mimar Sinan, bu konuda Tuhfet-ül Mimarın'da şöyle demektedir;

“Velhasıl mimarlıktan müşkil bir sanat olmayub, her kim bu hizmeti hatirde olursa  
gerekdir ki evvela salahu diyanet ile olub binanın yeri muhkem olmayınca temele şuru

itmeye ve ol zaman ki temele mübaşeret kıla tamam ihtimam ide, ta ki mesalihine halel irişmeyüp istihkam yerin bula”

Osmanlı yapılarında, tekil veya sürekli temellerin kullanıldığı gözlenmektedir. Bazı yapılarda temellerin ampattımanlı (basamaklı olarak aşağı doğru genişleyen) olarak inşa edildiği görülmektedir. Yapıdan gelen yüklere göre temel genişlik ve derinlikleri değişiklik göstermektedir. Örneğin Süleymaniye Camii’nin temellerinin mihrap tarafında 590 cm indiği ve ızgara düzende yerleştirilmiş ahşap kirişlerle pekiştirilmiş 20 cm kalınlığında bir horasan tabakaya oturmaktadır. Temel ise dört basamaklı olarak yükselen ve horasan harcı ile bağlanmış kaba yonu taş örgülüdür. Nur-u Osmaniye caminin temellerinde de benzer bir sistemin od taşı ile sağlandığı tarihi belgelerden öğrenilmektedir [10,sf.532].

Su kemeri ve köprü ayaklarında ise zemine kazıklar çakılmakta ve ayaklar bu kazıklar üzerine oturtulmaktadır. Tezkiret-ül Bünyan’da, Büyük Çekmece Köprüsü’nü yaparken Mimar Sinan’ın köprüyü denizden tarafa sığ kısımda inşa ettiği belirtilmektedir. Ayakların oturacağı yerler batardo ile çevrilmiş ve içindeki su boşaltılarak kazıklar şahmerdan ile çakılmıştır ve taş bloklar bu kazıklar üzerine örülmüştür. Taşlar birbirine metal kenetler ile kurşun akıtılarak bağlanmıştır. Kazık boyları “iki üç adem boyu” olarak geçmektedir. Bu uzunluğun başka bir köprünün onarım belgelerinden 5-8 zira arasında olduğu (3,75–6m) düşünülmektedir [10,sf.532].



**Şekil 3.4 : Konjic Köprüsü ayak temelleri [11]**

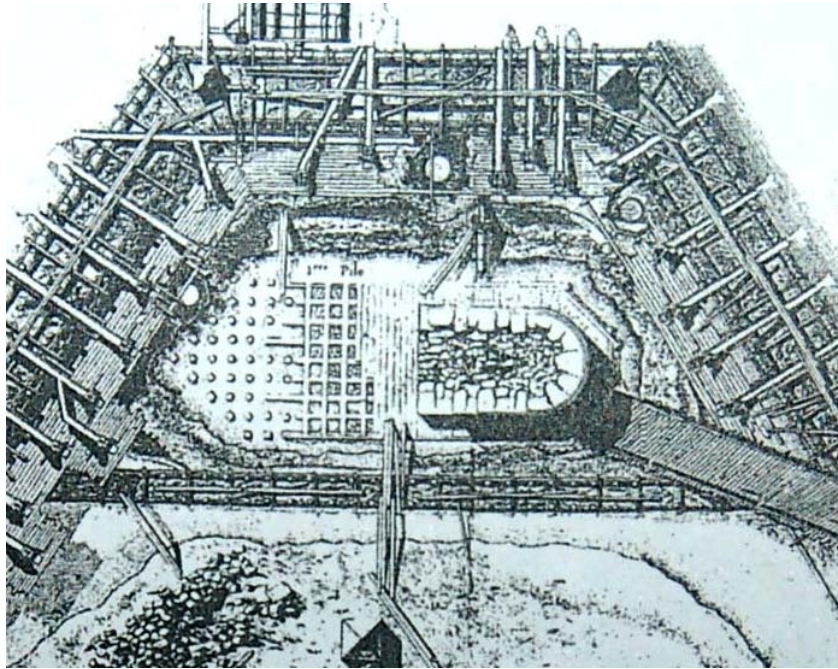
Saray Bosna- Mostar arasında Neretva Nehri üzerinde bulunan Konjic Köprüsü temellerinde, zemine ahşap çakılan genel örneklerin dışında, farklı teknikte bir ahşap

kullanımına rastlanmıştır. Köprünün orta ayak temelleri, iki-üç sıra halindeki ahşap ızgaralar üzerine oturmaktadır. Herbir yönde 6-8, 15-21 sıra, 20x20 cm veya 30x30 cm kesitinde ahşaplar kullanılmıştır. Ahşap kazıkların boyları ise 5 ila 11 m arasında değişmektedir [11,sf.660](Şekil 3.4).

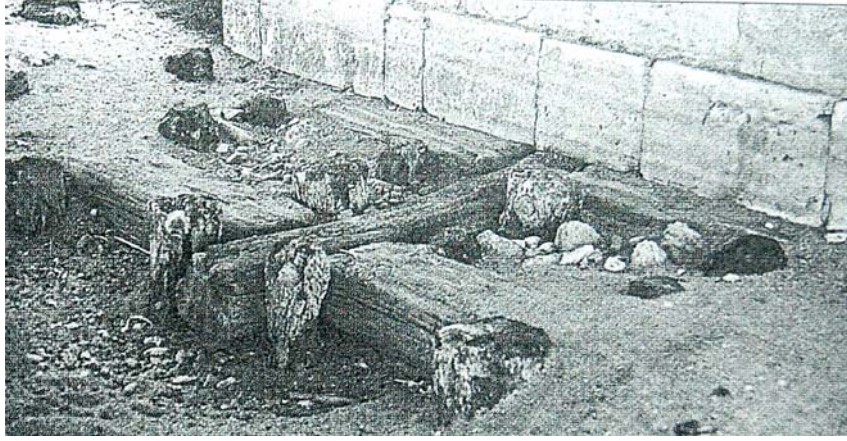
30-35 cm yüksekliğinde, birbirine metal kenetlerle tutturulmuş taşların üzerine ahşap ızgaralar dizilmektedir. Böylece, zeminden gelen deprem yüklerini sönümleyen, sismik izolatör gibi çalışan, elastik bir temel elde edilmektedir [11,sf.660] (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Konjic Köprüsü temelinde bulunan ahşap ızgara [11]



Şekil 3.6 : Ahşap kazıklar ve temel inşaatı (Orleans Köprüsü/Fransa 1751) [1]

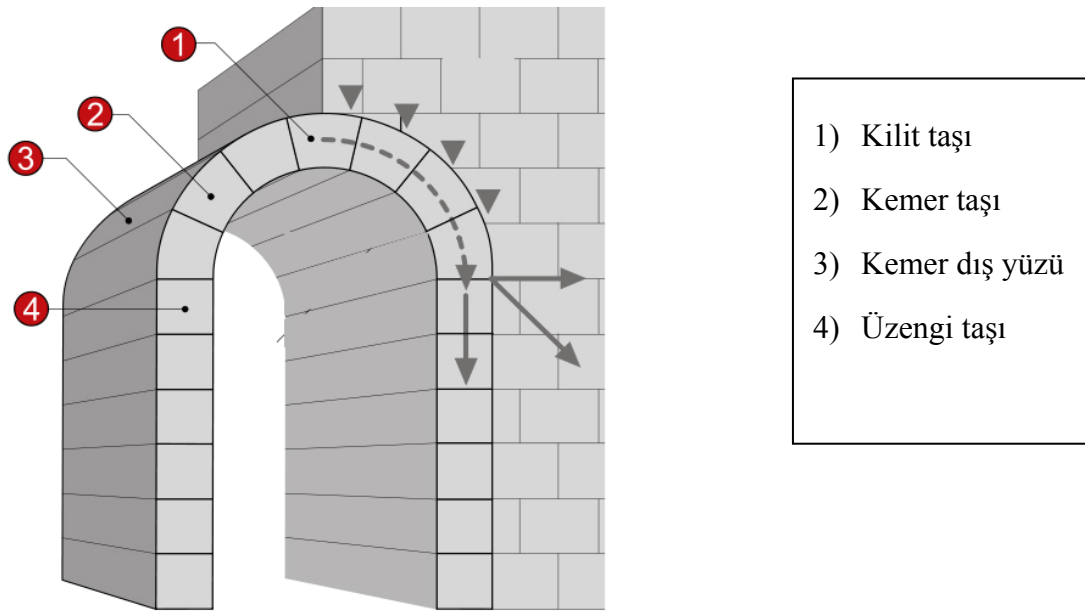


**Şekil 3.7 :** Köprü ayağı altında ahşap kazıklar, Gomeznarro Köprüsü, Valladolid, İspanya [1]

### 3.4. Kemer Biçimi

Kemer; geçilecek açıklığın ölçüsünün malzeme parçalarının ölçüsünden büyük olduğu durumlarda; bir başka deyişle, büyük açıklıkları küçük parçalarla geçme zorunluluğunda geliştirilmiş bir sistemdir [12.sf.45].

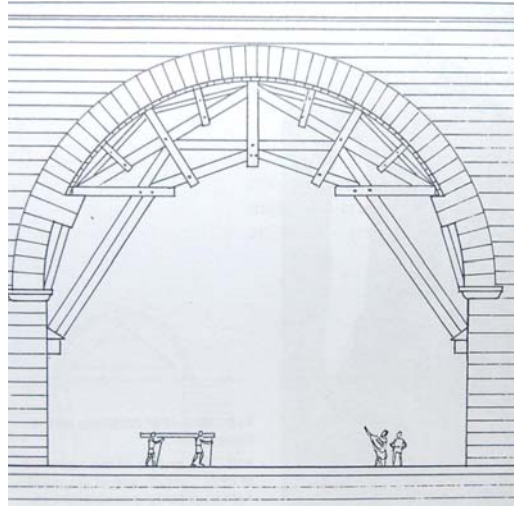
Bir kemer üzerinde oluşan kuvvetler ve ayaklara iletimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



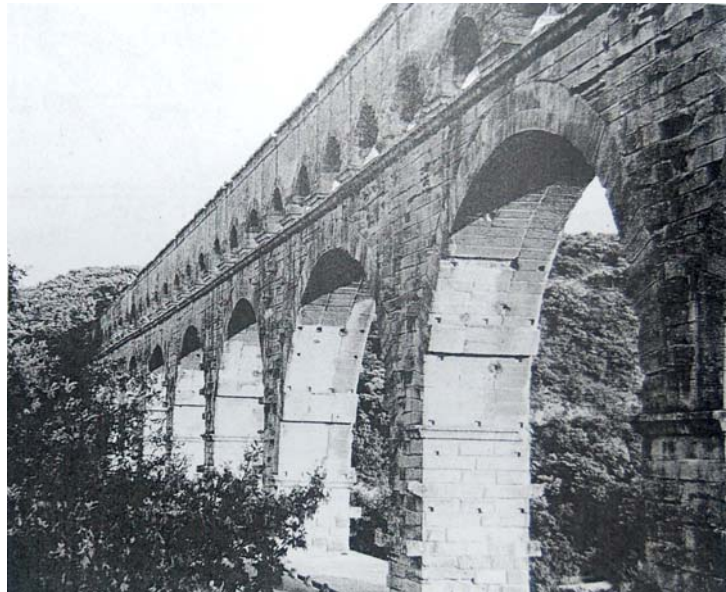
**Şekil 3.8 :** Kemer elemanları ve üzerinde oluşan kuvvetler

Kemer taşları, düzgün kesilmiş, kemer iç ve dış yüzeylerinde, kemer formuna uygun şekilde eğrisellik verilmiş taşlardır. Kemer taşları bir araya gelirken, taşlar arasında harç kullanılmakta ya da taşlar doğrudan birbiri üzerine oturmaktadır.

Kemer eğrisinin sonlandığı ve kemer taşlarının oturduğu kısım, üzengi hizası olarak adlandırılmaktadır. Yanal itkilerin en yüksek değere ulaştığı kısımlardır. Yapılarda kullanılan kemerlerde bu kısımlar, metal veya ahşap gergiler ile birbirine bağlanmaktadır. Ancak köprülerde bu yanal itkiler, doğrudan ayaklar tarafından karşılanmaktadır.



**Şekil 3.9 : Kemer kalıp iskelesi [7]**



**Şekil 3.10 : Pont Du Gard su kemeri üzerinde kalıp iskelesi izleri [7]**

Kemerin orta üst noktasında bulunan kemer taşı ise, biçim olarak diğer taşlardan ayrılmakta ve kemer taşlarının örülmesi sırasında en son yerleştirilen, diğer taşları sıkıştırarak stabiliteyi sağlayan taş olarak; kilit taşı adını almaktadır.

Kemer formunun oluşturulması sırasında, öncelikle iskele kurulması ve bu iskele üzerine ahşap bir kalıp yerleştirilmesi gerekmektedir. İskeleler, zeminin ve yüksekliğin izin verdiği ölçüde doğrudan yere oturtulabilmektedir(şekil 3.9). Ancak köprü gibi su içerisine iskele kurmanın mümkün olmadığı durumlarda, yapı üzerinde oluşturulacak bazı çıkıntılara ahşap direkler oturtularak iskelelerin kurulması gerekmektedir. Su kemeri gibi yüksek ayaklar üzerine oturtulan kemerlerin iskeleleri için de aynı durum geçerli olmaktadır.

Roma döneminde bu durumu aşmak için ayaklar veya kemer üzerine açılan oyuklara kirişler yerleştirilmekte ve üzerine iskele kurulmaktadır. Bazı durumlarda ise duvar üzerine iskele ayaklarının oturabileceği çıkıntılar oluşturulmakta ve mimari bir öğeye dönüştürülerek kullanılmaktadır. Kemer üzengi seviyesindeki kornişlerde benzer amaçlarla kullanılmıştır (Şekil 3.9,3.10) [2,sf.174].



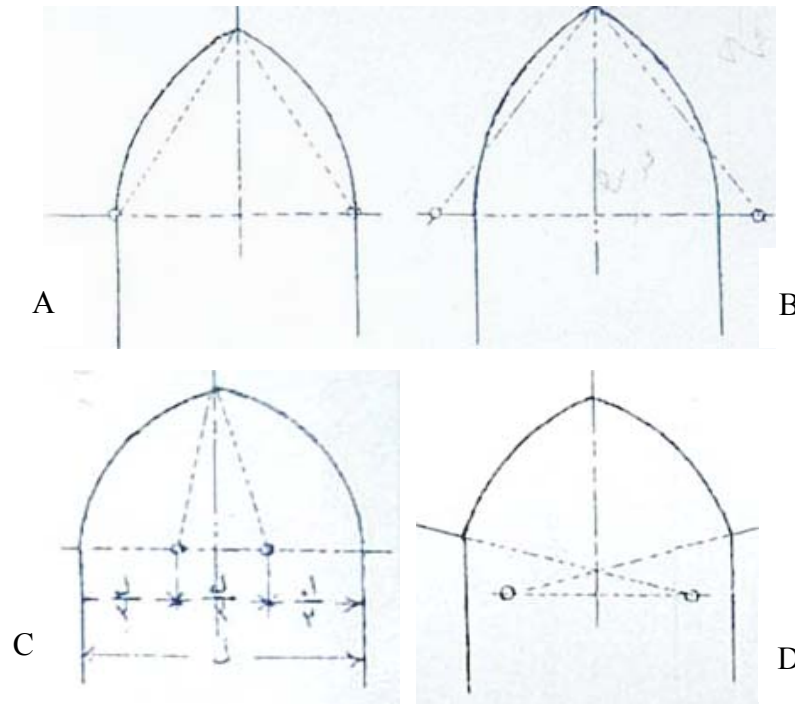
**Şekil 3.11** : Kemer kalıp iskelesi (Sakarya yakınlarında yakın dönem bir köprü inşaatından) <sup>6</sup>

<sup>6</sup> <http://site.mynet.com/hicriye/link161202/id6.htm>

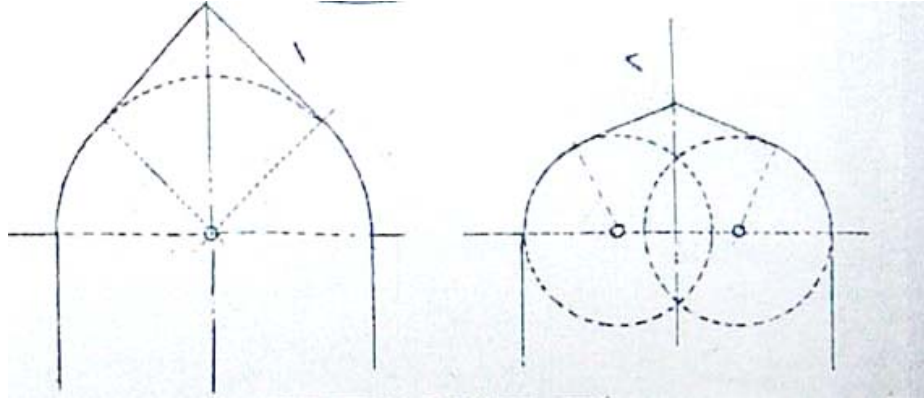
Kemer eğrileri ve eğri merkezlerinin konumuna göre kemer formları adlandırılmaktadır. Bunlar; dairesel kemer, sivri kemer, basık kemer ve varyasyonları şeklindedir.

**Dairesel Kemer :** Başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar tek bir dairesel eğimi takip eden kemer formudur. Yapısal olarak bir açıklığın üzerini örtmekten çok, yük taşımak amacıyla köprü su kemeri gibi yapılarda daha çok kullanılmaktadır. Roma köprülerinde en sık kullanılan kemer formudur.

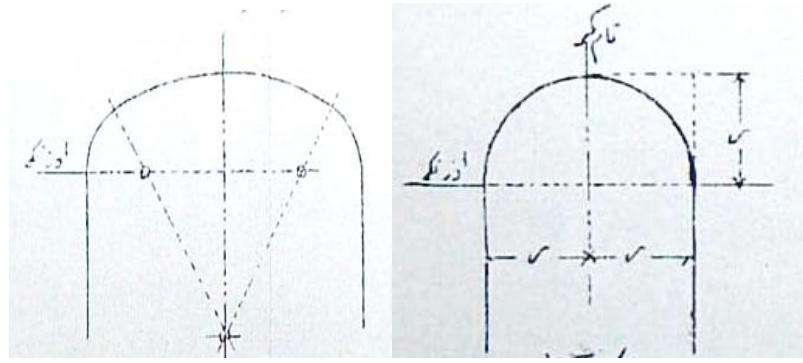
**Sivri Kemer:** Orta Çağ ve Gotik dönem mimarisinde yoğunlukla kullanılmış, yarı çapı kemer açıklığının yarısından büyük simetrik iki yayın birleşmesiyle oluşan kemer formudur. Yay merkezleri üzengi hizasında veya altında olabilmektedir. Yay merkezleri birbirinden uzaklaştıkça tepe noktası yükselmekte ve sivrilik artmaktadır. Dairesel kemere oranla ayaklara aktardığı yükler düşeye daha yakındır. Selçuklu Dönemi köprülerinde de hem ana kemerde, hem de tahliye kemerlerinde belirgin bir şekilde kullanılmıştır. Osmanlı köprülerinde de sivri kemer kullanılmakla birlikte, C tipi kemerler yoğunluktadır (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12 :** Sivri kemer tipleri [13]



**Şekil 3.13 : Üstten teğet kemer [13]**



**Şekil 3.14 : Basık kemer ve dairesel kemer [13]**

**Basık Kemer :** Yay merkezi, açıklık ortasında üzengi seviyesinin altında bulunan, yüksekliği açıklığın yarısından küçük olan kemer formudur. Düşey yük taşıma kapasitesi dairesel kemere göre daha az olduğu ve yatay kuvvetler oluşturduğu için, kapı ve pencere boşluklarının geçilmesinde kullanılmaktadır. Yatay kuvvetlerin artması güçlü ayaklar veya gergilerin kullanılmasını gerektirmektedir.

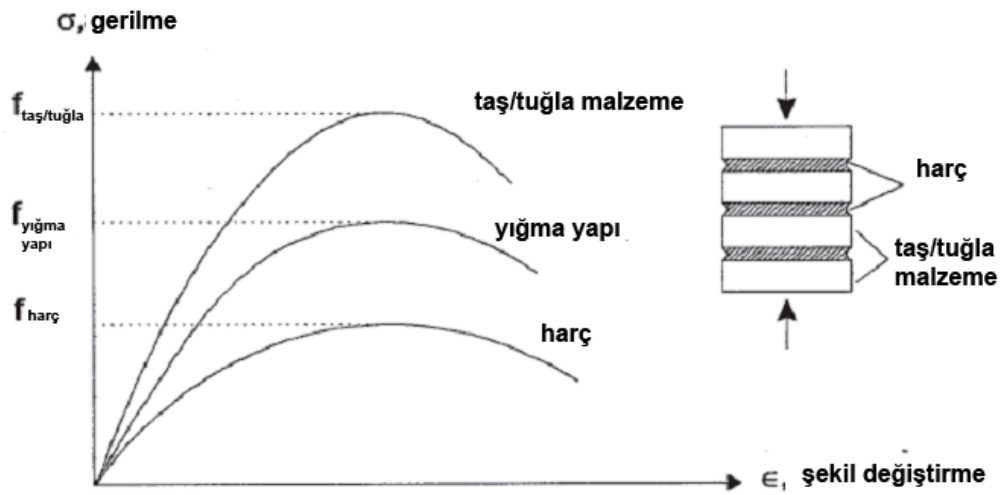
Aşağıda, geleneksel yapılarda kullanılan kemer tipleri, Ali Talat Bey'in Kagir İnşaat[13] kitabındaki çizimleri ile sunulmaktadır.

### 3.5. Malzeme

Yığma yapılar, farklı yapı malzemelerinin çeşitli tekniklerle bir araya getirilerek, farklı davranış karakterine sahip heterojen bir bütün oluşturmaktadır. Basınç kuvvetlerine karşı yüksek dayanıma sahip taş malzemenin, bağlayıcı harçların, yatay ve düşey metal birleşim araçlarının bütününden oluşmaktadır. Yapıyı meydana getiren tüm malzemelerin, etkisi altında olduğu kuvvetlerin yönüne, malzemenin boyut ve konumuna, iç yapı karakterine göre taşıyıcı sisteme farklı katkıları

olmaktadır. Taş malzeme, yüksek basınç dayanımı ile düşey kuvvetleri karşılamakta, taşlar arasındaki harç bağlayıcı görev yapmakta, yatay veya düşey doğrultuda kullanılan metal elemanlar ise, oluşabilecek çekme kuvvetlerini karşılamaktadır. Metal kenetler dışında, yığma yapı kesiti içerisinde yer alan veya mesnet noktalarını birbirine bağlayan gergi elemanları, yığma yapı tarafından karşılanamayan yatay kuvvetleri karşılamaktadır.

Yapı malzemeleri, yapının kendi ağırlığı ve üzerindeki tüm yükleri karşılayabilecek dayanım ve rijitliğe sahip olmalıdır. Yapı malzemesinin yoğunluğu dayanımda etkili olurken, yıllara bağlı değişim gösteren malzeme özellikleri de yapı dayanımını etkilemektedir. Yük altında oluşan deformasyonların geri dönüşümlü olmasını ifade eden elastisite değeri de yapı malzemelerinin karakteristik özelliklerinden biridir. Yeterli elastisiteye sahip olmayan malzemelerde, yük altında kırılma ve göçmeler görülmektedir [14,sf.46].



**Şekil 3.15 :** Yapı malzemelerinin ve yığma yapının gerilme-deformasyon grafiği [14]

Genellikle basınç kuvvetleri altındaki yığma yapılarda, malzemelerin basınç gerilmeleri altındaki davranışları incelenerek, uygun malzeme ve bağlayıcıların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Derzlemede kullanılan harç, yığma yapıya elastik özelliğini vermektedir. Yapının elastik özelliklerini, harcın kompozisyonu kadar, sıkıştırılma değeri, taşların nem oranı ve yüzey pürüzlülüğü de doğrudan etkilemektedir [14,sf.52].

Yığılma yapı elemanlarında dayanım ve rijitlik değerlerinin belirlenmesi zordur. Yapı elemanı bazında gerçekleştirilen laboratuvar testleri, tüm yapıyı tanımlamak için yeterli olmamaktadır. Dayanım ve rijitlik değerleri kuvvet tipine göre değişim göstermektedir. Dayanım ve rijitlik değerleri, malzemenin karşılayabileceği maksimum gerilmeye karşılık gelen deformasyon miktarının belirlenmesi ile bulunmaktadır. Ancak çekme ve basınç gerilmeleri altında malzemenin gösterdiği deformasyonlar farklılık göstermektedir. Malzemelerin davranışlarını anlamak için, doğrusal olmayan deformasyon-gerilme grafiklerinden yararlanılmaktadır. Malzemelerin elastisite modülü, bu eğriler yardımı ile belirlenmektedir. Yığılma yapıların elastisite modülü ise bünyesinde bulunan malzemelerin elastisite değerlerine bağlı olarak değişmektedir [7,sf.75].

### **3.5.1. Geleneksel Yapılarda Kullanılan Taşlar**

Yapı malzemesi olarak taş, kolay erişilebilir ve işlenebilir olması ve dayanıklılığı sebebiyle anıtsal yapılarda kullanılan temel malzeme olmuştur. Ancak basınç dayanımı yüksek olmasına karşılık, çekme dayanımı düşük bir malzemedir [14,15].

Taşları oluşumlarına göre üç ayırmak mümkündür. Birincil kayalar (igneous), magmanın soğuması ile oluşmuş taşlardır. İçerisinde bulunan eriyikler ve soğuma hızı, taşın dokusunu belirlemektedir. Soğumanın hızlı olduğunda boşluksuz ve pürüzsüz, soğuma yavaş olduğunda ise taneli ve boşluklu olmaktadır. Birincil kayalar, kristalli yapıya sahip sert taşlardır. En bilinen örnekleri granit, felsit, bazalt ve obsidyendir [14,sf.50].

Sedimanter kayalar olarak adlandırılan ikincil kayalar, birincil kayaların, ısı değişimleri veya kimyasal reaksiyonları ile ayrışması, parçalanması ve yığılması ile oluşmaktadır. Rüzgar ve su taşların katmanlaşmasını sağlamaktadır. Kumtaşı ve kireçtaşı bu şekilde oluşan kayalardır [14,sf.50].

Üçüncü tip, metamorfik kayalar ise volkanik ve sedimanter kayaların sıcaklık ve basınç altında kimyasal reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. Kimyasal ve fiziksel özellikleri, bünyesindeki volkanik ve sedimanter kayaların cins ve oranına göre değişmektedir [14,sf.51].

| TAŞLAR     | BASINÇ DAYANIMI<br>(MPa) | KESME<br>DAYANIMI<br>(MPa) | ÇEKME<br>DAYANIMI<br>(MPa) | ELASTİSİTE<br>MODÜLÜ<br>(MPa) x 10 <sup>3</sup> |
|------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|
| GRANİT     | 30 ~ 70                  | 14 ~ 33                    | 4 ~ 7                      | 30 ~ 55                                         |
| MERMER     | 25 ~ 65                  | 9 ~ 45                     | 1 ~ 15                     | 25 ~ 70                                         |
| KİREÇ TAŞI | 18 ~ 35                  | 6 ~ 20                     | 2 ~ 6                      | 10 ~ 55                                         |
| KUMTAŞI    | 5 ~ 30                   | 2 ~ 10                     | 2 ~ 4                      | 13 ~ 50                                         |
| KUVARSİT   | 10 ~ 30                  | 3 ~ 10                     | 3 ~ 4                      | 15 ~ 55                                         |
| SERPANTİN  | 7 ~ 30                   | 2 ~ 10                     | 6 ~ 11                     | 23 ~ 45                                         |

**Şekil 3.16 : Taşların dayanım değerleri [14]**

Osmanlı İmparatorluğu'nun en yoğun mimari etkinliği 16. yy.'da Mimar Sinan'ın mimarbaşılık görevi sırasında gerçekleşmiştir [16,sf.109]. İstanbul ve yakın çevresindeki inşaatlarında çevre taş ocaklarını kullanmıştır. Ancak bazı özel yapılar için taşların Mısır ve Uzakdoğu gibi uzak yerlerden getirtildiği veya devşirme olarak kullanıldığı da bilinmektedir [15,sf.109].

Mimar Sinan İstanbul ve yakın çevresindeki yapılarda, ağırlıklı olarak küfeki taşı kullanmıştır. Küfeki taşı, yüksek dayanımı ve kolay işlenebilirliğinin yanında, Karasurları'ndan Sefaköy'e kadar yayılım gösteren taş ocaklarının yoğunluğu sebebiyle de tercih edilen bir taş olmuştur. Mimar Sinan'ın yapılarında, taşıyıcı duvarlarda tek başına veya tuğla ile almaşık düzende, kemerlerde, iç ve dış mekan bezemelerinde ve döşemelerde de kullanılmıştır.

Küfeki taşı, daha çok cami, medrese, kervansaray gibi yapılarda yalın cephelerin oluşturulmasında, kesme taş olarak kullanılmıştır. Şehir dışında bulunan su kemerlerinde ise, küfeki taşının işlenme sürecinin malzemeyi dış etkenlere karşı zayıflatması sebebiyle, daha az işlenmiş bosajlı taş kullanımı yaygındır [15,sf.110].

Sinan'ın Köprüleri'nde de küfeki taşı kullanımı yaygındır. Kemerlerde yanaşık derzli kesme taş olarak, cephelerde ise ince bir harç tabakasıyla birlikte kullanılmaktadır. Su kemerlerinde olduğu gibi, bosajlı taş kullanımına da rastlanmaktadır.

Küfeki taşının yanında, Marmara mermeri, odtaşı, pudingler, kireçtaşı, çeşitli granit ve mermerler, Sinan'ın diğer yapılarında sıklıkla kullanılmaktadır. Aşağıdaki tabloda Sinan yapılarında kullanılan taşların mühendislik özellikleri verilmiştir.

| Taş Türü                                      | Birim Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> ) | Ağırlıkça Su Emme(%) | Porozite(%) | Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm <sup>2</sup> ) | Elastisite Modülü (kg/cm <sup>2</sup> ) | Ağırlıkça Aşınma (%) |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|-------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| Bakırköy Taşı (Küfeki)                        | 2.15                                      | 3.01                 | 6.63        | 325-340                                          | 237.1                                   | 20-24                |
| Marmara Mermeri                               | 2.7                                       | 0.06                 | 0.07        | 11100                                            | 8.2.10                                  | 5.8                  |
| Odtaşı                                        | 2.06                                      | 7.83                 | 16.1        | 352                                              | 2.1                                     | 4.64                 |
| Hereke Pudingi                                | 2.7                                       | 0.42                 | 1.14        | 530                                              | 2.1                                     | 2.05                 |
| Karacabey Pudingi                             | 2.69                                      | 0.24                 | 0.66        | —                                                | 3.1                                     | 5.83                 |
| Gebze-Tavşanlı Kireçtaşı                      | 2.67                                      | 0.23                 | 0.64        | 885                                              | 48.1                                    | —                    |
| Siyah Kireçtaşı İstanbul-Balta Limanı-Kanlıca | 2.67                                      | 0.12                 | 0.32        | 6.54                                             | —                                       | —                    |
| Şirin Çavuş Dasitik Tüf                       | 2.1                                       | 8.24                 | 17.29       | 380                                              | —                                       | 9.6                  |
| Kestanbol Graniti                             | 2.68                                      | 1.02                 | 1.02        | 2700                                             | 75.1                                    | 1.05                 |

**Şekil 3.17 : Mimar Sinan yapılarında kullanılan taşların mühendislik özellikleri [15,sf.112]**

### 3.5.2. Geleneksel Harçlar

Yapıda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan harç, kilden agregaya kadar değişiklik gösteren granüler malzemeden ve bu malzemeleri bir arada tutan kimyasal bileşimlerden oluşmaktadır.

Toprağın biçimlendirilmeye başlanması ile harç kullanımının başladığı düşünülmektedir. Toprağın içerisine, öğütülmüş taşlar ve çeşitli kireç karışımlarının eklenmesiyle birlikte dayanımı ve durabilitesi yüksek harçlar elde edilmeye başlanmıştır.

Vitrivius, Mimarlık Üzerine On Kitap adlı eserinde, kum ve kireçten oluşan harca, 1/3 oranında öğütülmüş elenmiş pişmiş toprak veya tuğla katıldığında daha iyi bir harç elde edilebileceğini söylemektedir [10,sf.31].

Osmanlı yapılarında, Vitrivius'un tarifini verdiği benzer, tuğla kırıkları ve kireç karışımından oluşan, horasan harcı adı verilen karışımın kullanıldığını görmekteyiz.

Horasan, kelime anlamı olarak, tuğla, kiremit gibi pişmiş kilden oluşan malzemelerin öğütölmüş halini ifade etmektedir. Horasan harcı ise, öğütölmüş malzemenin hava kireci ile birleşmesinden oluşmaktadır. Malzeme oranları ve sertleşme süresi gibi bilgiler, usta çırak ilişkisiyle aktarılırken, daha sonraları şartnamelerle belirlenmiştir [16,sf.1].

Horasan harcı geleneksel yapıların inşasında kullanılan en önemli bağlayıcı malzemedir. Onarım müdahalelerinden önce bu harçların özelliklerinin bilinmesi, onarım için gerekli harçların üretilebilmesi için önemli olmaktadır.

Eski Yunan, Roma ve ileriki dönemlerde inşa edilen yapılarda, kireç kullanarak elde edilen harçlar ve sıvalar kullanılmıştır. Kireç harcı içerisine, agreganın yanında çeşitli organik ve inorganik malzemelerde eklenmektedir [17,sf.1].

Kirecin hammaddesi kalsiyum karbonattır ( $\text{CaCO}_3$ ). Isıl işleme tabi tutulan  $\text{CaCO}_3$ 'ten  $\text{CO}_2$  ayrılmakta ve kalsiyum oksit oluşmaktadır ( $\text{CaO}$ ). Kalsinasyon adı verilen ısıl işlem sonucu oluşan kalsiyum oksite, “sönmemiş kireç” de denilmektedir. Havadaki nem veya su ile reaksiyona girerek  $\text{Ca(OH)}_2$ 'a dönüşen malzeme “sönmüş kireç” olarak adlandırılmaktadır [17,sf.1].

Karbonatlaşma sürecinin süresi ve kalitesi kireç tanelerinin boyutlarına, karışım suyunun cinsine, karıştırmaya bağlı olarak değişmektedir. Süreci hızlandırmak ve harcın özelliklerini değiştirmek amacıyla, yumurta, peynir, gübre, bitki suları gibi katkıların kullanıldığı bilinmektedir [17,sf.1].

Harçların yığma yapıların basınç, eğilme ve kesme dayanımlarına doğrudan etkisi bulunmaktadır. Yapı elemanı olarak kullanılan taş veya tuğla harç ile bağlanarak tek bir kütle oluşturmaktadır. Harç tabakası üzerinde iki yönde gerilme oluşmaktadır. Biri derzlere dik yönde oluşan basınç ve çekme gerilmesi, diğeri ise paralel yönde kayma gerilmesidir [14,sf.52].

Harcın kompozisyonu(bağlayıcı tipi, agrega tipi ve boyutu), işlenebilirliği kontrol eden su/bağlayıcı oranı ve taş yüzeyinin pürüzlölüğü, yapı dayanımını doğrudan etkileyen harç özellikleridir [14,sf.52].

#### 4. KÖPRÜLERDE MEYDANA GELEN HASARLAR

Günümüze kadar ayakta kalabilmiş pek çok taş kemerli köprü, bu süreç içerisinde yapısal hasara yol açabilecek etkiler altında kalmıştır. Sel, deprem gibi doğal veya insan kaynaklı bu etkiler altında köprüler, kısmen veya tamamen hasar görmektedir. Yapıların aynı etkiler altında farklı tepkiler göstermesine sebep olan tasarım farklılıkları ve hasara yol açan etki mekanizmalarının analizi, yapıların korunması ve onarımında öncelik taşımaktadır. Bu kapsamda, doğal ve doğal olmayan etkenler ve yapı üzerindeki etkileri aşağıdaki başlıklar altında incelenmektedir.

##### 4.1. Ayaklarda Oluşan Hasarlar

Kemer ayaklarında oluşan oturmalar, kemer açıklıklarında çatlak ve açılmalara yol açabilmektedir. Ayaklarda oluşan oturma, zemin konsolidasyonunun (sıkışmasının) yeterli seviyede olmadığı veya zeminin farklı katmanlardan oluşması durumunda gözlenmektedir. Zemin katmanlarında zamana bağlı oturmalar oluşabileceği gibi, ayakların oturduğu zeminin taşıma kapasitesini aşması da ayaklarda oturmalara yol açabilmektedir. Kuvvetli sel durumlarında ise, ayakların temelinde oluşan kayma gerilmesinin suyun itme kuvveti ile aşılması durumunda ayaklarda kayma, oturma veya dönme gibi etkiler gözlenmektedir [18,sf.45](Şekil 4.1 ).



**Şekil 4.1:** Mataracı Köprüsü kemer ayağında sel hasarı,TCK fotoğraf arşivi, 2006 [19]

Nehir tabanında, talveg kotunda (nehir taban seviyesi) yapılan değişiklikler köprü ayaklarını oyarak, temeli oluşturan malzemelerin kaybına, ahşap kazıkların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Nehir kenarına dolgu yapılarak akarsu geçişinin daraltılması debiyi artırmakta, turbulanslı akımlar dolayısıyla sürüklenen malzeme miktarı artmakta, ayaklarda oyulmaya yol açmaktadır. Nehir tabanından toprak çekilmesi de turbulanslı akımlar oluşturarak ayaklara zarar vermektedir [19,sf.257] (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2 : Ayaklarda oyulma (Aspendos Köprüsü) [19]**

Temelerde kullanılan ahşap kazıklar, itki kuvvetlerinin karşılanması için iyi bir sistem olmakla birlikte, kazıkların yeterli uzunluğa sahip olmadığı durumlarda, sel suları ayakların altını oymakta ve kazıkları açığa çıkararak ya taşıma kapasitesini yitirmesine ya da kazıkların çevresini tamamen açarak yapıyı labil hale getirmektedir [1,sf.61]. Günümüz köprülerinde de aynı sorunlar görülmektedir. 1972’de Barselona yakınlarındaki nehirden kum çekilmesi sonucu, nehir su seviyesi düşmüş, bu da köprü kazıklarını açıkta bırakarak yıkılmasına sebep olmuştur [1,sf.61].

#### **4.2. Sel Hasarları**

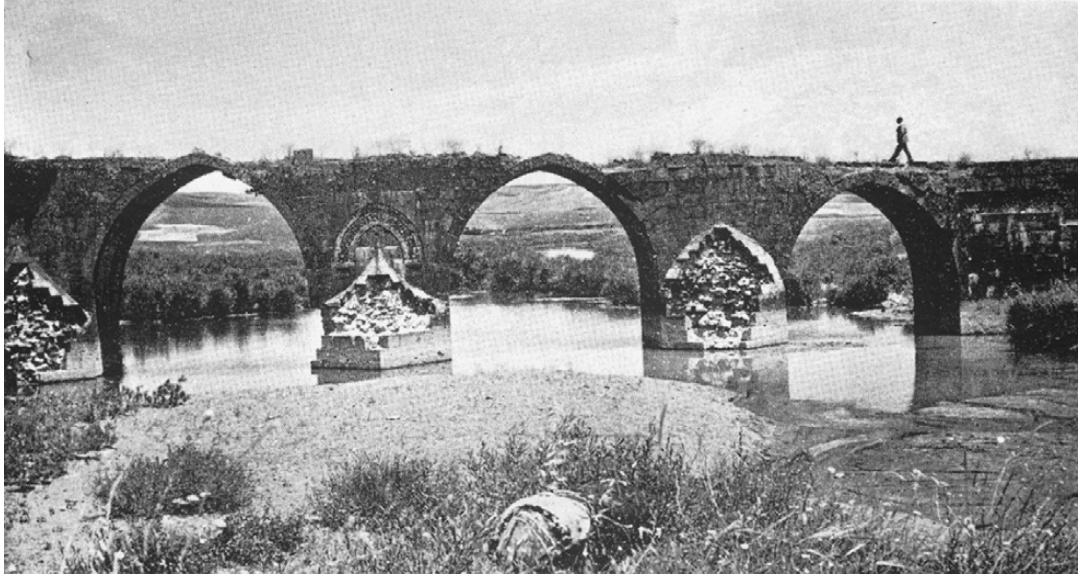
Ülkemiz, ılıman iklim kuşağında bulunmasında rağmen, düzensiz rejime sahip akarsular, yağışlı mevsimlerde sel oluşturabilmekte ve akarsu yataklarında önemli yapısal hasarlara yol açmaktadır. Akarsular üzerindeki köprüler, sellerden en çok

zarar gören yapılar olmaktadır. Sel sırasında taşınan iri taneli malzemeler ile birlikte, suyun itiş gücü artmakta ve köprüler üzerinde yüksek hidrolik basınç oluşturmaktadır. Suyun itme kuvvetinin dışında, akarsuyun sel sırasında bünyesine kattığı çeşitli yıkıntılar da (ağaç gövdeleri ve çeşitli yüzer kütleler) köprülere zarar vermektedir.

Hasarların öncelikli görüldüğü yerler, ayaklar üzerindeki selyaranlar, ya da doğrudan ayaklar olmaktadır. Akış hızına ve içerdiği malzeme miktarına bağlı olarak, yukarıda da bahsedildiği gibi, ayaklarda oyulma ve oynamalara, taş yüzeylerin yüzeysel veya bütünsel olarak hasar görmesine veya derzlerin boşalması gibi hasarlara yol açmaktadır [20] (Şekil 4.1,4.2).

| ETKEN                                                                     | NEDEN                                                                                                                                                                           | SONUÇ                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doğal nedenlerle uzun dönemde taban seviyesi değişimleri                  | Akarsu doğal rejimine ve havza hidrometeorolojik özelliklerine göre oluşan sürekli veya periyodik taban seviyesi alçalması veya yükselmesi, şev denge problemi ve yanal erozyon | Bu değişimler, genellikle köprü ekonomik ömründen daha uzun sürede oluşur ve köprü civarındaki düzenleme yapılarıyla telafi edilir.                                                                               |
| İnsan kaynaklı nedenlerle kısa ve orta dönemde taban seviyesi değişimleri | Akarsu düzenlemesi, yargın inşaatı, taban malzemesi çekilmesi, su çekilmesi, baraj veya bağlama yapılması, arazi kullanımındaki olumsuzluklarla havza sediman veriminin artması | Akarsuda genişletme, derinleştirme, yargın inşaatı, baraj ve bağlama yapılan gibi etkenlerle taban rejiminin bozulması, taban malzemesi çekimiyle mansapta; su çekimiyle membağa artan taban erozyonu             |
| Daralma oyulması                                                          | Köprü aksındaki açıklığın dar olması                                                                                                                                            | Mertebesi genellikle ayaklar etrafındakinden daha az olmak üzere köprü açıklığı tabanında oyulma                                                                                                                  |
| Ayaklar etrafında yerel oyulma                                            | Ayaklar etrafında oluşan çevrıntiler ve artan sürüntü maddesi taşıma kapasitesi                                                                                                 | Köprü ayakları etrafındaki yerel oyulma nedeniyle temelde oturma ve olası köprü yıkımı                                                                                                                            |
| Köprü açıklığında hidrolik sıçrama                                        | Köprü aksındaki açıklığın çok dar olması nedeniyle açıklıkta sel rejimi oluşma olasılığı                                                                                        | Hidrolik sıçramadaki çevrıntilerin taban malzemesinin sürüklenme kapasitesini ve oyulmayı arttırması                                                                                                              |
| Ayaklar arasındaki açıklığın malzeme ile dolması                          | Altyapı elemanlarının şekil ve boyutlarındaki yetersizlik, ayak sayısının fazla olması                                                                                          | Daralan açıklıkta artan akım hızıyla taban oyulma potansiyelinin artması ve memba su kotunun kabarması                                                                                                            |
| Taşınan malzemenin dinamik etkisi                                         | Akarsu şevlerinden veya vadi yamaçlarından toprak kaymasıyla taşınan kaya parçalarının (Bkz.Şekil 2) köprü elemanlarına uyguladığı dinamik itki                                 | Ayaklara veya tabliyeye yüksek hızlarla çarpan kaya parçalarının büyük tahrip etkisi                                                                                                                              |
| Basıncı ve savak tipi                                                     | Açıklığı dar olan köprülerde taşkın esnasında su seviyesinin aşırı artması                                                                                                      | Basıncı akımda tabliyeye uygulanan alttan kaldırma kuvveti, savaklı akımlarda akımlar köprü trafiğinin maruz kaldığı tehlike, bu tip akımlarda düşey daralma etkisiyle tabanda oyulma eğiliminin artması          |
| Köprü yeri seçimiindeki hata                                              | Depolama tesislerin yakın mansabı Çevirme tesislerinin yakın membaı Akarsu birleşimlerinin mansabı Keskin kurplar                                                               | Depolama tesislerinin mansabında artan temiz su oyulması, çevirme tesislerinin membaında kabaran su derinliği nedeniyle tabanda artan gerilmeler, akarsu birleşimlerinin mansabında ve kurplarda taban oyulmaları |
| Köprü ayakları konumlarının seçimiindeki hata                             | Orta ayakların açıklıktaki büyük hız bölgelerine konuşlandırılması                                                                                                              | Ayak civarında taban oyulması artmakta ve köprü yıkılmasına neden olabilmektedir                                                                                                                                  |
| Temel durumu                                                              | Sömel seviyesinin yeterince derinde olmaması                                                                                                                                    | Tabanda oyulma potansiyeli yüksek köprülerde sığ sömel seviyesine kadar oyulma devam ederse büyüyen sömel genişliği nedeniyle oyulma daha da artar köprü yıkılabilir.                                             |

**Sekil 4.3 : Köprülerde hasara yol açan hidrolik etkenler [20]**



**Şekil 4.4:** Sel sonrası selyaran hasarları, Diyarbakir,Devegeçidi Suyu Köprüsü [2]

#### **4.3. Deprem Hasarları**

Pek çok aktif fayın bulunduğu Anadolu coğrafyası, daimi olarak yıkıcı depremlerin etkisi altındadır. Basınç gerilmelerine karşı yüksek dayanıma sahip taş malzeme ile inşa edilen köprüler, düşey yükler altında yüksek gerilmeleri karşılayabilmekte, ancak deprem gibi etkilerle oluşan yatay kuvvetler altında hasar görebilmektedir. Yatay kuvvetlerin karşılanması amacıyla pek çok yığma yapıda, gergi, kenet, zıvana gibi, çekme kuvvetlerini karşılayabilecek metal elemanların kullanıldığı bilinmektedir.

Köprülerin sismik davranışları hakkında sınırlı bir bilgi birikimi bulunmaktadır. Ancak yine de farklı bölgelerde farklı tekniklerle inşa edilmiş ve depremde hasar almış yapıların incelenmesi, taş köprülerin deprem davranışı hakkında genel bir bilgi vermektedir.

Cephe duvarlarında dışa doğru dönmelerin oluşması ve yitirilen cephe duvarı ile birlikte dolgunun boşalması, depremde sık rastlanılan bir durumdur. Cephe duvarlarının yıkılmasının dolgu duvar etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir [21,sf.16] (Şekil 4.5,4.6).



**Şekil 4.5 :** Hindistan 2001 Bhurj depreminden hasar görmüş bir demiryolu köprüsü [21]



**Şekil 4.6 :** Hindistan 1967 Koyna depreminde cephe duvarları hasar görmüş bir köprü [21]



**Şekil 4.7 :** Adana Misis Köprüsü 1998 depremi sonrası hasarı (Nejat Bayülke 1998 Adana Depremi değerlendirme raporu (<http://angora.deprem.gov.tr/AdanaDamage.html>)).

Deprem hasarları özellikle en büyük açıklığa sahip ana kemer taşlarında çatlama ve açılmalar veya köprü orta aksı boyunca görülen açılmalar şeklinde olmaktadır [18,sf.47] (Şekil 4.7).

#### **4.4. Kaplama Malzemesi ve Drenaj Sorunları**

Köprü üzerindeki kaplama taşının su emme değeri ve boşluk oranı malzeme seçimi için önem taşımaktadır. Suyun yapıya zarar vermeden uzaklaştırılması, yapı stabilitesine etki eden bir faktör olmaktadır. Kaplamanın ve drenaj sistemin zayıf olması yüzey sularının köprünün dolgu kısmına sızmasına ve dolgu malzemesinin zamanla ufalanarak yapıdan atılmasına, dolgu içerisinde boşlukların oluşmasına sebebiyet verebilmektedir.

Dolgu içerisine sızan su, ısı değişimlerinde genleşmelere yol açabileceği gibi, donma çözülme etkisinde malzeme dayanımına doğrudan etki etmektedir. Dolgu malzemesine karışmış killi malzeme, dolguya sızan su ile genleşerek cephe duvarları üzerine baskı yapabilmektedir.



**Şekil 4.8 : Yüzey kaybı,(KGM Fotoğraf Arşivi)**

#### **4.5. Malzemelerin Dayanımı**

Yapı üzerinde kullanılan malzemelerin durabilitesinin zayıf olması durumunda, yapı malzemesinin çevresel etkilere bağlı olarak bozulması söz konusu olmaktadır. Yaz-kış, gece-gündüz ısı farklarının malzeme üzerindeki etkisi, rüzgar ve çeşitli titreşim kaynakları ile birlikte, yüzeysel veya tümünden malzeme kayıplarına yol açabilmektedir.

#### **4.6. Bitkilenme**

Sürekli bakım yapmanın mümkün olmadığı pek çok taş köprüde çevresel etkiler ve havadaki nem oranına bağlı olarak zamanla yapı üzerinde bitkilenmenin görülmesi sık karşılaşılan bir durumdur. Yukarıda da belirtildiği üzere, köprü kaplamasında ve drenaj sistemindeki zayıflıklar da bitkilenmeye uygun koşulları hazırlamaktadır. Kökleri ile yapıya zarar veren bitkilerin dışında, likenler ve çeşitli mantar tipleri de yapı taşları bünyesindeki kalsiyum, alüminyum, demir ve potasyum gibi mineraller ile beslenip, yapı üzerindeki bağlayıcıları çözebilecek asitler salgılamaktadır.

#### **4.7. İnsan Kaynaklı Hasarlar**

Yukarıda sayılan pek çok etkenin yanında, insan kaynaklı hasarlar olarak değerlendirilebilecek etkenlerden söz etmek mümkündür. Bu etkenler, tasarım hatalarından, vandalizme, işlevsel amaçlarla yapılmış değişikliklerden, bilgi ve

teknik eksikliklerin bereberinde getirdiği yanlış uygulamalara kadar çeşitlendirilebilir. Bu sayılan sebepler, pek çok durumda, doğal etkenlerden daha yıkıcı sonuçlara yol açabilmektedir.

#### **4.7.1. Akarsu Yatağının Değiştirilmesi**

Akarsu yataklarında yapılan değişiklikler, köprü ayaklarına gelen itme kuvvetini doğrudan etkileyen bir faktör olarak, köprü stabilitesi açısından önem arz etmektedir. Akarsu yataklarının doldurulması, mevcut su miktarının daha dar bir kesitten geçmesine yol açarak debiyi, ve köprü üzerindeki itkiyi artırmaktadır. Bu etkinin sel durumlarında daha yüksek seviyelere çıkacağı açıktır. Akarsu kenarlarında kurulan kum ocaklarının da akarsu rejimine doğrudan etkisi olmaktadır. Bu müdahaleler sonucunda akarsu içerisinde taşınan taneli malzeme miktarı değişmekte, bu da köprü ayaklarında oyulma veya taşınan malzeme altında gömülmesine yol açmaktadır [17,sf.51].

#### **4.7.2. Aşırı Yükleme**

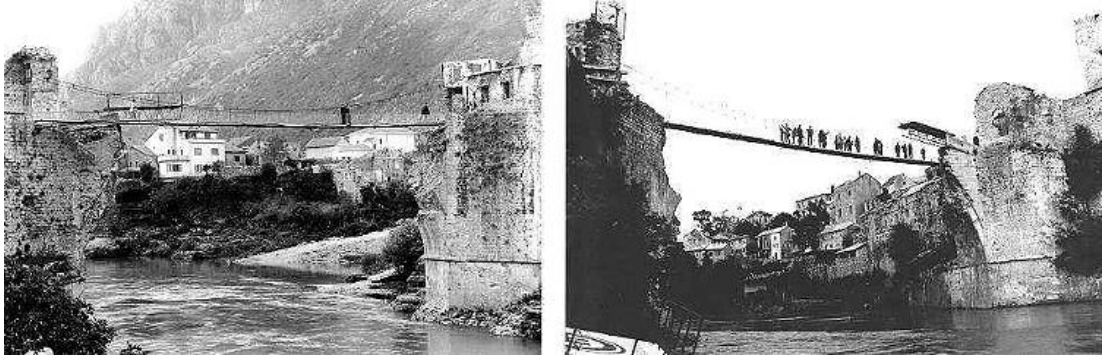
Köprü kemerlerinin basınç kuvveti taşıma kapasitesi, taş malzemenin ve kemer formunun bir getirisi olarak oldukça yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Günümüzde hala sorunsuz bir şekilde işlevini devam ettiren köprüler gözönünde bulundurulduğunda, öngörülen yüklerden daha fazlasını taşıyabildikleri görölmektedir. Ancak dolgu üzerindeki yüklerin artışı, cephe duvarlarında şişme ve yıkılmalara yol açabilmektedir. Ayrıca aşırı yüklemeler sonucu kemer taşlarında oluşan yatay kuvvetlerin karşılanamaması sonucunda, kemer tonozlarında ayrılmalar görölmektedir.

#### **4.7.3. Köprü Eğiminin Değiştirilmesi**

Taş köprülerin mevcut ulaşım yolları içerisinde daha rahat kullanılabilmesi için özgün köprü eğiminin değiştirilmesi sıkça karşılaşılan bir durumdur. Çevre yollar ile köprülerin bağlantısının daha rahat sağlanabilmesi, araçlar için daha konforlu geçişleri mümkün kılmak için yapılan değişiklikler, yapı üzerinde bozulmalara yol açabilmektedir. Köprü eğiminin değiştirilmesi, kemerlere yeni dolgu yükleri getirecektir. Bununla birlikte, üzerinden geçecek olan araç trafiğinin yaratacağı dinamik etkiler kemerler ve/veya ayaklarda hasara yol açabilecektir.

#### 4.7.4. Savaşlar

Savaşlar ve vandalizm de köprü hasarları arasında sayılabilir. Örnek olarak 1566 inşa yılı tarihli Mostar Köprüsü, 1993 yılında bir saldırıda yıkılmış ve yeniden yapılarak 2004 yılında açılmıştır. Süregelen savaşlar dahilinde veya dışında, bir kültür veya medeniyetin eserlerini hedef alan vandalizm, köprüler için de bir tehdit unsuru olmaya devam etmektedir.



**Şekil 4.9 :** Savaş sonrası Mostar Köprüsü ([http://www.gen-eng.florence.it/starimost/01\\_intro/descr/des01c.htm](http://www.gen-eng.florence.it/starimost/01_intro/descr/des01c.htm))

#### 4.7.5. Hatalı Onarımlar

Onarımlar sırasında yeterli bilgi ve teknik birikimin kullanılmaması veya yapının detaylı analizi yapılmadan gerçekleştirilen müdahaleler, uygulama sırasında veya sonrasında hasarlara yol açabilmektedir.

##### 4.7.5.1. Uygun Olmayan Malzeme Kullanımı

En sık görülen onarım yanlışları, yapı malzemesi ve bağlayıcı harçlarda uygun malzemenin seçilmemesi olmaktadır. Yapı malzemesi seçiminde, özgün malzemenin fiziksel karakteristik özelliklerine uygun taş seçilmesi gerekmektedir. Bunun için, malzemenin dayanım ve öz ağırlığının, boşluk oranının, kapiler su emme değerinin ve kimyasal içeriğinin, çevre koşulları ve diğer yapı malzemeleri ile olan ilişkisine dikkat edilmelidir.

Farklı dayanıma sahip malzeme kullanımı, rijitlik dağılımında dengesizlikler yaratacak, bölgesel hasarların oluşmasına sebep olabilecektir. Aynı şekilde öz ağırlığın değişmesi, dengesiz yük dağılımlarına sebep olacaktır.

Malzemenin boşluk oranı ve kapiler su emme değeri ise, malzemenin durabilitesini etkileyen temel unsurlardandır. Su emme değeri yüksek malzemelerde, donam-çözülme etkisi ile hasarların oluşması mümkündür.

Yapı malzemesinin kimyasal kompozisyonu, temas içerisinde olduğu bağlayıcı ve hava ile etkileşime girmeyecek şekilde seçilmelidir. Örneğin, (yanlış bir uygulama olarak) çimentonun, kireç esaslı taşlarla kullanımı sonucunda, havadaki nem ile taş malzeme içerisinde yeni tuz bileşikleri oluşmaktadır (Şekil 4.10). Taşların boşluklarında oluşan tuz bileşikleri hacim artışı sebebiyle taşları parçalayabilmektedir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.10:** Taşlarda tuzlanma (<http://www.leton.com.tr/86-Restorasyon-Teknikleri.html>)

Yine aynı şekilde, havada bulunan çeşitli gazlar (karbondioksit, kükürt dioksit kükürt trioksit), yapı malzemesi üzerinde yeni bir katman oluşturabilir. Bu katman suyun malzemeye girşini engelleyerek koruyucu bir görev üstlenebileceği gibi, yapıdan malzeme kopmalarına yol açarak hasar da verebilir. Yağmur suları ile birlikte sülfat gibi taşlarda bozulmaya yol açan asitlerin oluşması da hava kirliliğinin sonuçlarındandır.



**Şekil 4.11 :** Donma çözülme etkisiyle oluşan hasar (<http://www.letoon.com.tr/86-Restorasyon-Teknikleri.html>)

#### **4.7.5.2. Yanlış Detay Uygulaması**

Yukarıda anlatılan örneklere benzer şekilde, yapı elemanlarının bağlantılarında kullanılan detayların doğru bir şekilde uygulanmaması çeşitli hasarlara yol açabilmektedir.

Pek çok geleneksel yapıda olduğu gibi köprülerde de taşları birbirine bağlamak için, düşey ve yatay doğrultuda metal elemanlar kullanılmıştır. Taşlar birbirine, karbon oranı düşük demirlerden elde edilen kenetlerle, kurşun akıtılarak bağlanmaktadır. Kurşun sıvı halde yerleştilebildiği için uygulama kolaylığını da beraberinde getirmektedir (Şekil 4.12).

Ancak onarımlar sırasında bu elemanların uygun olmayan malzeme ile değiştirilmesi, korozyon ile taşlarda hasara yol açmakta veya yük aktarımı sırasında bölgesel çatlama ve kırılmalara yol açabilmektedir.

Kemer ve duvarların örülmesi sırasında ise taşların boyutlarına ve birbirileri ile kenetlenme mesafelerine dikkat edilmelidir. Özellikle kemerlerde, çevre taşlarının kemer tonozuyla bütünlüğünün sağlanamadığı durumlarda, çevre taşlarının, köprü üzerindeki yük altında ayrılmaktadır.



**Şekil 4.12 :**Kenetle bağlı taşlar ve kurşun dökümü, Saraçhane Köprüsü onarımı,2007

#### **4.7.5.3. Kemer Formunun Değiştirilmesi**

Bazı onarımlar sırasında bilinçli veya bilinçsiz olarak kemer formlarının değiştiği görülmektedir. Bu durum, yapının mimari özgünlüğünü bozmasının yanında, köprünün statik dengesini değiştiren bir müdahale olmaktadır. Kemer formu, bütün kemer taşlarında basınç kuvvetleri oluşacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu da, daha sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılan, tesir çizgisinin kemer formuna uygun bir eğri çizmesi halinde mümkün olmaktadır.

Kemer formunun değiştirilmesi itki çizgisinin ideal kemer eğrisinden daha elverişsiz duruma gelmesine yolaçacaktır (Şekil 4.13).



**Şekil 4.13 :** Onarım sonrası deforme olmuş kemer,Büyükçekmece Köprüsü, 2008

## 5. MİMAR SİNAN KÖPRÜLERİ

Mimar Sinan, 1500'lerin başında devşirilerek Osmanlı ordusuna katılmıştır [22,sf.4]. Eğitim sürecinin ardından ordu ile birlikte 1514-1517 yılları arasında Yavuz Sultan Selim'in İran-Mısır seferlerine katılmış ve bu seferler sırasında ordunun inşaat işlerinde rol almıştır. Kanuni devrinde yeniçeri olarak, 1521 Belgrad, 1522 Rodos, 1526 Mohaç, 1532 Alman ve 1534-1535 Irakeyn seferlerine katılmıştır [23,sf.428]. 1538 Karabuğdan seferinde ordunun Prut nehri üzerinden geçişini sağlamak için, Lütü Paşa'nın padişaha, "Bu köprüyü yaparsa ancak Haseki Sinan Subaşı yapar, üstad-ı cihan ve mimar-ı kardandır" diye tavsiye etmesi üzerine, on üç gün içerisinde bir köprü inşa etmiştir [23,sf.428]. Böylelikle Sinan, subaşıliktan, mimarbaşı ünvanına uzanan kariyerinin ilk ve önemli eserlerini ordu içerisindeki görevi sırasında gerçekleştirmeye başlamıştır. Tüm bu seferler sırasında hem mesleki yetilerini deneme ve geliştirme fırsatı bulmuş, hem de gittiği bölgelerin mimari eserlerinin teknik ve estetik inceliklerini gözlemleme şansına erişmiştir [22,23].

Sinan'ın yapılarını projelendirdiğini, hem yapılarının mimari düzeninden hem de Tezkiret'ül Bünyan'da Büyükçekmece Köprüsü için, "Deryadan tarafa köprü yapmak ansendür deyü köprüyü resm edüp arz eyledim" ifadesinden bilmekteyiz [24]. Ancak yaptığı yapıların, günümüze ulaşabilmiş herhangi bir çiziminin olmayışı bu konuda tartışmalara yol açmaktadır. Yapılarının üzerine imzasını atmıyor olması sebebiyle de, Sinan yapılarının kendisine atfedilebilmesi için çeşitli yazılı kaynaklara başvurmak zorunlu hale gelmektedir. Bu durumda Sinan'ın hayatını ve eserlerini temel alan tezkireler ana başvuru kaynakları olmaktadır. Aşağıda, çeşitli tezkirelerde adı geçen Sinan köprüleri listelenmiştir.

### **Tuhfetül Mimarın**

#### **Nev'i Samin**

Bina olunan cisirleri beyan eder

Büyükçekmece köprü tekdir ve filpa üzre

Bazu gözlerini sel alup tekrar yapılmıştır,

Ve Silivri köprüleri,

Mustafa Paşa Köprüsüdür, Meriç üzerinde

Ve Marmarada Mehmet Paşa köprüsüdür.

Ve Halkalı Pınarda üç pare köprüsüdür.

Ve Harami Deresinde Kapuağası köprüsüdür.

Ve Geğbüze yolunda Sultan Süleyman köprüleridir

### **Risalei Tezkiretü'l ebniye**

#### **Babı Tasi**

Bina olunan cisirlerin esamı ve ab'adını beyan eder

- 1- Büyükçekmece'de bina olunan köprü
- 2- Silivri'de bina olunan köprü.
- 3- Meriç suyu üzerinde Mustafa Paşa köprüsü
- 4- Marmarada merhum Mehmet Paşa köprüsü
- 5- Halkalı Pınarda Odabaşı köprüsü
- 6- Harami deresinde Kapu Ağası Köprüsü
- 7- Sinanlı'da Mehmet Paşa Köprüsü
- 8- Bosna'da Vişegrad nam kasabada merhum veziriazam Mehmet Paşa Köprüsü

### **Adsız risale**

#### **Nev'ussabi**

Bu risalede sadece “cisirleri olunan yapıları beyan eder” şeklinde bir ifade bulunmaktadır.

Yukarıdaki tezkirelerde belirtilen köprülerin dışında, Sinan'ın çeşitli köprülerin onarımlarında da görev aldığı bilinmektedir. Bunlardan, Mustafa Paşa (Sivilingrad) Köprüsü, bugün Bulgaristan'ın Mustafapaşa kasabası içerisinde bulunmaktadır.

Sinan'ın Selimiye Camii'nin inşaatı sırasında bu yapıların inşasında mimarbaşı sıfatıyla ile teftişler yaptığı bilinmektedir [19].

Böylelikle tezkirelerde yer alan Sinan köprüleri aşağıdaki gibi listelenebilir [20].

- 1- Mustafa Paşa Köprüsü, Cisri Mustafa Paşa (Sivilingrad) Meriç üzerinde,Bulgaristan, 1528/29
- 2- Odabaşı Köprüsü, Halkalı-Pınarda, 1529/30
- 3- Sultan Süleyman Köprüsü, Geğbüze (Gebze), Diliskelesi, 16. YY.
- 4- (Sokullu) Mehmet Paşa Köprüsü, Lüleburgaz, 1565
- 5- Büyükçekmece Köprüsü, B.Çekmece, 1567
- 6- Kapuağası Köprüsü, Haramidere 16. YY.
- 7- (Sokullu)Mehmet Paşa Köprüsü, Alpullu, 16. YY.
- 8- (Sokullu)Mehmet Paşa Köprüsü, Silivri, 1568
- 9- (Sokullu)Mehmet Paşa Köprüsü, Vişegrad, 1577/78 (Drina Köprüsü)

Bunların dışında çeşitli vesikalarda geçen köprüleri ;

- 10- Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü, Edirne, 1553/54
- 11- Yalnızgöz Köprüsü, Edirne, 1567
- 12- Kırkgöz Köprüsü,Edirne, tamiri ve uzatılması, 1550

### **5.1. Odabaşı Köprüsü**

1529/30 yıllarında Sinan tarafından yapılmıştır. Küçükçekmece Gölü'nün kuzeyinde, Sazlıdere üzerinde yer almaktadır.

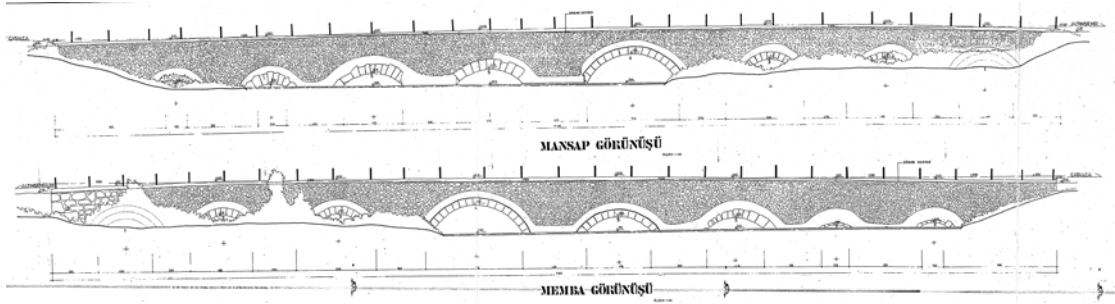
#### **5.1.1. Yapının Mimari Özellikleri**

Yapının mimari özgünlüğü geçirdiği onarımlarla büyük oranda bozulmuş durumdadır. Günümüzde altı kemeri kısmen gözlemlenebilen yapının toplam kemer sayısı bilinmemektedir. Köprünün genişliği, kemerlerin dışına yapılan ek duvar ile değişmiş durumdadır. Korkuluklar ve tabliye özgünlüğünü yitirmiştir. Kemerlerin kilit taşı yüksekliklerine bakılarak, köprünün iki yöne eğimli olduğu anlaşılmaktadır.

Ancak onarımlar ve müdahaleler sonrasında köprünün eğimi kaybedilmiştir. (EK-A1)



**Şekil 5.1 :** Odabaşı Köprüsü mansap cephesi,(Karayolları Genel Müdürlüğü fotoğraf arşivi)



**Şekil 5.2 :** Odabaşı Köprüsü cephe çizimleri,(KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.,1984)

### 5.1.2. Yapının Mevcut Durumu

Cevdet Çulpan, Türk Taş Köprüleri adlı kitabında, 11 Haziran 1968 tarihinde yerinde yaptığı incelemede, yapıyı şu şekilde tanımlamaktadır;

“11 Haziran 1968 günü Halkalı Ziraat Okulu- Halkalı köyü yolu ile, Küçükçekmece Gölü kuzeyinde bu göle karışan Sazlıdere mevkiine gittim. Burada Sazlıdere üzerindeki taş köprüyü gördüm. Sekiz gözlü bu köprünün yontma taştan yapılmış olan kemerlerinin üst kısımları halen mevcuttur. Bu eski kemerlerin üzerleri ayrıca beton kemerlerle takviye edilmek ve köprü bedeni de ayrıca yeni baştan onarılacak suretiyle köprünün ayakta durması sağlanmıştır. Fakat ilk yapı hüvviyetinden pek az bir şey kalmış bulunmaktadır. Sazlıdere'nin getirdiği rüsup, derenin yatağını doldurmaktadır. Bu yüzden taş köprünün ayakları görülmemektedir. Yalnız kemerlerin üst kısımları meydandadır.”



**Şekil 5.3 : Odabaşı Köprüsü güncel durum (2008)**

Yapı, Anıtlar Kurulu’nca 1980 yılında aşağıda belirtilen karar doğrultusunda tescillenmiştir.

“ İstanbul İli, Küçükçekmece İlçesi, Altınşehir Mahallesi, Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu’nun 14.03.1980 11789 sayılı kararı ile tescilli, İstanbul II Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu’nun 16.7.1991 gün 2700 sayılı kararı ile sınırları belirlenen I.derece arkeolojik sit alanı içindedir. “

Anıtlar Kurulunca 2004 yılında hazırlanan anıt fişi üzerindeki tesbitlere göre ;

“Yontma taştan, 8 gözlü köprü yapılan yeni ekler ve tamiratlarla eski dokusunu kısmen kaybetmiştir.

Köprü’nün yukarısından geçirilen su isale hattı ve yapılan onarımlar köprü’nün eski dokusunu kısmen yitirmesine neden olmuştur.

Yapı araç trafiğine açık olup, betondan eklemeler yapılmıştır. Dere yatağının sazlık oluşu ve kemer hizasına kadar dolu oluşu nedeniyle ayakları görülememiştir. Aynı şekilde köprü’nün her iki yanda dolgu toprak seviyesinin yüksek oluşu nedeniyle kemer açıklıklarının net sayısını tesbit edilememektedir. Köprü’nün kuzey yöndeki kermerlerine betondan takviye kemerler eklenmişti. Güney cephedeki yenilenmiş duvar örgüsü belirgindir.”

8 kemerli olarak tasvir edilen köprü’nün, sadece 6 kemeri gözlenmektedir. Çulpan’ın köprüyü tasvirin detoprak altında kalmış olan kısımları değerlendirmedeği göz önüne alınırsa [4,sf.138], köprü’nün özgün durumunda kaç kemerli olduğu bilinmemektedir.

Köprüye yapılan müdahaleler, yapının özgünlüğünü büyük oranda kaybetmesine yol açmıştır. Kapsamlı bir müdahale ile köprünün tempan duvarları genişletilmiş, özgün malzeme ve yapım tekniklerine uygun olmayan müdahalelerde bulunulmuştur<sup>7</sup>. Moloz taş ve çimentolu bağlayıcı ile oluşturulan yan duvarlar, kuzey cephesinde, kemer yüzeylerinden taşarak, güney cephesinde ise bazı yerlerde kemer yüzeyini aşan, bazı yerlerde ise içeride kalacak şekilde yapılmıştır. Müdahale sırasında, kemerler üzerine beton bir kabuk oluşturulup, cephe duvarları bu beton kabuğun üzerine örülmüştür. Karayolları Genel Müdürlüğü'nden edinilen bilgi notuna göre, köprünün 1990 yılında onarım gördüğü belirtilmektedir. Yukarıda bahsedilen müdahalelerin bu dönemde yapılmış olabileceği düşünülmektedir.



**Şekil 5.4 : Odabaşı Köprüsü ve su isale hattı, 2008**

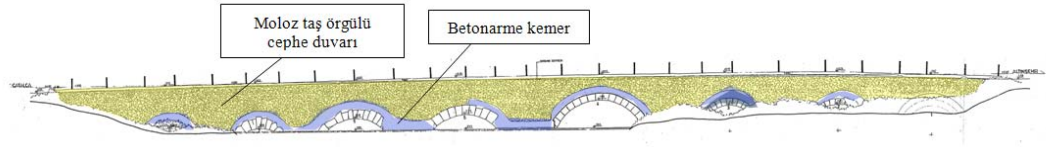
<sup>7</sup> Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü Anıt Fişi Gözlemler, 2004



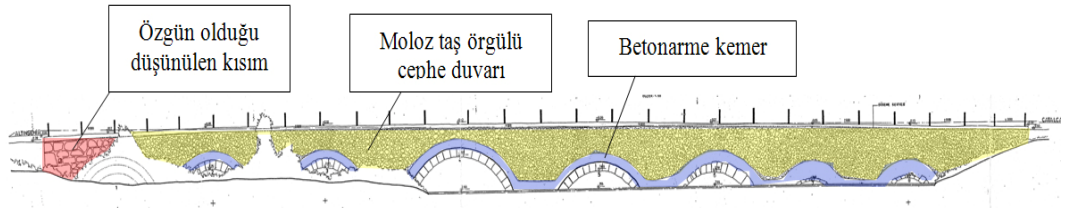
**Şekil 5.5 :** Odabaşı Köprüsü güney cephe kemer detayı, 2008

Yapılan müdahaleler koruma ve restorasyon ilkeleri ile bağdaşmadığı gibi, teknik açıdan değerlendirildiğinde, yapıyı korumak ve desteklemekten uzak olduğu görülmektedir. Kemerlerin üzerini örten betonarme kabuk ile köprünün taşıyıcı sistemi tamamen değiştirilmiştir. Koruma uygulamalarında temel olan özgün malzeme ve tekniğin kullanılması kriteri göz ardı edilmiş, yapının mimari özgünlüğünü bozmanın yanında birbiriyle uyumsuz malzeme ve teknikler bir arada kullanılmıştır.

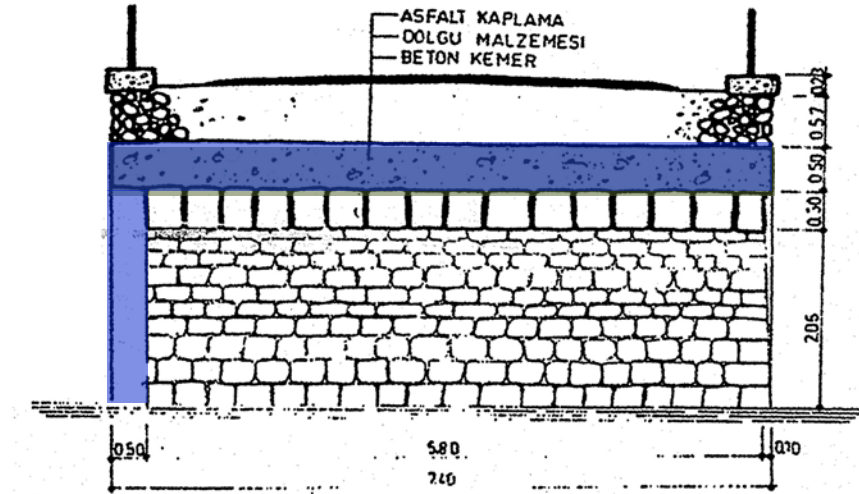
İstanbul II numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun, 19.10.2005/551 tarih ve numaralı kararına göre, başka bir yerden geçirilmesi istenen su isale hattı, köprünün kuzey cephesinde köprüye 1 m kadar yakınlıkta, akarsuyun akışını engelleyebilecek boyutlarda beton masif ayakların üzerinden, çelik bir kafes içerisinden geçirilmiştir. Çelik taşıyıcının yanında sadece bir yayanın geçişine imkan veren bir yaya yolu yapılmıştır. Bu ek yapının, köprünün silüetini bozduğu gibi, temel ayaklarının yapımı sırasında, köprü temellerine zarar verdiği düşünülmektedir. Ayrıca beton ayakların akarsuyun akışını engellediği ve birikmelere yol açtığı görülmektedir.



**Şekil 5.6 : Odabaşı Köprüsü mansap görünüşü**



**Şekil 5.7 : Odabaşı Köprüsü memba görünüşü**



**Şekil 5.8 : Onarım sonrası duruma ait kesit, (KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.,1984)**

### 5.1.3. Öneriler

- Köprünün kuzeyinde bulunan su isale hattı buradan kaldırılmalı, mümkün ise zemin altından geçirilmelidir.

- Toprak dolgu altında kalan kemer kısımları açığa çıkarılmalıdır.
- Onarım amacıyla yapılmış yan duvarlar kaldırılmalı, köprü eğimi özgün haline getirilmelidir.
- Köprü ayakları açığa çıkacak şekilde bir kazı yapılmalı ve dere tabanında düzenleme yapılmalıdır.

## 5.2. Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü / Gebze



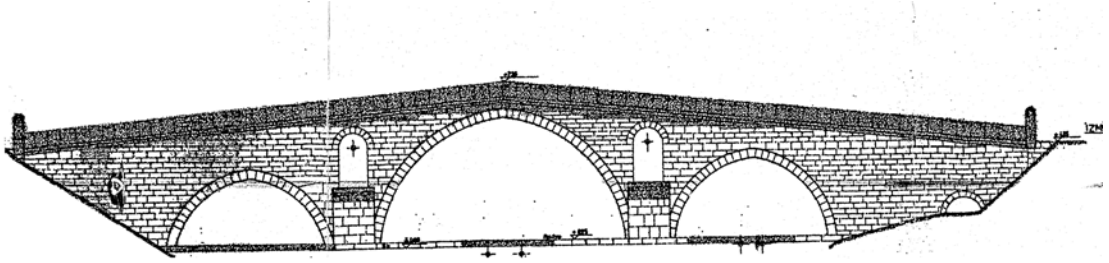
**Şekil 5.9 :** Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü / Gebze (KGM foto arşivi)

Gebze’de Diliskelesi yakınlarındaki Dilderesi üzerinde yer almaktadır. Sadece “Tuhfet’ül-mimarin” de, “Geğbüze yolunda Sultan Süleyman Köprüsü” adı geçmektedir [22,sf.41]. Şark seferine çıkan orduların, İstanbul’dan çıkıldıktan sonraki ilk durağıdır.

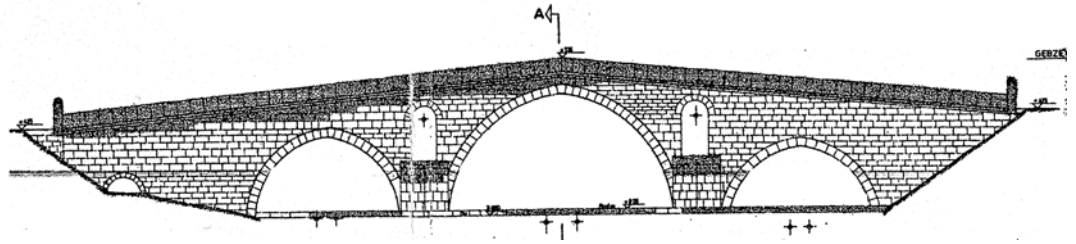
### 5.2.1. Yapının Mimari Özellikleri

Üç kemerli olarak inşa edilen köprünün orta açıklığı 9.7 m’dir ve yanlarında 6 m açıklığında iki kemer bulunmaktadır. Toplam uzunluğu 65 m olan köprünün eğimi %11 ve genişliği 6.05 m’dir. Ancak bu eğim, İzmit tarafında %6, İstanbul tarafında %3 olarak değiştirilmiştir [22,sf.43]. Kemerler dairesel kemer biçiminde

inşa edilmiştir. Ana kemer ile yan kemerler arasında, ayaklar üzerine gelecek şekilde, sivri kemerli tahliye gözleri bulunmaktadır. Ayak temelleri üç kademe üzerine oturtularak, bataklık zeminde dayanıklı bir temel teşkil edilmiştir. Kemer taşlarının kalınlığı 40 cm'dir. O.Bozkurt 1968 yılında yaptığı incelemeler sırasında, korkulukların haraboldüğünü ve beton korkuluk yapıldığını belirtmektedir [22,sf.43].



**Şekil 5.10 :** Gebze Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi,(KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.)



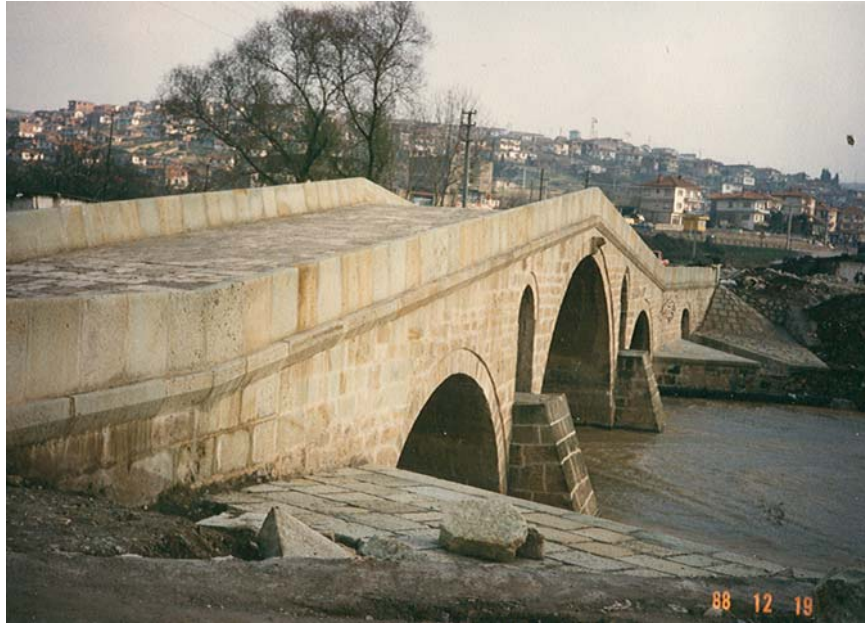
**Şekil 5.11 :** Gebze Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü memba cephesi,(KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.)



**Şekil 5.12 :** Gebze Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü mansap cephesi, 2008



**Şekil 5.13 :** Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü,(2008)



**Şekil 5.14 :** Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü mansap cephesi,1988 (KGM Fotoğraf Arşivi)

#### **5.2.2. Yapının Mevcut Durumu**

18.03.2008 tarihli Köprüler Dairesi Başkanlığı bilgi notuna göre, yapı 1983 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından restore edilerek bugünkü halini almıştır. KGM'nin restorasyon öncesi raporlarında, talveg kotu radyesinin çevresel

müdahaleler sonucunda hasar gördüğü ve onarılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Onarım başlıkları arasında sedde duvarlarının onarımı ve parapetlerin yenilenmesi bulunmaktadır.

Bu çalışmalardan talveg düzenlemesinin yapıp yapılmadığına dair net bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak mansap tarafı sel yaranlarının ön kısımlarında yeşermiş olan bitkiler, bu kısımlarda birikmelerin olduğunu göstermektedir. Bu da ancak akarsuyun debisinin değişmesiyle mümkün olmaktadır.

Yapı üzerinde daha önce yer alan araç trafiğinin kaldırılmış, araç geçişi ve yol bağlantılarını kolaylaştırmak için azaltılmış olan eğim özgün haline getirilmiştir. Böylelikle köprü yapısal risklerinden arınmış, özgün mimari formuna kavuşmuştur.

### 5.2.3. Öneriler

- Selyaranlar önündeki birikintiler temizlenmeli,
- Birikintiye yol açan sebepler incelendikten sonra dere ıslahı ile akarsuyun akışı düzenlenmelidir.

### 5.3. Sokulu Mehmet Paşa Köprüsü / Lüleburgaz



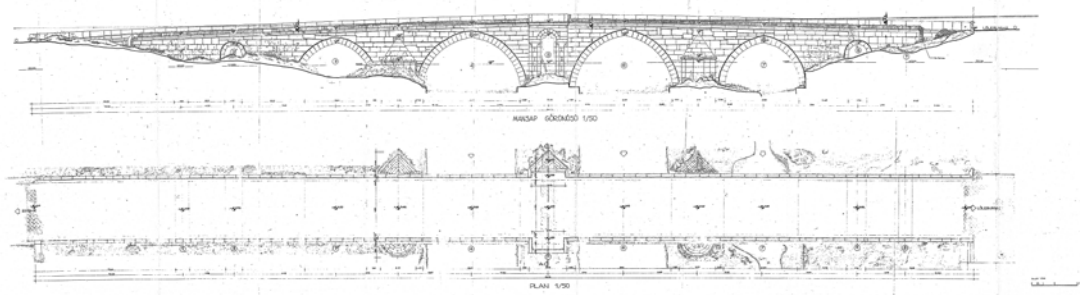
**Şekil 5.15 :** Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi, (KGM Fotoğraf Arşivi,tarihi bilinmiyor)



**Şekil 5.16 :** Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap görünüşü, (KGM Fotoğraf Arşivi,tarihi bilinmiyor)

Lüleburgaz çayı üzerinde, Lüleburgaz ilçesi batı çıkışında yer almaktadır. Köprünün yapım tarihini belirten bir kaynak bulunmamakla birlikte, köprünün yakınında bulunan, Sokullu Mehmet Paşa adına yapılan, cami, kervansaray, darülhadis ve çarşıdan oluşan külliye ile aynı tarihlerde yapılmış olabileceği düşünülmekte, 1564/65 yıllarına tarihlenmektedir [22,sf.36].

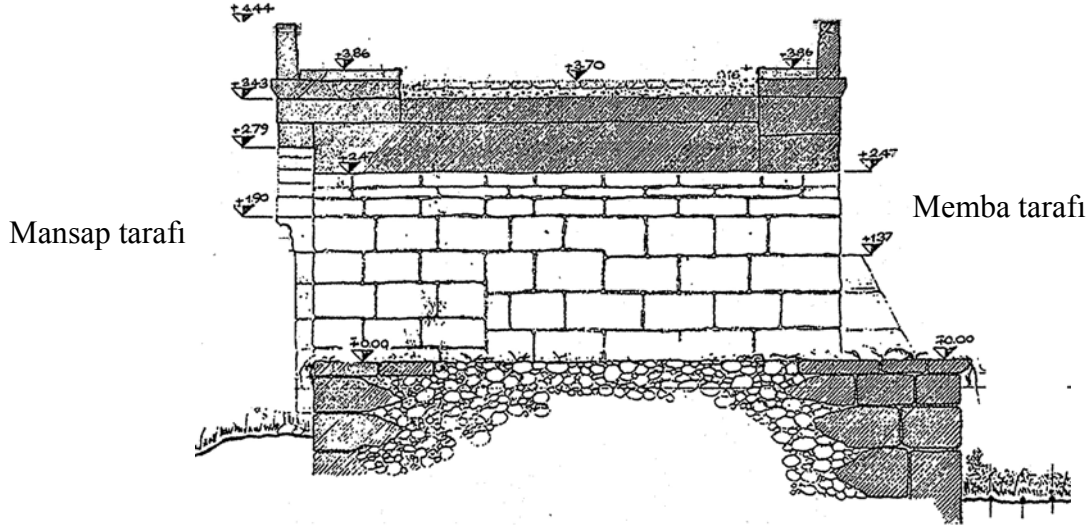
### 5.3.1. Yapının Mimari Özellikleri



**Şekil 5.17 :** Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü rölöve çizimleri, KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.,1983

Dört sivri kemerden oluşan köprüde kemerler, köprünün ortasında yer alan ayağa göre simetrik olarak konumlanmaktadır. Bu dört ana kemerin dışında, yanlarda ikişer tane tahliye gözü bulunmaktadır. Ayrıca köprünün ortasında yer alan köşk kısmında da bir tahliye gözü bulunmaktadır.

Ortada bulunan iki kemerin açıklığı 8.75 m'dir. Yan kemerler ise 6.55 m'dir[4,sf.140]. Köprü ayakları çıkma yaparak yükselmekte, memba tarafında üçgen şeklinde, mansap kısmında ise silindirik selyaranları oluşturmaktadır.



**Şekil 5.18 :** Ana kemerden geçen kesit, (KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.,1983)

Köprü'nün ortasında yer alan köşk kısmında, Orhan Bozkurt'un 1951 tarihli çalışmasında görüldüğü üzere, bir tarih kitabesi bulunmaktadır [22, sf.38]. Ancak bugün bu kitabe bulunmamaktadır (EK-A2).

### 5.3.2. Yapının Mevcut Durumu

1987 yılında KGM tarafından onarılmıştır. Köprü bugün üzerindeki yoğun araç trafiğinin beraberinde getirdiği ek yükler ve titreşimlerden zarar görmektedir. Araç geçişlerinin daha rahat sağlanması ve bağlandığı yollarla ilişkisinden dolayı, eğimi azaltılmış, döşemesi değiştirilmiştir.

Ergene nehrinin bir kolu olan akarsuyun debisi düşmüş, köprü'nün memba ve mansap taraflarında, birikintiler oluşmuştur. Bu birikintiler, suyun akışının orta iki kemer açıklığından sıkışarak geçmesine yol açmaktadır. Bu durum, bu iki kemer ayaklarında oyulmalara ve selyaranlarda hasara yol açabilecektir.



**Şekil 5.19 :** Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü mansap cephesi,2008

1987 yılında KGM tarafından onarılan yapının, onarımı sırasında çimentolu derzleme yapıldığı, taşların kırık veya eksik olduğu yerlerde çimento ile bütünlemeye gidildiği görülmektedir. Tempan duvarlarında ve kemerlerde boyutları birbiriyle uyumlu olmayan ve özgün dokusuna uygun olmayan taşların kullanıldığı gözlenmiştir (Şekil 5.21). Taş derzlerinde kullanılan çimento esaslı harç, havadaki nem ile birlikte taş için zararlı tuzların oluşmasına sebep olacaktır.



**Şekil 5.20 :** Lüleburgaz Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü memba cephesi,2008



**Şekil 5.21 :** Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü, uygun olmayan onarım detayı,2008

### 5.3.3. Öneriler

- Köprü üzerindeki yoğun trafik, yapıya en çok zarar veren unsur durumundadır. Köprü üzerindeki trafik, çevre yollara aktarılmalı, köprü bu noktada eksikliği hissedilen yaya ulaşımına tahsis edilmeli,
- Köprü eğimi ve döşemesi, özgün haline getirilmeli,
- Çevresel atıklar ve derenin akış rejimindeki değişimlerin beraberinde getirdiği birikimler kaldırılmalı,
- Akarsu rejimini düzenleyecek dere ıslahı çalışmaları yapılmalı, ayaklara gelen düzensiz yüklerin yapıya vereceği hasarların önüne geçilmelidir.
- Çimentolu harç ile onarılan kısımlar, özgün harç kompozisyonuna uygun bir harç ile yenilenmeli, boyutları uygun olmayan taşların yerine, uygun malzeme özelliklerine sahip ve uygun boyutlardaki taşlar ile yenilenmelidir.

#### 5.4. Büyükçekmece Köprüsü

Büyükçekmece üzerinde, inşa edilmiş adacıklar üzerine oturan dört köprüden oluşmaktadır. Roma döneminden kalma bir taş köprünün yerine yapılmıştır. Sinan'ın yaptığı en önemli eserlerden biri olarak değerlendirilen köprü[4,sf.146], aynı zamanda imzasını attığı tek yapıdır. Sinan'ın türbesi üzerinde yer alan kitabede Sai Mustafa Çelebi bu köprülerden,

“Çekmece cistrine bir takı mualla çekdi kim

Aynıdır ayinei devranda şekli kehkeşan”

diye bahsetmektedir.



**Şekil 5.22:** Büyük Çekmece Köprüsü, (KGM Fotoğraf Arşivi,tarihi bilinmiyor)

Kanuni Sultan Süleyman mevcut köprünün yerine yenisinin yapılmasını istemiş ve

“Büyük Çekmece’de kafır zamanında köprü bina edenler ne tarikle eylemişler ve harabına sebep ne olmuş? Hala cistr bina olunmak lazım gelmiştir. Yeriyle tecessüs edüp der-i devlete arz eylesun” diye emir vermiştir [24]. Bunun üzerine Sinan, “Evvela padişahım bunun binası bi bünyad olmasının sebebi mal hazine sarfında tamam mertebe ihtimam etmiş iken köprüyü deryadan kaçurup kenardan yeka(tek) yatak içine düşürmüşler. Ol cihetten temeli bozulup harap ve yebap(viran) olmuş. Deryadan canibi hem sığ hem sağ yerdir. Deryadan tarafa köprü yapılmak ahsendür deyu köprüyü resm edüp arz eyledim” demiştir.

Kanuni'nin Zigetvar seferinde ölümü üzerine, köprü Kanuni'nin yerine geçen II.Selim zamanında 1567 yılında tamamlanabilmiştir.

#### **5.4.1. Yapının Mimari Özellikleri**

Büyük Çekmece Köprüsü, üç adacık üzerine kurulu dört köprüden oluşmaktadır. Doğu tarafından başlamak üzere, I. köprü 7 kemerli, 157 m uzunluğunda, II. köprü 7 kemerli, 135 m uzunluğunda, III. köprü 5 kemerli, 101 m uzunluğunda ve IV. köprü 9 kemerli, 183 m uzunluğundadır [22,sf.55]. Köprüler, en yüksek noktasına orta kemer tepesinde ulaşan iki yöne eğimli şekilde inşa edilmiştir.

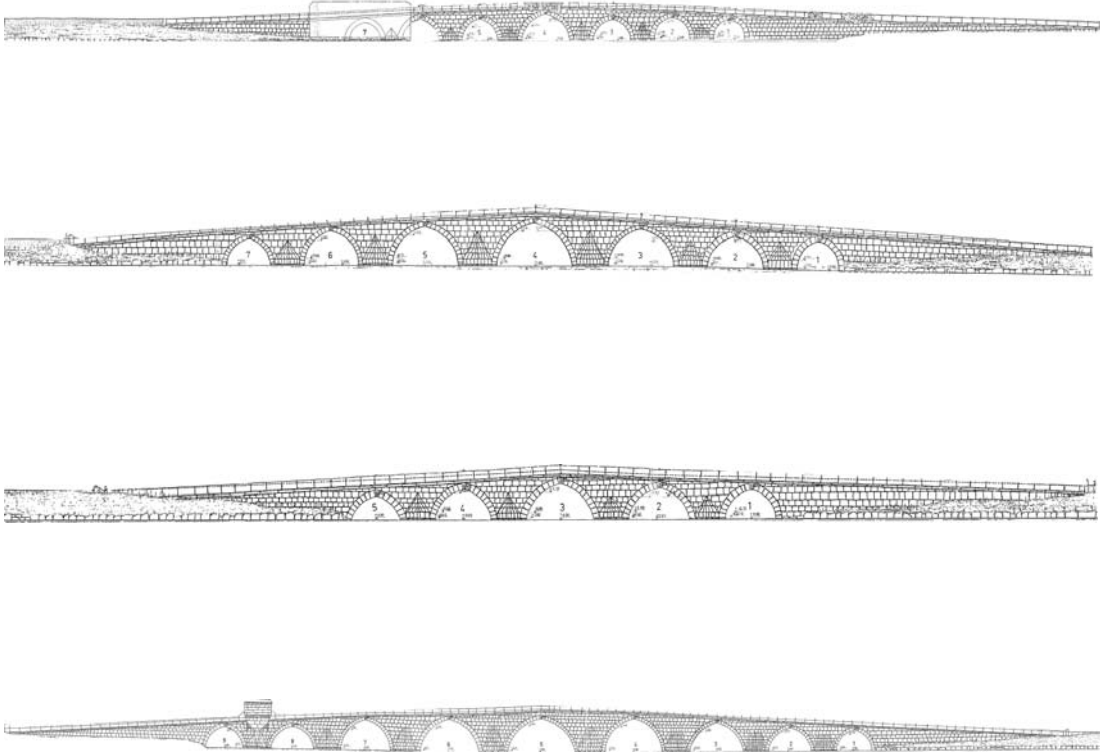
Köprünün yapım süreci ise Tezkiret'ül Bünyan'da Sinan'ın ağzından şu satırlar ile aktarılmaktadır :

“Yüzlerce dülger ve taşçı toplayarak çalışmaya koyuldum. Köprünün her ayağına itina ile kalyon gibi sanduka hazırlatıp oturttum. Deniz sularını tulumbalar ve büyük tulumlar ile Süleymani devleri çekip, boşalttılar. Güzel ve sağlam sütunlardan oluşan iki-üç adam boyundaki kazıklar, şahmerdan ile temellerine çakıldı. Onun üzerine arşın taşları, sağlam demir kenetlerle kenetlenip, aralarına kurşun akıtılarak tek parça haline getirildi”[24].

Buradan köprü ayak temellerinin batardo tekniği ile yapıldığı anlaşılmaktadır. Temele kazık çakılması ve üzerine örülen taşlar ile birlikte, yapı zemin birleşiminde elastik bir temel elde edilmiştir. Böylece deprem sırasında zeminden yapıya aktarılabilecek titreşimleri bir oranda sönümlenmesini sağlayarak yapının günümüze kadar geçirdiği depremlerden büyük oranda hasarsız olarak ulaşmasını sağlamıştır (EK-A3).

#### **5.4.2. Yapının Mevcut Durumu**

1972 ve 1989 yıllarında KGM tarafından onarılan köprü üzerinde pek çok onarım hatası ve koruma kararlarına uygun olmayan uygulamalar göze çarpmaktadır.(Şekil 7) Batı tarafındaki köprü kemerlerinde çıplak gözle fark edilebilecek şekilde, hatalı onarımlar sonucu kemer formlarının bozulduğu görülmektedir.(Şekil 7) Ancak kemer



**Şekil 5.23 :** Büyükçekmece Köprüsü güney cephesi ( Yukarıdan aşağıya doğudan batıya şeklinde sıralanmıştır) KGM Köprü Bakım Fen Heyeti Müd.,1984



**Şekil 5.24 :** Büyükçekmece Köprüsü 2.Köprü mansap tarafında cephe taşları ile uyumsuz taş kullanımı, (2008)

formundaki bu bozulmaların son alışmalar (KGM, 1989) sırasında olduğu gibi bırakıldığı görülmektedir. Cephe taşları ve kemer tonozları derzlerinde ise çimentolu harç ile derzleme yapıldığı tesbit edilmiştir. Köprü ayaklarında ise farklı oturmalar olduğu gözlenmektedir. Bu oturmaların st yapıda sebep olması muhtemel çatlakların görülmemesi, oturmaların sebep olmuş olabileceği çeşitli izlerin, onarımlar sırasında kapatılmış olduğu düşünülmektedir.



**şekil 5.25 :** Büyükçekmece Köprüsü 1. Köprü Güney cephesinde ayaklarda farklı oturmalar, 2008



**şekil 5.26 :** Büyükçekmece Köprüsü 4. Köprü mansap tarafında deforme olmuş kemer, özgün olmayan rten detayı ve kilit taşı kabartması, (2008)



**Şekil 5.27:** Büyükçekmece Köprüsü 4. Köprü Güney cephesi, 2008

Köprü kemerlerinin hemen hepsinde kemer iç yüzeylerinde drenaj sorunu gözlenmektedir. Tempan duvarları üzerindeki izlerden, İstanbul tarafından başlayarak 2.köprünün eğiminin değiştirildiği düşünülmektedir.

Adacıklar üzerinde, köprünün kuzey tarafında, kurul karalarına aykırı olarak hafif strüktür ile çay bahçeleri teşkil edilmiştir. Ancak strüktürleri hafif yapısal elemanlardan oluşsa da, hem köprünün silüetini büyük oranda zedelemekte, hem de alt yapı gereksinimi ile yapıya zarar vermektedirler. Bahçe düzenleri için yapılan peyzaj çalışmaları, zamanla kökleri ile yapıya zarar verecek ve yapının mimarisinin algılanmasını engelleyecek hale gelebilecektir.



**Şekil 5.28 :** Kemer taşları iç yüzünde rutubet izleri, (2008)



**Şekil 5.29 :** Büyükçekmece Köprüsü 2.Köprü mansap cephesi (2008)

Yukarıda bahsi geçen konular ile ilgili kurul kararı aşağıda özetlenmiştir.

2.12.1999 tarihli II Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu kararına göre, Büyükçekmece Köprüsü'nün batı (Silivri yönü) yönünde bazı kemerlerin dolgu altında kaldığı ve temizletilmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, Büyükçekmece barajının olası bir taşkında Büyükçekmece yerleşimine zarar vermemesi için yapılması planlanan seddenin, köprü ile ilişkisini gösteren çizimlerin kurula sunulması istenmiş ve sunulan projelerin uygun olmadığına karar verilmiş, hiçbir inşaat faaliyeti ve fiziksel müdahalenin olmaması gerekliliği belirtilmiştir.



**Şekil 5.30 :** 4. Köprü deforme olmuş kemer, 2008



**Şekil 5.31 :** Büyük Çekmece Köprüsü Doğu yönüne bakış,2008

08.03.2007 tarihli, I Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun kararına göre, D-100 karayolu üzerinde inşasına başlanılmış olan üst geçit inşaatının uygun olmadığına, kavşak çözümünün, yeniden tanımlanacak Kanuni Sultan Süleyman Köprüsü ve Sokullu Külliyesi Koruma Alanı'nın dışında yapılması gerektiğine, yol kenarlarında yer alan çelik bariyerlerin görüşü engellemesi sebebiyle, halat bariyerlerin kullanılması gerektiğine karar verilmiştir.

04.05.2006 tarihli I Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun kararına göre, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığının şikayetleri üzerine yaptığı incelemede, kitabelerin üzerine yazı yazıldığı, köprüye zarar verildiği, hatta bir köprü babasının yerinden sökülerek göle atıldığı belirtilmiştir.

Köprü'nün güney cephesinde bulunan askeri amaçlı korugan yapıları ise dönem eki olarak değerlendirilerek, yerinde bırakılmasına karar verilmiştir.

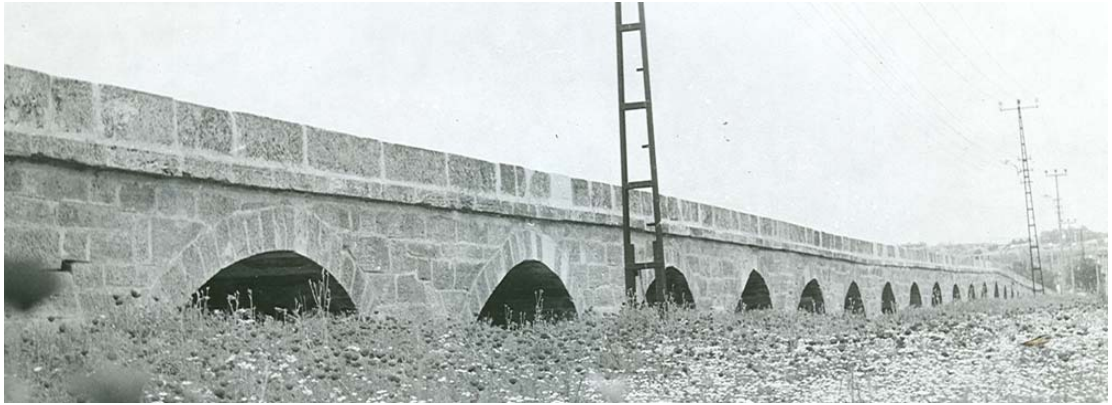
#### **5.4.3. Öneriler**

- Adacıklar üzerinde bulunan yapılar hem fiziksel varlığının beraberinde getirdiği, yukarıda detaylı olarak anlatılan sebeplerden dolayı, hem de uyumsuz işlevleri sebebiyle kaldırılmalıdır.

- Köprü ayakalarında mevcut olan oturmaların uzun süreli hassas ölçüm cihazları ile kontrolü yapılmalı ve oturmaların devam edip etmediği belirlenmelidir. Oturmaların devam ettiğinin tesbit edilmesi durumunda, üst yapıyı doğrudan etkileyecek olan oturmaların engellenmesi için gerekli zemin araştırmaları yapılmalıdır.
- İstanbul yönünden 4. köprünün deforme olan kemerleri yeniden örülmeli, çimento harcı yerine özgün harç karışımına uygun bir harç ile onarımları yapılmalıdır. Kemer formlarının düzeltilmesi, hem mimari açıdan, hem de yapı üzerinde oluşacak dengesiz yük dağılımını düzeltmek için aciliyetle ele alınması gereken bir önlemdir.

### 5.5. Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü / Silivri

Tezkiret'ül Ebniye'de Sinan köprüsü olarak geçen köprü, 1568 yılında Silivri Çayı üzerinde, sahile paralel şekilde 32 gözlü olarak inşa edilmiştir (Çulpan,s147). M.Zarif Orgun<sup>8</sup>, Topkapı Sarayı Müzesi Arşivi'nde bulunan bir belgeye göre, 1605 yılında Dalgıç Ahmet tarafından onarıldığını belirtmektedir. Ancak köprü bugüne kadar geçirdiği onarımlarla özgünlüğünü kaybetmiştir.



**Şekil 5.32 :** Silivri Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü / (KGM Fotoğraf Arşivi)

#### 5.5.1. Yapının Mimari Özellikleri

Köprü; Silivri Çayı'nın debisinin düşük olduğu, ancak belli dönemlerde sel altında bıraktığı bir havzadan geçtiği için çok düşük bir eğim ile inşa edilmiştir. Köprü orta

<sup>8</sup> M.Zarif Orgun, Mimar Dalgıç Ahmet (Arkitekt Dergisi,Nr.3,4, 1941-42,s.59)

noktası ile iki giriş arasındaki kot farkı bir tarafta 1.40 bir tarafta 1.50 olarak gözlenmiştir. Dairesel kemer formundaki kemerlerden en büyük olanın açıklığı 7.80 m, en küçük açıklığı ise 5.33 m'dir.

### 5.5.2. Yapının Mevcut Durumu

Köprü bugün, Silivri ilçesinin batı çıkışında, sahil ile Tekirdağ karayolu arasında bulunmaktadır. 18.Mart.2008 tarihli Köprüler Dairesi Başkanlığı bilgi notuna göre 1984 yılında onarım görmüştür. 7.Nisan.1984 tarihli Karayolları Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan onarım öncesi raporda,

- Kemer içlerinde eksik taşların yenilenmesi,
- Bozuk derzlerin onarılması,
- Kemer içlerinde beton ile onarılmış kısımların taraklanması,
- Ayaklardaki oyulmaları engellemek için radye düzenlemesi yapılması ve ayakların kırık yerlerinin onarımı,
- Çörten yapılması,
- Asfalt döşemenin kaldırılması ve granüle dolgu üzerine yeni döşeme yapılmasına karar verilmiştir.

Kurul dosyasında, köprünün silüetini bozduğu ifade edilen yapıların bir kısmı bugün de varlığını sürdürmektedir. Köprünün doğu ucunda bulunan iki katlı konut yapıları, köprünün son kemerlerinin algılanmasını engellemektedir.



**Şekil 5.33 :** Silivri Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü, 2008



**Şekil 5.34 : ISKI'ye ait yapılar, 2008**

Köprü'nün kuzey cephesi batı tarafından 10. kemer hizasından başlamak üzere, tek katlı iki yapı ve geçici bir konteynırdan oluşan bir birim inşa edilmiştir. Konumu sebebiyle köprü silüetini engellemektedir.



**Şekil 5.35 : Deforme olmuş kemerler, 2008**



**Şekil 5.36 : Mansap tarafı selyaran detayı, 2008**

1967 yılında Çulpan tarafından yerinde yapılan incelemelerde köprünün güney tempan duvarı taşlarının büyük oranda yıpranmış olduğunu belirtmektedir [4,s147]. 1984-1985 yılları arasındaki onarımlarda bu cephe taşlarının değiştirilmiş veya patinasını kaybedecek şekilde mekanik bir temizlemeye maruz kaldığı düşünülmektedir (Şekil 5.37). Kuzey cephesi taşlarında ise patinanın varlığı, iki cephede farklı dönemlere ait onarımlara işaret etmektedir. Kemer taşlarının boyutlarındaki uyumsuzluk ve kemer formlarının düzgün bir geometriden uzak oluşu kapsamlı ancak uygun olmayan onarım çalışmalarının yapıldığını göstermektedir.



**Şekil 5.37:** Toprak dolgu altında kalan kemerler, 2008

KGM onarım raporunda belirtildiği üzere, bazı selyaranların ayak kısımlarında kırıkların onarılmadığı veya onarımı takip eden süreçte yeniden hasar gördüğü tesbit edilmiştir. Radye düzenlemesi yapıp yapılmadığı bilinmemekte ancak derenin düşük debisinin bir sonucu olarak, esas akışın sağlandığı kemer ayaklarında gömülmeler tesbit edilmiştir. Diğer kemer ayaklarının da toprak altında kaldığı görülmektedir (Şekil 5.37).

### 5.5.3. Öneriler

- Köprüye bitişik olarak inşa edilmiş ISKI yapısının kaldırılması, köprünün algılanmasına engel olan bir unsurdan kurtulunmasını sağlayacaktır.
- Tüm kemerlerin belli bir oranda dolduğu düşünülecek olursa, kemer kotlarının özgün haline getirilmesi kemer formlarının daha doğru algılanmasını sağlayacaktır.

- Su akışının sağlandığı kısımda, zeminde talveg düzenlemesi yapıp yapılmadığının tesbit edilmesi ve eğer yapılmadı ise, böyle bir çalışma ile suyun düzenli akışı sağlanmalıdır.

## 5.6. Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü / Alpullu

Kırklareli'nin Alpullu kasabasının, batısında, Ergene nehri üzerinde yer almaktadır. Alpullu Şeker Fabrikası ve tren istasyonunun karşısında bulunmaktadır. Tezkiret'ül Ebniye'de, Sinanlı'da Mehmet Paşa köprüsü olarak geçmektedir [4,s140]. Orhan Bozkurt'un tezinde Sinan'ın yaptığı en güzel abide köprü olarak vurgulanmaktadır.



**Şekil 5.38 :** Alpullu Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü, (KGM Fotoğraf Arşivi)

### 5.6.1. Yapının Mimari Özellikleri

Köprü beş sivri kemerden oluşmaktadır. Ortada ana kemer olmak üzere, ana kemere simetrik olarak dört yan kemerden oluşmaktadır. Ayakların üzerinde de cepheden çıkıntı yaparak çerçeve içine alınmış, tahliye gözleri bulunmaktadır. Bu çerçeveler, mansap tarafında ince bir çerçeve şeklindeyken, memba tarafında köşeleri pahlı ve üzeri eğimli bir saçakla örtülüdür (EK-A4).

Kemerlerin açıklıkları dolduğu için, üzengi seviyeleri tesbit edilememiştir. 129.4 m uzunluğunda ve beş açıklıklı olan köprü, 20.05 m'lik orta açıklığı ile en büyük açıklığa sahip Sinan köprüsüdür. Köprü eğimi iki tarafta farklılık göstermektedir. Bir tarafta %8.6 diğer tarafta ise %13'tür.

### 5.6.2. Yapının Mevcut Durumu

Yapı bugün yaya ve araç ulaşımına açık olmakla birlikte, ana yollar ile bağlantısı kesilmiştir. Kuzeyinde çöp dökümü için kullanılan alanın varlığı, köprü çevresindeki ağaçlar ve tarım arazileri yapının algılanmasını zorlaştırmaktadır.



**Şekil 5.39 :** Güney cephesi onarım izleri (batı tarafı)



**Şekil 5.40 :** Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Güney cephe görünüşü



**Şekil 5.41 : Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü Kuzey cephe görünüşü, 2008**

Köprü'nün giriş ve çıkışlarında, 1983-87 yılları arasında KGM tarafından restore edildiğini belirten tabelalar bulunmaktadır (Şekil 5.42).



**Şekil 5.42 : Sokullu Mehmet Paşa Köprüsü doğu tarafı, 2008**

Bu onarım öncesinde, 1970 yılında KGM tarafından alınan onarım kararlarında,

- Derenin akış yolunun değiştirildiği ve mevcut durumda Alpulu tarafındaki tahliye kemerinden akışın sağlandığını, bundan dolayı yükselen debi ile birlikte türbülanslı akımlar oluşmakta, orta ayakta oyulmalar görüldüğü,
- talveg düzenlemesi ile nehir akışının tekrar ana kemer altından sağlanması,

- mansap tarafındaki çöplüğün ve köprüye bitişik yapıların kaldırılması önerilmiştir.

Bugün bütün kemerler, üzengi seviyesini kapatacak kadar dolmuştur. Sadece ana kemerin altından akış sağlanmaktadır. Hem birikintiler, hem de çevrede büyümüş olan bitkiler, yapının zorlukla algılanmasına yol açmaktadır. Yapı üzerinde, yapı bütünlüğünü tehdit edecek yapısal bir probleme rastlanmasa da, kemer tonoz taşlarında görülen bozulmalar, köprü kaplaması ve drenaj sorunlarına işaret etmektedir. Yapının cephelerinde farklı boyut ve dokulara sahip taş kullanımı (Şekil 5.39), köprünün kapsamlı bir onarım geçirdiğini göstermektedir. Taş derzlerinde çimentolu harç kullanıldığı tesbit edilmiştir.

KGM'nin raporunda belirtilen köprüye bitişik yapılar kaldırılmış, nehrin akışı orta açıklıktan sağlanmakta, ancak çöplüğün kaldırılmadığı görülmektedir.



**Şekil 5.43 :** Ana kemer iç satıh bozulmaları, 2008



**Şekil 5.44 :** Ana kemer kuzey cephesi, 2008

### **5.6.3. Öneriler**

- Toprak dolgu altında kalmış olan kemerler açılmalı, ve çevre yapılar, köprünün algılanmasını sağlayacak şekilde temizlenmelidir.
- Köprünün batı ayağında yer alan, dere akışını düzenleyen sedde üzerine inen merdivenler açığa çıkarılmalıdır.
- Çimentolu harç kullanılan kısımlar temizlenerek özgün harcına yakın bir harç ile yenilenmelidir.
- Köprünün kuzeyinde bulunan çöplük kaldırılmalı ve dere ıslah edilmeli, düzenli dere akışı sağlanmalıdır.

## 6. KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ

Kapuağası Köprüsü, Beylikdüzü ilçesi, Haramidere üzerinde yer almaktadır. Mimar Sinan köprüleri arasında İstanbul'a en yakın olanıdır. Tezkiretü'l Ebniye ve Tezkiret'ül Bünyan da 16. yy. Sinan eserleri arasında geçmektedir [4,sf.148]. Yapım tarihi bilinmemektedir. Bugün, D-100 yolu ile TEM'in birleştiği bir yoncanın içerisinde kalmış durumdadır (Şekil 6.1).

### 6.1. Yapının Mimari Özellikleri



Şekil 6.1 : Kapuağası Köprüsü hava fotoğrafı (İBB Şehir Rehberi-2008)

Üç açıklıklı olarak inşa edilen köprü, 73.30 m uzunluğunda ve 7.20 m genişliğindedir (Şekil 6.2). İki taraftan %10 eğimli olarak inşa edilmiştir. Kemerleri sivri olup, ana kemer açıklığı 8.70 m ve üzengi seviyesinden yüksekliği 5.10 m'dir. Diğer iki kemer ise 7.30 m açıklığa sahiptir. Üzengi seviyesi toprak altında kaldığından yüksekliği bilinmemektedir.

Ana kemerin iki yanında, ayaklar üzerinde tahliye gözleri bulunmaktadır (Şekil 6.3). 1.50 cm genişliğinde ve 1.80 cm yüksekliğindeki tahliye boşluğunun, üzengi seviyesinden 80 cm yüksekliğinde bir sivri kemer ile örtülmesiyle oluşmuştur. Köprü'nün doğu ve batı uçlarında yer alan diğer tahliye gözleri ise 2.20 cm genişliğinde ve üzengi seviyesinden 1.10 cm yüksekliğinde sivri kemerlerden oluşmaktadır (Şekil 6.4).



Şekil 6.2 : Kapuağası Köprüsü Kuzey cephe görünüşü, 2008



Şekil 6.3: Ana kemer ayakları üzerinde yer alan hafifletme gözü.2008



**Şekil 6.4 : Doğu ve batı uçlarda yer alan tahliye gözleri, 2008**

Ana kemerler, yanaşık derzli olarak 58 cm genişliğinde kemer taşları ile örülmüştür (Şekil 6.5). Tahliye kemerleri 38 cm genişliğindedir. Tempan duvarlarında, uzunluk ve yükseklikleri değişiklik gösteren, ince yonu taşlar kullanılmıştır (Şekil 6.6). Genellikle yanaşık derzli olarak örülmüş olan duvarda, çeşitli onarımlar sonrasında yapıldığı tahmin edilen 2-3 cm kalınlığında derz uygulamaları görülmektedir (Şekil 6.6).



**Şekil 6.5 : Ana kemer kuzey cephe görünüşü, 2008**



Şekil 6.6 : Kuzey cephe taş örgüsü detayı, 2008



Şekil 6.7 : Kemer taşları cepheden 5 cm içeri çekilerek örülmüştür, 2008

Kemerlerin tümünde kemer taşları tempan yüzeyinden 5 cm kadar içe gömülü olarak örülmüştür. Kemer çevre taşları boyutları, 70 cm ile 1.60 m boyutlarındadır (Şekil 6.7).

Köprü parapetlerinde çeşitli uzunluklarda, 70 cm yüksekliğinde ve 30 cm genişliğinde taşlar kullanılmıştır.

Yapının bütününde küfeki taşı ve tahliye kemerlerinin iç yüzünde 3.5 x 29 cm boyutlarında tuğlalar kullanılmıştır. Ana kemer ayakları üzerinde yer alan tahliye kemerleri içerisinde, kemer tonozunu oluşturan kısımlarda, tuğla kullanıldığı ve 4.5 cm horasan harcı ile derzlenmiş olduğu tesbit edilmiştir (Şekil 6.8).



**Şekil 6.8:** Tahliye kemeri tuğla tonoz örgüsü, 2008

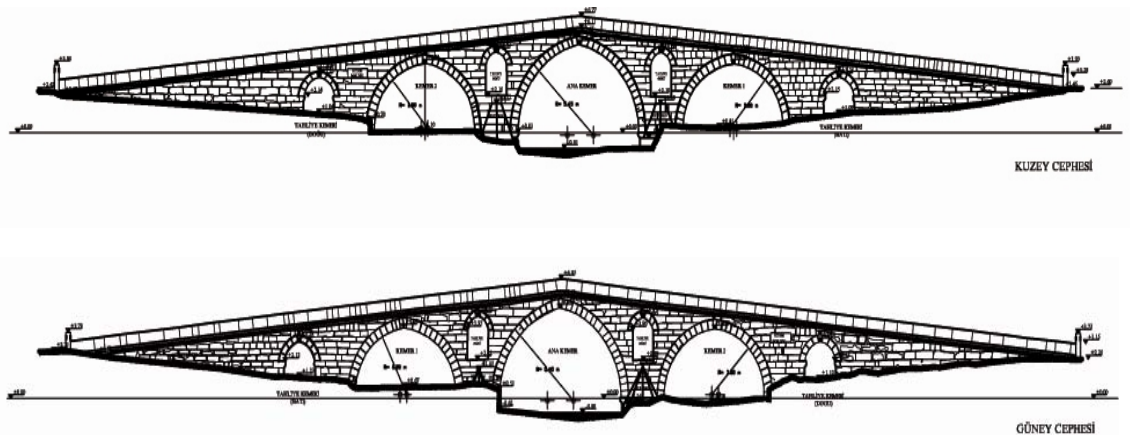
Köprü özgün döşeme kaplamasını kaybetmiş ve son onarım çalışmaları sırasında parke taş ile döşenmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 : Değiştirilmiş döşeme kaplaması, 2008

#### 6.1.1. Kemer 1

Köprünün batı ucunda yer alan kemerdir. Sivri kemer formunda inşa edilen kemerin açıklığı 7.30, kemer yayı yarı çapı 3.80 m’dir ve merkezi açıklık ortasındadır. Kemer taşı kalınlıkları 50-60 cm arasında değişmekte ve toprak dolgu üzerinde 29 kemer taşından oluşmaktadır. Üzengi seviyesi toprak altında kaldığından, özgün kemer taşı sayısı bilinmemektedir. Kemer taşları yanaşık derzli olarak örülmüştür, ancak onarımlar sırasında, kemer taşları arasındaki açılma ve kırıklar çimentolu harç ile doldurulmuştur. Kemer taşları boyutlarındaki farklılıklar, onarım uygulamasındaki sorunları göstermektedir.



Şekil 6.10 : Kapuağası Köprüsü cephe çizimleri



**Şekil 6.11 : Kapuağası Köprüsü Güney cephesi, 2008**

Kemer tonozu içerisinde, batı cephesine bakan yüzeyde yoğun kirlenme ve bozulmalar görülmektedir. Yer yer taşların katmanlar halinde dökülmeye başladığı tesbit edilmiştir.



**Şekil 6.12 : Kapuağası Köprüsü Kuzey cephesi, 2008**

#### **6.1.2. Kemer 2**

Ana kemerin doğu tarafında yer alan kemerdir (Şekil 6.13). Açıklığı 7.30 m, dairesel formdaki kemer yayının yarıçapı 3.80 m'dir. Yay merkezi açıklığın ortasında bulunmaktadır. Toprak dolgu üzerinde kalan, 45 cm ile 60 cm arasında değişen kalınlıklarda 32 taştan oluşmaktadır. Kemer taşları yanaşık derzli olarak örülmüştür.

Kemer 1'de olduğu görüldüğü gibi, çimentolu harç ile onarım izlerine rastlanmaktadır ve kemer tonozu taş yüzeylerinde yoğun bir kirlenme görülmektedir.

#### **6.1.3. Ana Kemer**

Ana kemer, 8,76 m açıklığında, 5,15 m yüksekliğinde, sivri kemer formunda inşa edilmiştir. Kemer yayı yarı çapı 5,45 m ve yay merkezi kemer açıklığının 5'te 2'lik kısmına denk gelmektedir. Kalınlıkları 50 cm ile 60 cm arasında değişkenlik gösteren 38 taştan oluşmaktadır. Kemer çevre taşlarının boyu 70 cm ve 1.60 m arasında değişmektedir. Bir uzun, bir kısa taş kullanılarak, kemer taşları ile kemer

tonozu arasında kenetlenme sağlanmıştır. Taşlar yanaşık derzli olarak inşa edilmiştir (Şekil 6.14).



**Şekil 6.13 : Kemer 2 kuzey cephesi**

Üzengi seviyesinden akarsu yüzeyine olan mesafe 90 cm'dir. Üzengi hizasında kemer içine doğru 10 cm çıkıntı yapan, 30 cm yüksekliğinde bir silme bulunmaktadır. Kemer tonozu taş yüzeylerinde diğer kemerlerde görüldüğü gibi kirlenme görülmektedir.



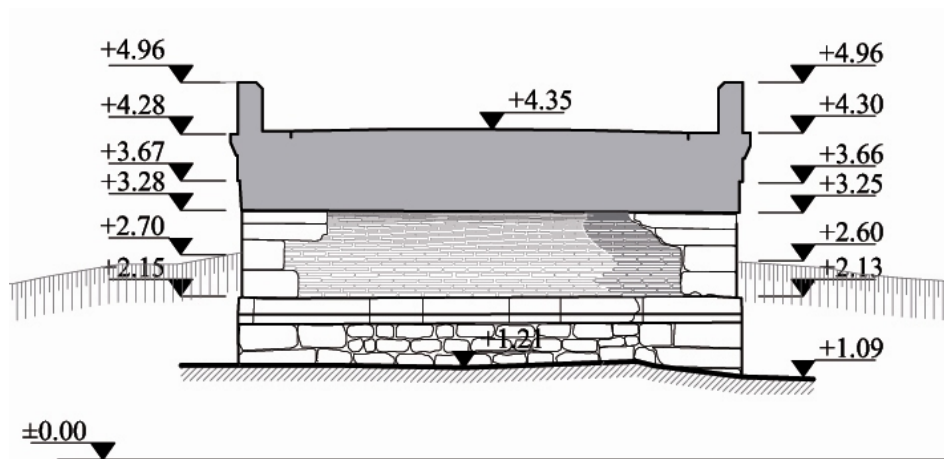
**Şekil 6.14 : Ana kemer iç yüzeyi**

#### 6.1.4. Tahliye Kemerleri

Köprü'nün doğu ve batı uçlarında yer alan, sel durumunda yapı üzerine gelen kuvveti, sel sularının tahliyesini sağlayarak azaltan kemerli kısımlardır. Zemini dolduğundan net yükseliği bilinmemektedir. Tahliye boşlukları 2.25 m açıklığında 1.10 m yüksekliğinde sivri kemerler ile örtülüdür. Kemerlerin üzengi seviyesi ana kemer üzengi seviyesine göre 2.15 m yukarıdadır.

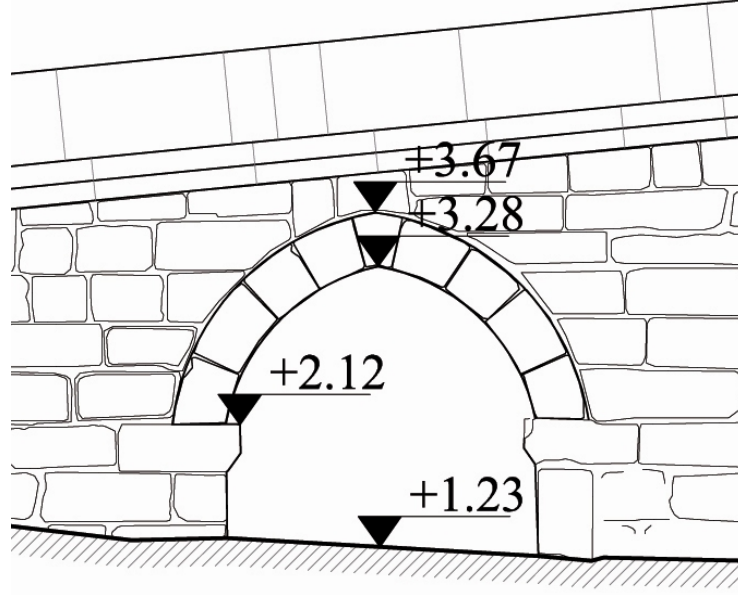


Şekil 6.15 : Tahliye kemerleri ve kemer çevre taşları



Şekil 6.16 : Tahliye kemeri 1 doğu yönü kesiti (J-J kesiti)

Kemerler, kalınlıkları 35 cm ile 40 cm arasında değişen 9 taş ile örülmüştür. evre taşları 60 cm ile 130 cm arasında değişiklik göstermektedir. Kemer tonozu evre taşlarının bitiminden itibaren, 3.5 x 29 cm boyutlarındaki tuğlalar ile örülüdür.



şekil 6.17 : Tahliye Kemer i güney cephe izimi

#### 6.1.5. Hafifletme Kemerleri

Ana kemerin oturduğu, ayakların üzerinde, selyaranlarda bir taş sırası kadar yukarıda bulunan, ayaklara gelen st yapı yükünü azaltmak amacıyla yapılan kısımlardır. Ana kemer üzengi seviyesinden 2.10 m yüksektedir. Yapısal olarak tahliye gözleri ile benzerlik göstermektedir. 1.80 m genişliğinde 1.50 m yüksekliğindeki kısım 80 cm yüksekliğinde sivri kemer ile kapatılmıştır. Kalınlıkları 35-40 cm arasında değişen 8 kemer taşından oluşmaktadır. Tahliye gözlerinde olduğu gibi, evre taşlarından sonra tuğla tonoz devam etmektedir. Tonoz, kilit taşı hizasında tuğlalar dik konularak örülmüştür. Döşemesi düzgün kesme taşlar ile örülmüştür (şekil 6.18).

#### 6.1.6. Ayaklar

Ana kemeri taşıyan ayaklar, üzengi hizasında bulunan kornişin altından itibaren başlamaktadır. Zeminin dolması sebebiyle ayakların tam geometrisini belirleyecek ölçümler yapılamamıştır. Ancak açıkta kalan kısmında yapılan ölçümler ve simetrik olduğu tahmin edilen yapısından dolayı ayakların 3 m genişlikte 6.60 m uzunluğunda olduğu düşünülmektedir (şekil 6.19, 6.20, 6.21). Temel yapısına dair bir bilgiye ulaşılamamıştır.



**Şekil 6.18 :** Hafifletme kemeri tuğla tonoz örgüsü ve döşeme taşları

#### **6.1.7. Selyaranlar**

Memba tarafında, ayakların üzerinde üçgen kesitli selyaranlar bulunmaktadır. Mansap cephesinde ise aynı yükseklikteki selyaranların plan düzleminde bir sekizgenin yarısı şeklinde olduğu gözlenmektedir.

Memba tarafında bulunan selyaranlar, ana kemer korniş alt hizasından başlamakta, ayaklar üzerindeki tahliye gözlerinin altına kadar uzanmaktadır (Şekil 6.19). Toplam yüksekliği 2 m, üçgen planı oluşturan, taban genişliği 2,50 m'dir. Tabana dik yükseklik 150 cm'dir. Farklı yüksekliğe sahip 5 sıra taş ile yanaşık derzli olarak oluşturulmuştur.



**Şekil 6.19 :** Memba tarafi selyaran ve ayak görünüşü



**Şekil 6.20 :** Memba tarafi selyaranı

Tempan duvarı ile buluştuğu noktada taban genişliği 70 cm'e düşmüş olan üçgen taban planı ile sonlanmaktadır.



**Şekil 6.21 : Mansap tarafı selyaranı**

Mansap tarafında yer alan selyaranlar ise 1,35 m iç yarıçapa sahip yarım sekizgen plana oturmakta ve 2,10 m yükseklikte ayrıtların tempan duvarında birleşmesiyle sonlanmaktadır.

#### **6.1.8. Parapetler**

Parapet taşları yapı malzemesi olarak, cephe taşlarından farklılık göstermemektedir. Cephe silmesinden itibaren 70 cm yüksekliğinde ve 25 cm kalınlığındadır. Cephede görünen silme taşı, köprü döşemesini oluşturacak şekilde parapet yüzeyinden 40 cm kadar içeri uzanmaktadır.

#### **6.1.9. Baba Taşları**

Köprünün doğu ve batı uçlarında yer alan baba taşlarından batı cephesinde yer alanların 1986 yılındaki onarım sırasında yenilendiği düşünülmektedir. Özgün olduğu sanılan baba taşları köprünün doğu tarafında yer almaktadır. 1.70 m yüksekliğinde ve 34 cm genişliğinde olan bu taşlar, üzerlerindeki detaylar kaybolacak şekilde bozulmuşlardır. Batı ucundaki yenilenmiş baba taşları ise 1.30 m yüksekliğindedir (Şekil 6.21, 6.22).



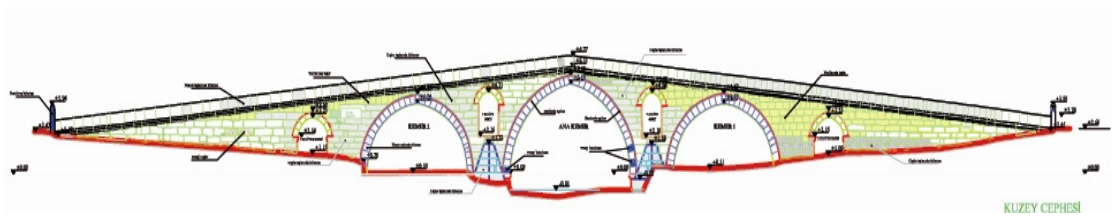
Şekil 6.22 : Batı tarafı baba detayı



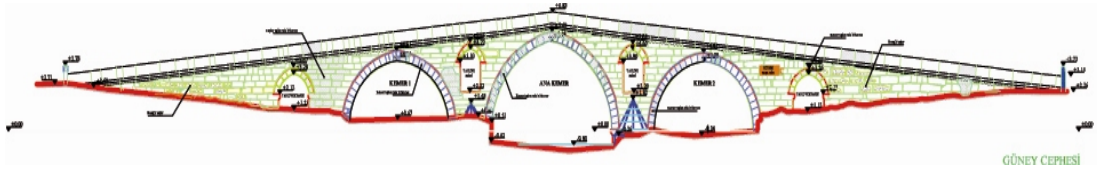
Şekil 6.23 : Doğu tarafı baba detayı

## 6.2. Hasar Analizi

Kapuağası Köprüsü, 1950 öncesi çevre yollar ile bağlantısını sağlamak, araç geçişini rahatlatmak amacıyla eğimi değiştirilmiştir (Bozkurt,sf.12) . Bu değişim sırasında mevcut yapı üzerindeki korkuluk taşları sökülerek tempan duvarları yükseltilmiş ve yeniden döşeme teşkil edilmiştir. 1986 tarihinde, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yaptığı onarımda cephe üzerindeki izlerden faydalanarak özgün eğimine getirilmiştir. Yapıda kullanılan taşların boyutları, dokusu ve kullanılan harç tipindeki farklılıklar çeşitli onarımlara işaret etmektedir. Bu onarım izleri, bugün üzerinde yapısal bir hasara rastlanmayan yapının onarım öncesi olası hasarları hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 6.24 : Kapuağası Köprüsü Kuzey cephe hasar analizi



**Şekil 6.25 :** Kapuağası Köprüsü Güney cephe hasar analizi



**Şekil 6.26 :** Kuzey cephesi Kemer 1 ve onarım izleri (taralı kısım yenilenmiş taşları göstermektedir)

KGM'nin 1986 yılında gerçekleştirdiği onarım öncesinde hazırlanan rapora göre ;

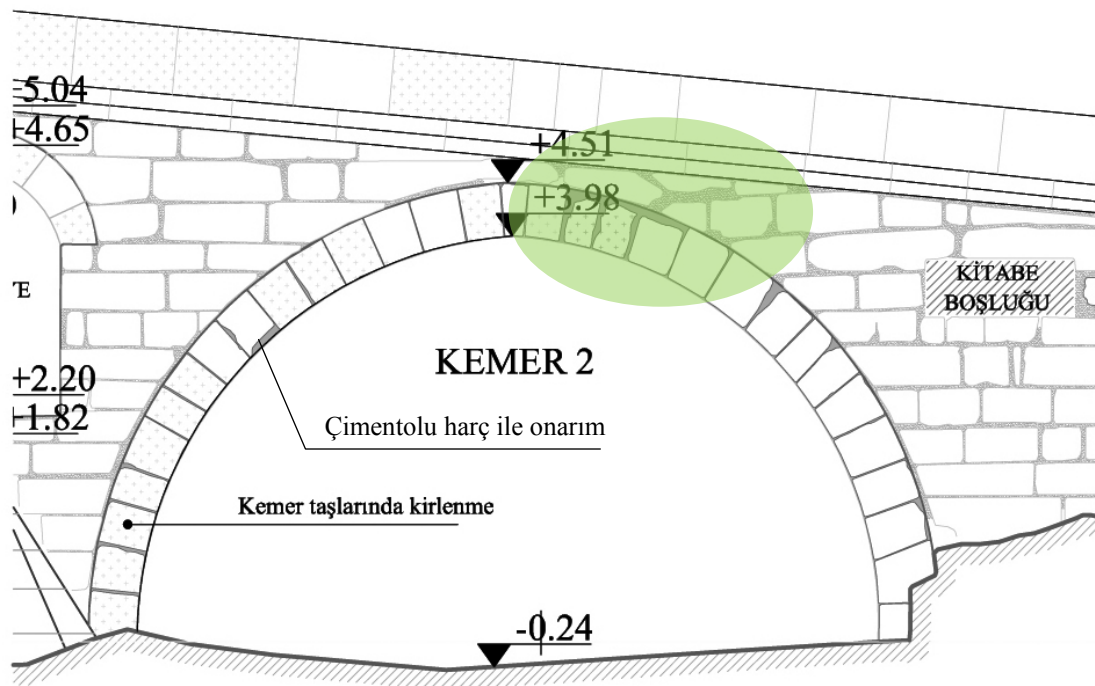
-Köprü'nün yapısal bir problemi bulunmamakta, ancak, araç geçişini kolaylaştırmak amacıyla eklenmiş, köprü'nün eğimini azaltan ek kısmın kaldırılması ve dere yatağının ıslahı öngörülmüştür.

Onarım kapsamında ;

- Dere yatağında ve kenarlarda bulunan yığıntı ve çöpler kaldırılıp, tüm pislikler temizlenecektir.
- Köprü silüetindeki bütünlüğün tekrar kazanılması ve suyun tüm gözlerden akmasının sağlanması için, dere yatağında biriken toprak dolgu temizlenecek, tahliye gözleri ortaya çıkarılacaktır.

- Tempanlarda, kemer içlerinde ve selyaralarda mekanik temizleme yapılacak, her türlü bitki ve artıklar temizlenecektir.
- Derzlerden açılmış olanlar, içinde orijinal taş renginde kırıntılar bulunan çimento harcıyla, taşırılmadan orijinaline uygun olarak takviye edilecek.
- Sonradan yükseltelen döşeme ve korkuluklar kaldırılacak, mevcut izlere göre eğim verilip, orijinal haline getirilecek. Orijinal kotuna getirilen köprünün, yol ile bağlantısı, ileride bir rakortmanla sağlanacaktır.
- Eksik ve bozulmuş baba taşları, projedeki ölçülere göre, orijinaline uygun olarak yenilenecek.
- Onarım esnasında, köprü giriş ve çıkışlarındaki korkulukların dış yüzüne onarım tarihi ve işareti konacaktır.

Yapının güncel durumunda, kemer taşlarındaki bazı derzlerin kemer yay merkezine yönelmemiş olması, farklı kalınlıkta taş kullanılmış olması, kemer taşlarının değiştirildiğine işaret etmektedir. Bunun yanında, kemer taşları arasında 2 cm kalınlığında çimentolu harç kullanımı ve harç ile dolgu yapılmış kısımlar bulunmaktadır.



Şekil 6.27 : Kemer 2 güney cephesi hasar analizi



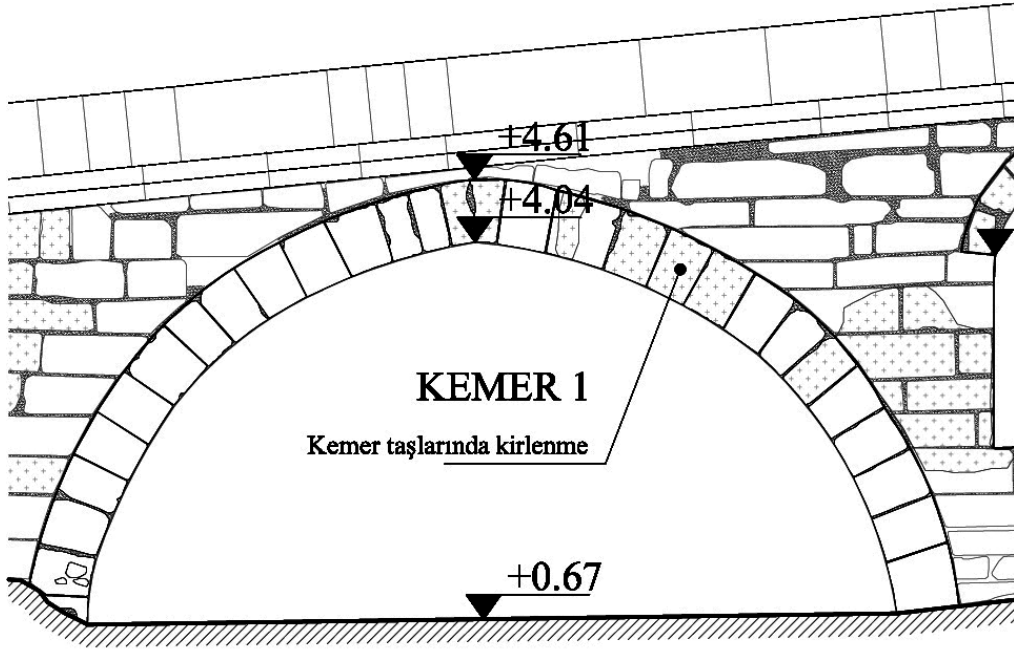
**Şekil 6.28 : Kemer 2 güney cephesi**

Kemer 2'nin güney cephesinde kilit taşının sağ tarafında kemer taşları arasında harç ile doldurulmuş kısımlar bulunmaktadır. Dolgulu kısımlar kemer dışından köprü döşemesine doğru yayılım göstermektedir. Bu izlerden, kemerin bu kısmının hasar görmüş olabileceği düşünülmektedir (Şekil 6.27, 6.28).

Batı tarafında yer alan kemer taşlarının üzerinde de benzer durum gözlenmektedir. Harç ile onarımı yapılmış kısımlar bulunmaktadır. Bu kemerin üst kısmında da, kilit taşının doğusunda silmeye kadar olan taşlarda doku ve boyut farklılıkları görülmektedir.

Ana kemerin yanında yer alan kemerlerin içi, üzengi hizasını kapatacak şekilde dolmuştur (Şekil 6.30). Ancak doğu tarafında yer alan kemerin üzengi seviyesi açıktadır ve ana kemer üzengi seviyesi ile aynı kotta bulunmaktadır (Şekil 6.31).

Doğu kemerinin her iki tarafında üzeri örtülmüş sedde duvarları görülmektedir. Bu duvarların kotunun kemer üzengi seviyesinin üzerinde olması ve kemer taşının ortasından başlaması, seddelerin sonradan yapılmış onarımlar olabileceğini göstermektedir.



**Şekil 6.29 : Kemer 1 güney cephesi hasar analizi**

Cephe taşlarında, kemer tonoz taşları ve parapetler üzerinde genel olarak kirlenme ve yosunlanma, yüzeysel bozulmalar görülmektedir. Yan kemerler yapının özgün mimari görünümü bozacak şekilde toprak altında kalmıştır. Haramidere'nin akışı ana kemer açıklığını dahi doldurmadığında bu kemerlerin toprak altında kalması, yapıya sadece mimari olarak etki etmektedir. Köprünün iki önemli şehirlerarası yol kavşağının ortasında kalmış olması, hem köprüye ulaşımı engellemiş, işlevsiz bırakmış, hem de yapının algılanmasını engellemiştir.



**Şekil 6.30 : Kemer 1 kuzey cephesi**

Bu belirtilen olumsuz durumlar dışında köprü üzerinde yapısal bütünlüğü bozacak hasarlara rastlanmamıştır. Ancak köprünün mevcut durumu ile ilgili daha detaylı bir inceleme, kemer taşlarındaki onarımların yapısal duruma etkisi, araç trafiğinin yapı üzerine etkileri, yapısal çözümleme sonuçlarında tartışılacaktır.



**Şekil 6.31 :** Kemer 2 kuzey cephesi dolgu içine gömülü kemer üzengisi

### 6.3. Restitüsyon

Yapının özgün durumuna ilişkin bilgi veren herhangi bir belgeye ulaşılamamıştır. Ancak, yapı ile ilgili yapılmış çeşitli çalışma ve görsellerden, yapının belli bir dönemine ait bilgi edinilebilmiştir.

- Kapuağası Köprüsü, Erkan-ı Harbiye haritalarında görüldüğü gibi Küçükçekmece ve Büyükçekmece arasında, Edirne ile İstanbul'u birbirine bağlayan ana hat üzerinde yer almaktadır (Şekil 6.32).
- 1950'li yılların başlarında Bozkurt'un incelemeleri ve Karayolları Genel Müdürlüğü Fotoğraf Arşivi'nde yer alan fotoğraflara göre, köprünün D-100 karayolu yapılana kadar aynı hat üzerinde araç trafiğine açık olduğu görülmektedir (Şekil 6.33).



Şekil 6.32 : 1912-1913 Erkan-ı Harbiye Haritası



Şekil 6.33 : Erkanı Harbiye haritası ile güncel İBB ( İstanbul Büyükşehir Belediyesi) haritasının üst üste çakıştırılmış hali

- Kapuağası Köprüsü'ne en büyük müdahale, 1950 öncesi bir onarımda köprü eğiminin değiştirilmesi şeklinde olmuştur. 1951 yılında Orhan Bozkurt'un tesbit ettiği üzere, Doğu tarafında %1.9, batı tarafında %2'lik bir eğim oluşturulmuştur. Bozkurt'un yapı üzerindeki izlerden yola çıkarak hesapladığı özgün eğim ise, güncel rölöve çalışması ile belirlenen %10 eğim ile aynıdır. Bu durum, 1986 yılında yapılan onarımda, köprünün özgün eğimine göre onarıldığını göstermektedir (Şekil 6.34,6.35,6.36,6.37).



**Şekil 6.34 :** Kapuağası Köprüsü'nün 1986 yılı onarımından önceki durumu (KGM Fotoğraf Arşivi)



**Şekil 6.35 :** Kapuağası Köprüsü'nün trafiğe açık olduğu dönemden bir fotoğraf, (tarihi bilinmiyor),([http://s.azbuz.com/uploads/p/100/6/671/1006671/9360471\\_s.jpg](http://s.azbuz.com/uploads/p/100/6/671/1006671/9360471_s.jpg))

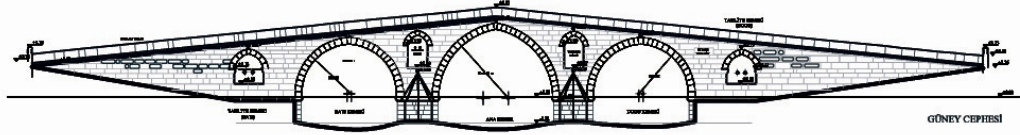


**Şekil 6.36 :** Köprünün onarımı sırasında çekilmiş bir fotoğraf (KGM Fotoğraf Arşivi)



**Şekil 6.37 :** Onarım sonrası memba cephesi (KGM Fotoğraf Arşivi)

- Ancak tempan duvarındaki taş dokusu incelendiğinde, bazı taşlar boyutları ve dokuları ile diğerlerinden ayrılmaktadır. Bu taşların son onarımda hasar görmüş kısımları işaret ettiği düşünülmektedir. Rölöve çizimleri üzerinde, hasar analiz paftalarında yeni taş olarak belirtilen bu taşlar, cephenin diğer kısımlarında tekrarlanan boyutlarda taşlarla restitüe edilmiştir (Şekil 6.38 ).



**Şekil 6.38 :** Kapuağası Köprüsü güney cephesi restitüsyonu

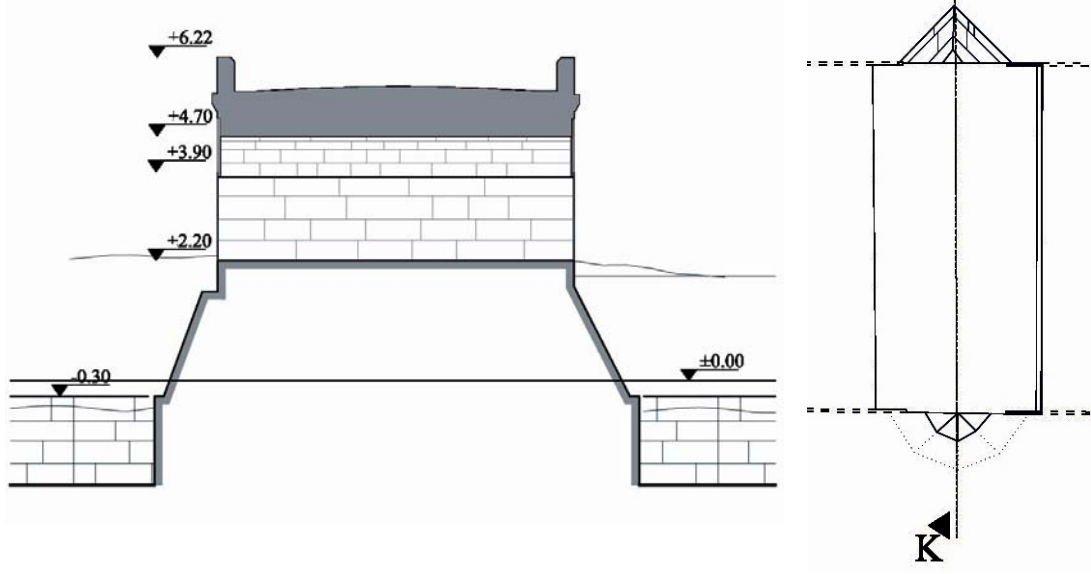
- Her iki cephede köprü bitişlerine doğru bosajlı taş kullanıldığı görülmektedir. Taş dokusu, bosajlı taşların diğer taşlardan daha eski olduğunu göstermektedir. Cephe taşları yakından incelendiğinde, onarım taşları dışında kalan taşların pek çoğunun bosajlı taş olduğu, ancak bozularak görünümünü kaybettiği tespit edilmiştir (Şekil 6.39). Mekan ve dönem olarak birbirine yakın olan Büyükçekmece Köprüsü’nde, yine köprülerin onarımı daha zor olan alt kısımlarında da bosajlı taş kullanımına rastlanması, köprünün özgün dokusunun bosajlı olduğunu düşündürmektedir.



**Şekil 6.39 :** Kuzey cephede bosajlı taş kullanımı, (2008)

- Yapının selyaranları güncel durumda kısmen toprak altında kalmış durumdadır. Ancak açıkta kalan kısımlarında yapılan incelemeler ile, selyaranaların 3.00x9.30 m boyutlarındaki ayaklara oturduğu belirlenmiştir.

Böylelikle köprünün memba tarafında bulunan üçgen planlı selyaranın, orta ayak genişliği içerisine sığacak şekilde 2.20x1.10 m boyutlarında olduğu belirlenmiştir. Mansap tarafında ise, aynı boyutlarda, sekizgenin yarısı olacak şekilde, ayak üzerine oturmaktadır.



Şekil 6.40 : Ayaklardan geçen restitüsyon kesiti

- Orta ayaklar üzerinde ve kemerlerin yanlarında bulunan tahliye gözleri içerisinde tonoz örtüsünün tuğla ile örülü olduğu görülmektedir. Ancak örgü tekniği ve tuğla boyutları farklılık göstermektedir. Ayakların üzerindeki gözlerde, 3 cm derz aralığı olan, uzunluğu 18, kalınlığı 3.5 cm tuğlalar, kullanılmış ve kilit taşı seviyesinde tonozla dik yönde tuğlalar kullanılarak örülmüştür.

Diğer tahliye kemerlerinde ise aynı kalınlıkta ancak 30 cm uzunluğunda tuğlalar kullanılmıştır ve kilit taşı seviyesinde örgüde bir değişiklik görülmemektedir. Bu farklılaşmanın, farklı dönemlerde yapılmış olabilecek bir onarımın sonucu olduğu düşünülmektedir. Diğer Sinan Köprüleri'nde benzer bir durumla karşılaşılmamış olması, onarım ihtimalini güçlendirmektedir. Kemer çevre taşları ile tuğla örgünün birleşiminin sorunlu

olması ve su ile temasında taşın tuğlaya göre daha dayanıklı olması sebebiyle, restitüsyon projesinde küfeki taşı örgü olarak kabul edilmiştir.

#### **6.4. Restorasyon**

Hasar analizinde belirtildiği üzere, yapı üzerinde acil önlem gerektiren yapısal hasarlar bulunmamaktadır. Ancak hasar analiz paftalarında görüldüğü üzere, cephelerde ve kemer içlerinde kirlenme, derzlerde çimentolu harç kullanımı ve toprak seviyesinin yükselmesi gibi yapıya olumsuz etkileyen durumların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Bu amaçla, aşağıdaki müdahale paftalarında gösterildiği üzere,

- Onarımlarda kullanılmış olan çimento harçlı derzlerin raspa edilmesi ve özgün harç kompozisyonuna uygun kireç esaslı harç ile derzlemenin yapılması,
- Toprak dolgu altında kalan kemerlerin üzengi seviyelerini açığa çıkaracak şekilde açılması,
- Cephe taşlarında ve kemer iç kısımlarında mikro kumlama ile yüzey temizliği,
- Tuğla ile örülmüş tahliye gözü ve hafifletme kemerleri iç kısımlarında derzleri boşalmış kısımların uygun kireç harcı ile derzlenmesi,

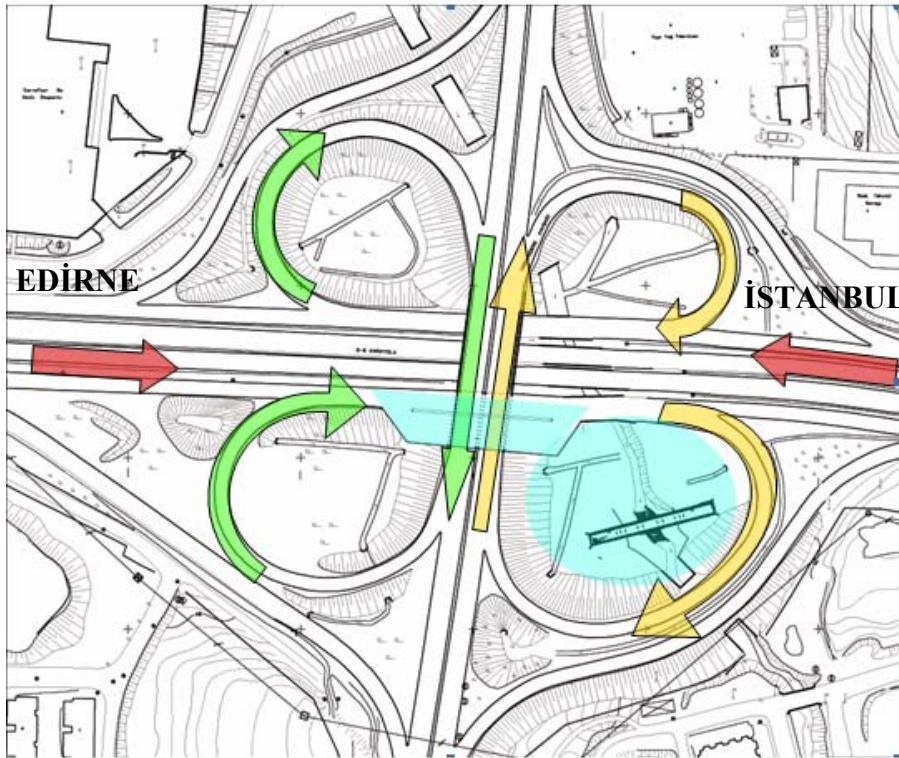
önerilmektedir.

Yapısal müdahalelerin yanında, Kapuağası Köprüsü'nün en önemli koruma sorunu, yapının çevre ile bağlantısının kesilmiş, atıl bırakılmış olmasıdır. İki ana yolun kesiştiği noktada bir yonca içerisinde bırakılmıştır. Yapıya araç veya yaya ulaşımı mümkün değildir. Konumu itibarıyla köprü algılanamaz durumdadır.

Çevre yolların ulaşım ağındaki yeri ve trafik hacmi düşünüldüğünde, Kapuağası Köprüsü'nün özgün işlevini yerine getirecek ve çevresini açacak bir değişikliğin yapılması mümkün görülmemektedir.

Ancak Mimar Sinan'ın bir eseri olan Kapuağası Köprüsü'nün en azından mimari varlığının sergilenmesi, bakımının düzenli yapılabilmesi için köprüye ulaşımı

sağlayacak çözümler geliştirilmelidir. Mevcut ulaşım ağını bozmadan Haramidere Kavşağı içerisinde bir cep oluşturmak mümkün görülmektedir (Şekil 6.41).



**Şekil 6.41 : Kapuağası Köprüsü'ne ulaşımı sağlayacak cep önerisi**

Oluşturulacak bu cep ile birlikte, yonca içerisinde köprüye ulaşımı sağlayacak yaya yollarının yapılması, bilgilendirici tabelaların konulması, uygun bir ışıklandırma projesinin hazırlanması, kavşağa yaklaşan yollar üzerine yönlendirici tabelaların asılması gibi basit uygulamalar ile Kapuağası Köprüsü kültürel mirasımızın değerli bir ögesi olarak varlığını daha rahat sürdürebilir bir duruma kavuşacaktır.

Ancak mevcut yollar kaldırılmadan gerçekleştirilecek müdahaleler geçici uygulamalar olarak değerlendirilmelidir. İstanbul Edirne arasındaki “sol kol” olarak adlandırılan tarihi güzergah üzerinde bulunan Kapuağası Köprüsünün bu yol hattı üzerindeki konumu ve çevre peyzı ile birlikte alınması gerekmektedir. Uzun vadede Karayolları Genel Müdürlüğü’nün, Kapuağası Köprüsünü çevreleyen yolları buradan kaldıracak şekilde çalışmalarda bulunması daha doğru bir koruma yaklaşımı olacaktır.

## **7. YAPISAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ VE KAPUAĞASI KÖPRÜSÜ (ANA KEMERİ) İÇİN BİR ÖRNEKLEME**

Yığma yapılar taş bloklar veya tuğla gibi çekme gerilmelerini karşılayamayan, basınç kuvvetleri altında çalışan yapı malzemelerinden oluşmaktadır. Yüksek özgül ağırlık - taşıma kapasitesi oranından dolayı yığma yapılar büyük kütleli rijit yapılardır. Zaman faktörü, çevresel etkiler, yapı üzerine etkiyen kuvvetler, yapılar üzerinde hasar ve bozulmalara yol açabilmektedir. Yapıda hasara yol açan sebeplerin belirlenebilmesi, doğru müdahale kararlarının alınabilmesi için, tarihsel araştırma, ölçüm ve belgeleme çalışmaları, mevcut hasarların tesbiti, öncelikli müdahalelerin neler olduğu gibi bilgilerin detaylı olarak değerlendirilmesi gereklidir. Bu bilgilerin tümü yapısal sorunların belirlenmesinde ve yapının mevcut durumunun risk analizi değerlendirmesinde yol gösterici olacaktır [25,sf.1].

### **7.1 Yığma Yapılara Etkiyen Kuvvetler**

Yığma yapıların güvenlik analizi, yapı üzerine etkiyen kuvvetlerin, bu kuvvetler altında yapısal elemanlarda oluşan deformasyon ve gerilme değerlerinin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Yapı, üzerindeki yüklemeleri güvenle taşıyabilmelidir [14,sf.53].

Yeni bir yapının tasarımında yapı üzerine etkiyen kuvvetler, şartnamelerde belirtilmektedir. Bu yükleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [14,sf.54].

- 1- Ölü yük (yapının kendi ağırlığı)
- 2- Deprem yükü
- 3- Kar yükü ve don
- 4- Rüzgar yükü
- 5- Ayaklarda farklı oturma
- 6- Toprak basıncı ve zemin hareketleri
- 7- Isıl değişimler
- 8- Kimyasal bozulmalar

Homojen bir yapıda, malzeme limit değerlerinin aşılması durumunda göçme gerçekleşirken, yığma yapılarda yük dengesini karşılayabilecek deformasyonlar oluşmaktadır.

Yığma yapılar çoğunlukla büyük kütleli ve statik belirsiz (indeterminate) yapılardır. Bu tip yapılarda, yapı formu içerisinde pek çok dengelenme olanağı bulunmaktadır. Deformasyonlar, yeni kuvvet dengelerinin oluşumunu sağlamaktadır. Her deformasyon, sonucu yıkıma gidecek şekilde, yapıyı adım adım statik belirli (izostatik) duruma yaklaştırmaktadır. Statik belirsiz bir yapının toplam deformasyon kabiliyetinin belirlenebilmesi, yapı tiplerinin analogik değerlendirmeleri ile mümkün olmaktadır [26,sf.379].

## **7.2 Yığma Yapılarda Oluşan Çatlak ve Deformasyonlar**

Yığma yapılarda oluşan deformasyonların yorumlanması, yapıların farklı kuvvetler altında gösterecekleri davranışın bilinmesi ile mümkündür. Basınç kuvvetleri altında kalan yapılarda dayanım, daha çok yapının geometrisine bağlıdır. Yapı üzerinde oluşan çatlaklar ise zayıf bölgelere işaret etmektedir. Bu çatlaklar ile yapı üzerindeki kuvvet dağılımını ilişkilendirmek mümkündür. Çatlaklar, çekme kuvvetinin sınır değerlere ulaştığı kısımlarda, kuvvete dik yönde oluşmaktadır. Böylelikle yapı üzerindeki çatlaklara bakarak kuvvet akışı incelenebilmektedir. Ancak artan kuvvetler altında yapı üzerindeki itki çizgisinin ve çatlakların yönü değişebilmektedir [25, sf.1].

Yapıların inşaat süreci içerisinde yapım hızına ve süreçlere bağlı olarak oturmalar oluşmaktadır. Yapım tarihini takip eden süreçte, yapının kendi iç oturmasından kaynaklı olarak çatlaklar oluşmaktadır. Yapım sürecindeki oturmalarla bağlı olarak gelişen bu çatlaklar, harç ile örülmüş kemerlerde sıklıkla görülmektedir. Ancak farklı sebeplere bağlı olarak oluşan hasarlardan ayrılması önemlidir. Oturmalar ve bu oturmalarla bağlı olarak oluşan gerilmelerin hesaplanabilmesi için, inşa süreci ile birlikte oturmalar kayıt altına alınmalıdır [26,sf.382].

Mevsim değişimleri, iç mekanlarda kullanılan iklimlendirme araçları, nem oranındaki değişimler, farklı zemin oturmaları ve toprak hareketleri de yapı içerisinde deformasyonlara ve yeni denge oluşumlarına yol açar. Ancak devam eden hareketler, daha tehlikeli hasarlara yol açabilmektedir. Bazı çatlaklar döngüsel olarak ısı ve ortamın nem oranındaki değişimlere bağlı olarak gelişir. Bu çatlaklar yapı

stabilitesini bozmasa da çatlaklardan zamanla girecek su ve toz, çatlağı büyütebilecektir [26,sf.39].

Bu hareketler sırasında yeni dengelerin kurulması, yapı bünyesinde kullanılan malzemelerin elastik özelliğine bağlıdır. Yığma yapılarda kullanılan harçların elastik özellikleri, bu anlamda çimentolu modern bağlayıcılara göre üstünlük göstermektedir. Ancak büyük çatlak, kırılma ve malzeme göçmeleri, büyük deformasyonlar sonucu rijitlik kaybına yol açabilmektedir [26,sf.39].

Yığma yapıların geneli için dayanım analizlerinde, derz kalınlığı, harç tipi, deformasyonların yönü, açısı, büyüklüğü gibi değerler doğru belirlenmelidir.

### **7.3. Yığma Yapıların Analizinde Kullanılan Yöntemler**

Yığma yapıların çözümlenmesi, özel uzmanlık gerektiren, farklı disiplinler çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirmesini kapsayan bir süreçtir. Yapılacak herhangi bir müdahalenin belirlenmesi sürecinde aşağıdaki sıralama izlenmelidir.

- Tesbit
- Risk Analizi
- Müdahale

Tesbit aşamasında, yapının mevcut durumunu belirten çizimler ile birlikte yapı üzerindeki değişimler, müdahale ve hasarların belgelendiği tüm verilerin toplanmasına dikkat edilmelidir. Yapı üzerinde görülen deformasyon ve bozulmaların sebepleri tarihsel araştırma ve incelemelerin ortaya koyduğu veriler ile birlikte değerlendirilmelidir. Zaman içerisinde yapıya eklenen veya değiştirilen kısımların bulunması, onarımlar, deprem, sel, yangın gibi faktörlerin sebep olduğu hasarlar veya zayıflıklar doğrudan yapı davranışını etkilemektedir [27].

Risk analizi kapsamında, yapının mevcut durumunda bir hasarın ilerleyip ilerlemediği, hasara yol açan sebeplerin halen etkin olup olmadığı incelenmelidir. İnceleme kapsamında, yapı malzemelerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, hasar sebeplerinin doğru teşhisi ve müdahale önerilerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu verilerin toplanmasında hasarsız test yöntemleri

(radar, ultrason, termal analiz, vb.) ve az hasarlı test yöntemlerinden (karot, flat jack, hidrolik jack, vb.) faydalanılabilir.

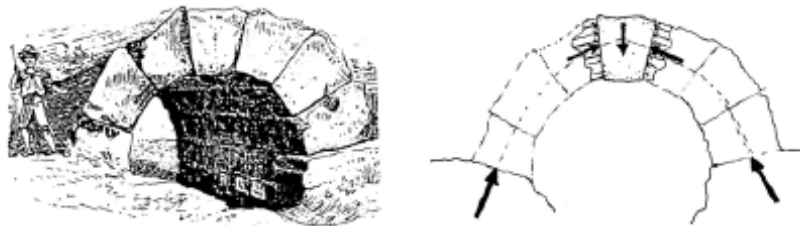
Risk analizi ve müdahale kararlarına ışık tutacak diğer bir inceleme yöntemi ise, sayısal çözümleme programları yardımıyla gerçekleştirilen yapısal analizdir. Yapısal analizde, geometrik veriler ile oluşturulan model üzerinde, malzeme özellikleri ve yapı elemanları birleşimleri tanımlanmakta, yapının kendi ağırlığı ve/veya çeşitli kuvvetler altında yapacağı davranış modelleri oluşturulmaktadır.

Modellerin kurulması çeşitli kabullerin yapılmasını gerektirmektedir. Ancak her kabul, modeli gerçek durumundan uzaklaştıracaktır. Doğru tesbitlerin yapılabilmesi ve doğru davranış mekanizmasının belirlenebilmesi için, farklı koşulların tanımlandığı modeller oluşturularak denemeler yapılmalıdır. Bu modellemeler sırasında malzeme özelliklerinin doğru şekilde tanımlanması önemlidir.

Modelleme sonucunda elde edilen veriler, aynı zamanda kabul edilen yaklaşımların doğruluğunun kontrolünde de kullanılmaktadır. Tekrar eden modelleme denemeleri ile, hasara sebep olan davranış mekanizması tahmin edilmekte, farklı yükler altındaki davranış modellerine göre müdahale kararları verilebilmektedir [27].

#### 7.4 Kemer Davranışı

Kemer; basınç kuvvetlerini karşılayan, üzerindeki yükleri üzerine oturduğu mesnet noktalarına eğik olarak aktaran, dairesel, eliptik gibi pek çok farklı formda inşa edilebilen eğrisel bir yapı elemanıdır [25,sf.2] (Şekil 7.1).



**Şekil 7.1 : Kemer üzerinde yük dağılımı ve arayüzde oluşan gerilmeler [28]**

Kemerler, yapı içinde bulundukları konuma, üzerlerindeki yüke ve ayaklara ilettikleri kuvvetlere göre değerlendirilmektedir. Sivri kemerler ile parabolik kemerlerin durumu birbirinden farklıdır. Kemer taşları kalınlığının kemer açıklığına oranı

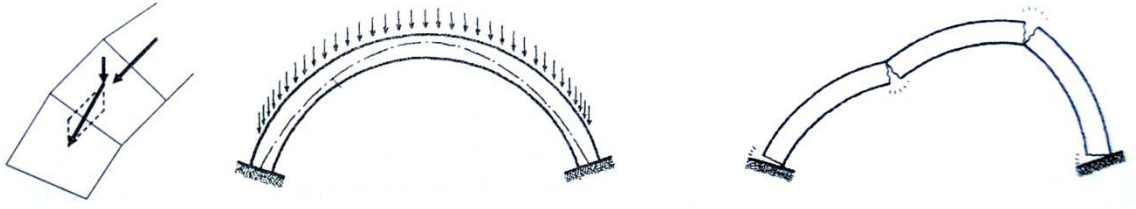
düşük olduğunda mafsallaşma görülme olasılığı yüksektir. Kemer taşları kalınlığının fazla olduğu durumlarda ise taşlarda kayma görülmektedir. Her iki durumda da kemerleri tutan ayaklar, kemer stabilitesi için büyük önem taşımaktadır. Ayaklarda oluşacak oturma, kayma, dönme gibi durumlarda, kemerin stabilitesi riskli hale gelecektir.

Kemer üzerinde oluşan gerilmeler, yapının ağırlığından ve diğer ölü yüklerden meydana gelmektedir. Kemer kilit taşı üzerinde yer alan dolgu tabakası, kemer stabilitesine önemli katkı sağlar. Kemer üzerine gelen tekil yüklerin dağıtılmasında ve ayaklar üzerindeki yüklerin düşeye yaklaşmasında etkilidir. Açıklığı büyük olan kemerlerde kilit taşının hasar görmesi, ölü yükler altındaki kemerin yıkılmasına sebep olabilir. Ayaklarda oluşacak oturmalar ise kemer taşları üzerindeki gerilmeleri artıracaktır.

Bir kemerin dayanımının belirlenmesinde en önemli faktör kemer formunda görülen deformasyonlardır. Deformasyonların mevsimsel olup olmadığı, uzun süreli deformasyon kayıtları ile kontrol edilmelidir. Kemerin özgün mimari formu, dayanım hesaplamalarında öncelikli olarak ele alınmaktadır. Parabolik ve sivri kemerler, basık kemerlere oranla daha güçlüdür ve ayaklarda daha düşük yanal itkiler oluşturmaktadır. Yüksekliği açıklığının çeyreğinden daha az olan kemerler (basık kemerler), zayıf kemerler olarak adlandırılmaktadır.

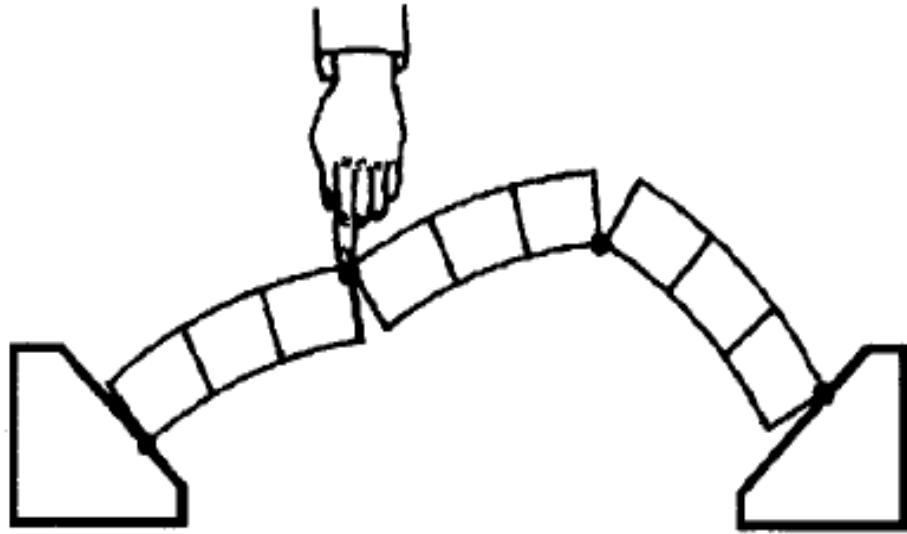
Kemer taşlarının kalınlığı da, kemer dayanımına etki etmektedir. Kemer taşları ne kadar kalın olursa, farklı yükleme durumlarında itki çizgisinin kemer taşları içerisinde güvenli kısımda kalma ihtimali o kadar fazla olacaktır.

Kemer yüksekliği azaldıkça, ayaklarda oluşan yanal itkiler artmaktadır. Kemer taşı derinliğine ve taşlar arasındaki sürtünme kuvvetine bağlı olarak, kemer üzerinde deformasyonlar oluşabilir. Bu deformasyonlar kemer açıklığının yaklaşık 1/4'lük kısımlarında mafsal olarak çalışan çatlakları oluşturabilmektedir. Bu çatlaklar geri dönüşümsüz olup, zaman içerisinde büyüme gösterebilirler [25,sf.2](Şekil 7.2).



**Şekil 7.2 : Kemer mekanizması [25]**

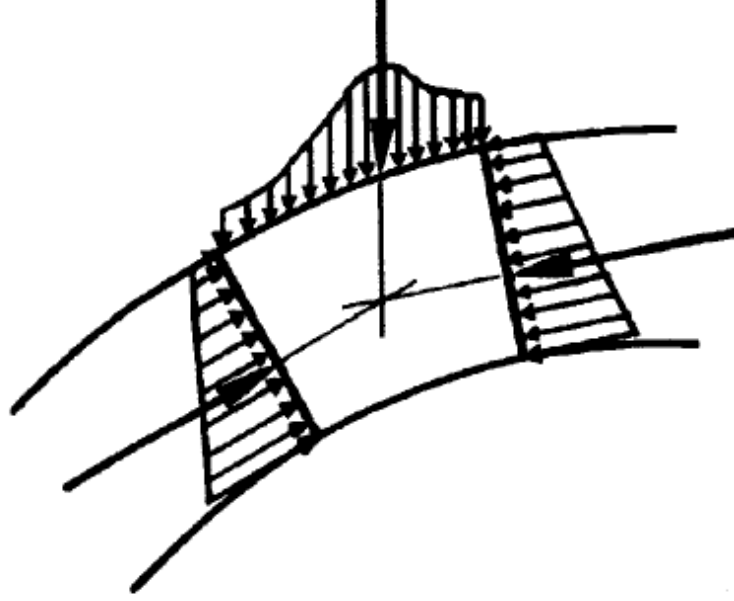
Gerilme hesaplarına dayanan analizler, yığma kemerler için yetersiz kalmaktadır. Yıkılma sırasında kemer üzerindeki kuvvet genellikle malzeme sınır değerlerinin altında kalmaktadır. Aşağıdaki şekilde noktasal bir yük altında kemerin yıkılma mekanizması görülmektedir (Şekil 7.3). Burada kemeri yıkıma götüren kuvvet, kemer formuna, kemerin kendi ağırlığına ve yükün uygulandığı yere bağlıdır. Bu durum antik çağlardaki tasarımların nasıl yapıldığına ışık tutmaktadır. Eğer model olarak üretilen bir kemer ayakta durabiliyorsa, aynı modelin büyütülerek uygulanması durumunda da ayakta kalacaktır [29,sf.1].



**Şekil 7.3 : Rijit bloklardan oluşan örnek bir kemerin noktasal yük altında yıkılması.**

Burada yıkılma yükü, kemer taşlarının dayanımından bağımsızdır. [29]

Kemer taşlarının yüzeyinde oluşan gerilmeler tepki kuvvetleri olarak gösterilebilir. (Şekil 7.4). Gerilmelerin kemer taşları boyunca izlediği yol ise itki çizgisi olarak adlandırılmaktadır. Bu çizgi, funiküler bir poligon oluşturmaktadır. 1976'da Robert

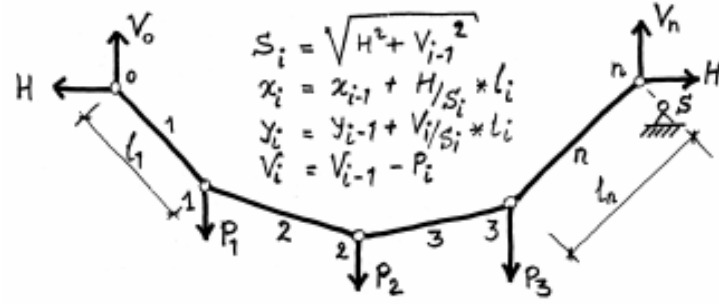


**Şekil 7.4 :** Kemer taşları üzerindeki itki çizgisi ve kemer taşı üzerinde oluşan gerilmeler [29]

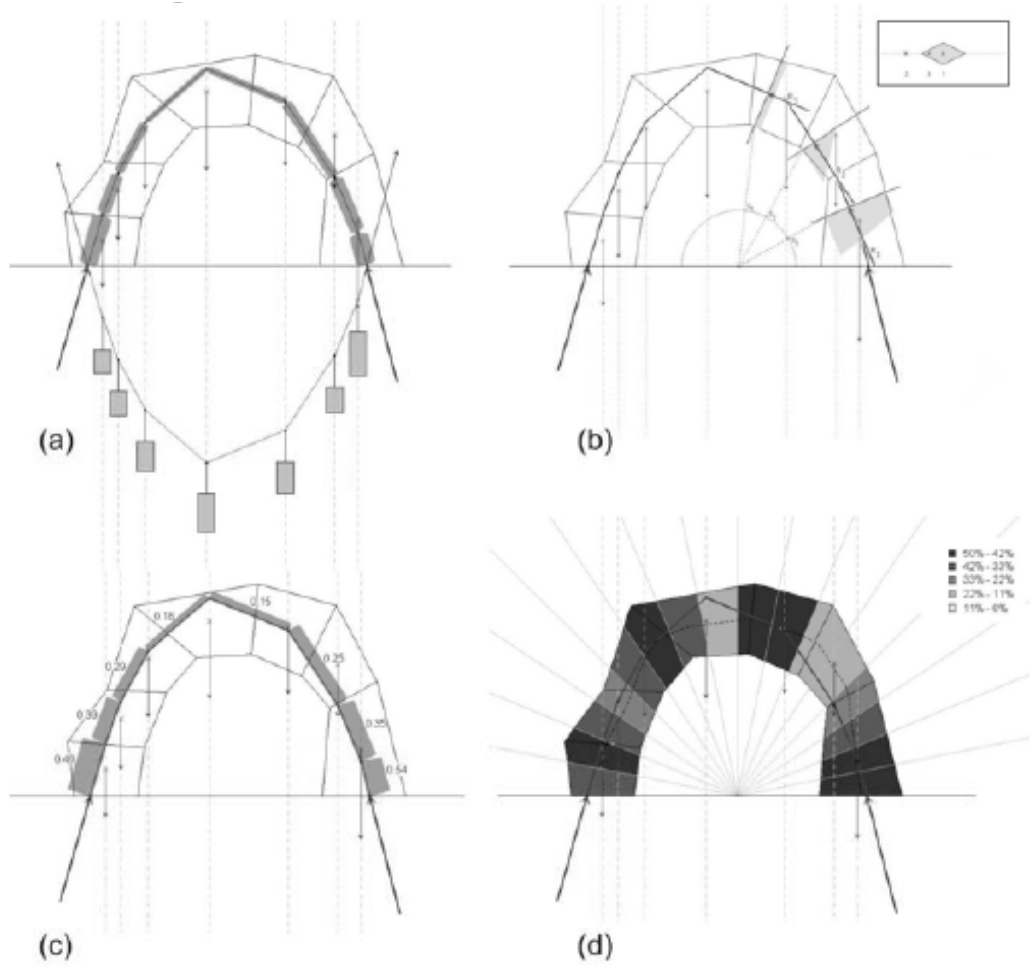
Hooke, ideal kemer formunun funiküler bir polygon olduğunu bulmuştur. Bunu yaparken bir ip üzerine ağırlık bağlayıp iki ucunu sabitleyerek yerçekimi altında aldığı formu incelemiş, ağırlıklar arasındaki çekme kuvvetlerinin, eğri ters çevrildiğinde basınç kuvvetlerine dönüşerek dengeyi koruyacağını söylemiştir [29,sf.188].

Bu yöntemde, kemer üzerindeki yükler, noktasal ağırlıklara çevrilerek ideal kemer formu bulunabilmektedir. Yüklerin daha düzensiz olduğu durumlarda ise doğru kemer şeklini bulmak daha zordur. Ancak elde edilen zincir eğrisi en ideal durumu vermektedir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 7.5) “0” ve “n” noktaları sabit noktalar olarak seçilmekte, H ve V değişkenlerine tahmini değerler verilerek P yüklerinin asılı olduğu noktaların koordinatları belirlenmektedir. Başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları birbirine yaklaşıncaya kadar yeniden H ve V değerleri tanımlayarak işlem tekrarlanmaktadır [30,sf.491].

Bu tekrarlama işlemi bilgisayar programlarından yararlanarak, pek çok durum için kullanılabilir hale gelmektedir. Aşağıdaki şekil (Şekil 7.6), bir yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmış bilgisayar programının verilerini ve yukarıda bahsedilen yaklaşımı açıklayıcı grafikleri içermektedir.



**Şekil 7.5 :** Asılı ağırlıklar yöntemi ile itki çizgisi şeklinin belirlenmesi [30]



**Şekil 7.6 :** a) Düzgün olmayan bir kemerde itki çizgisinin belirlenmesi ( asılı ağırlıklar, taş blokların ağırlığıyla orantılıdır), b) İtki çizgisinin ara yüzeylerdeki konumu, c) Herbir kemer taşındaki yükün büyüklüğü, d) İtki çizgisinin pozisyonunun grafiksel anlatımı [31]



**Şekil 7.7 :** Gaudi'nin Colonia Güell tasarımında kullandığı model [31]

Erken dönem tasarımcılar bu yaklaşıma bir güvenlik faktörü geliştirerek katkıda bulunmuş ve itki çizgisinin kemer taşının 1/3'lük kısmı içerisinde kalacak şekilde kemer inşa etmişlerdir. Kemerler için güvenlik faktörü kavramı ise itki çizgisini içine alabilecek en ince kemer ile inşa edilen kemer arasındaki oran olarak değerlendirilmektedir [29,sf.188].

Yukarıda bahsedilen zincir eğrisi teorisine göre, ideal geometrili bir kemerde, kemer taşları üzerinde sadece basınç kuvveti oluşması beklenir. Eğer kemer üzerinde bir yük dağılım çizgisi çizilecek olursa, kemer taşlarının tam ortasından geçecek bir itki çizgisi, tüm kemer taşlarına üniform olarak basınç kuvvetini dağıtacaktır. Ancak kemer taşları orta aksından şaşmaların olması halinde, kemer taşları arayüzündeki gerilme aşağıdaki denklemdeki gibi oluşacaktır.

Bu denklemde :

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{Pe}{Z}$$

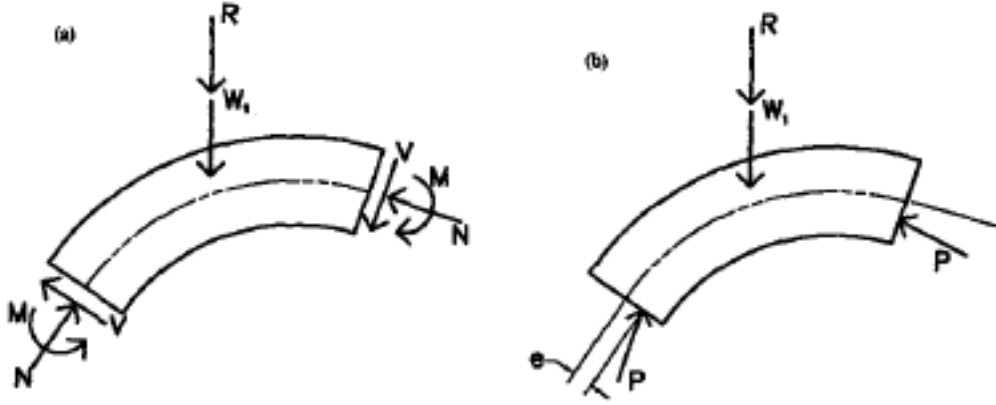
P: kemer kesitindeki eksenel kuvveti

A: kemer taşının yük doğrultusuna dik kesit alanını

e: eksenel kuvvetin eksantrisitesini

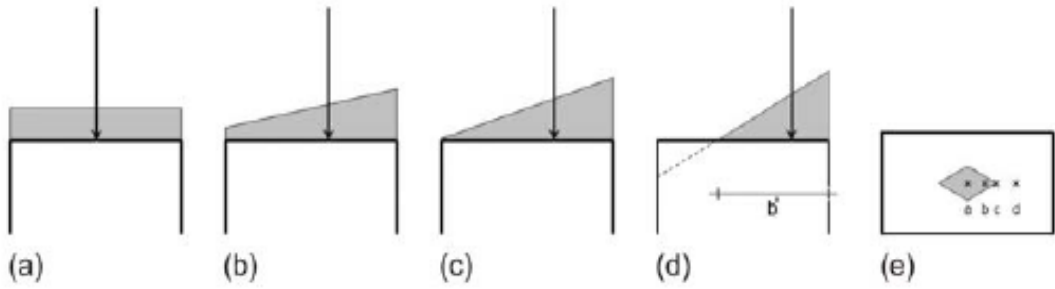
Z : ise kesit modülünü ifade etmektedir (Şekil 7.8).

Kemer taşı üzerindeki eksenel kuvvetin kesit orta noktasından kayması, kemer taşları üzerinde asimetrik bir yük dağılımına yol açacaktır. Kuvvetin kayma oranı, kesitin merkezden 3'te 1'lik kısmına gelene kadar, kemer taşları üzerinde hep basınç kuvveti oluşacaktır. Ancak, 3'te 1'lik kısmın dışında kalan bir kuvvet, kemer taşları üzerinde çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olacaktır (Şekil 7.9).



**Şekil 7.8 :** Kemer üzerindeki kuvvetlerin şematik gösterimi [32]

Yığma yapılarda oluşan çekme kuvvetleri, yapı elemanları veya kemer taşları arasında aktarılamamaktadır. Çekme kuvvetlerinin aktarımında ara yüzeyi oluşturan harç tabakası bu kuvvetlerin iletiminde rol oynamaktadır. Ancak çekme dayanımı çok düşük olan harç tabakasının bu yükleri aktarması mümkün olmamaktadır.



**Şekil 7.9 :** İtke çizgisinin kemer taşı içerisindeki konumu ve yüzeydeki gerilme dağılımı

Malzeme tarafından karşılanamayan bu çekme kuvvetleri, kemer üzerinde çatlak veya ayrılmalara yol açabilecektir. Ancak bu ayrılma ve çatlaklar kemerin yıkılması için yeterli olmayacaktır.

Bu teoriye göre, itki çizgisinin kemer taş kesitinin merkezde üçte birlik kesimi içerisinde kalması, kemer stabilitesi için temel unsurdur. İtki çizgisinin, 3'te 1'lik kısımda kalabilmesi için, hem bu çizginin formu, hem de kemer taşlarının kalınlığı önemli olmaktadır. Viktorya dönemi mühendislik çalışmaları sırasında, çeşitli kemer formları için, kemer yüksekliği ve kemer açıklığına bağlı olarak, kemer taşları kalınlığını veren ampirik formüller geliştirilmiştir.

#### **7.4.1. Heyman'ın Plastik Teorisi**

Bir kemer içerisindeki itki çizgisi, 3. dereceden hiperstatiktir ve pek çok farklı pozisyonda olabilir. İtki çizgisini çizebilmek için ayaklardaki kuvvetin yeri ve büyüklüğünün bilinmesi gereklidir. Geleneksel olarak kemer tasarımcıları için, bu itki çizgisinin kemer taşları kesiti içerisinde yer alması yeterli olmaktadır. Heyman, bu yaklaşıma plastik teorinin uygulanabilir olduğunu gösteren çalışmalar yapmıştır [29, sf. 188].

Heyman teorisinde aşağıdaki kabullerle yola çıkmıştır. Heyman'a göre,

Taşlar çekme kuvveti taşımamaktadır. Taşlar kendi içinde çekme kuvvetlerini bir oranda taşıyor olsa bile, derzlerde bu yükün aktarımı söz konusu olmamaktadır.

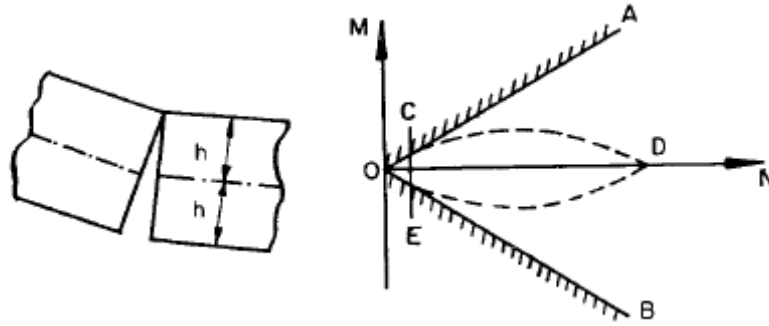
Taşların basınç dayanımı sonsuzdur. Kemer üzerinde oluşan gerilmelerin, malzeme dayanımına oranı düşük olduğundan, kemer taşlarının sonsuz dayanımı kabul edilmektedir.

Taşlar arasında kayma oluşmamaktadır. Taşlar arasındaki kuvvet aktarımlarında, itki çizgisinin yüzey normalinden fazla uzaklaşamayacağını temel almaktadır.

Bu kabuller ışığında, çelik yapılara uygulanan plastik teorem, yığma yapılara uygulanabilmektedir. Böylece göçme ancak mekanizma oluşturacak mafsalların oluşması ile gerçekleşmektedir [33, sf.253].

Aşağıdaki şekilde, Heyman'ın elastik ve sonsuz rijit malzeme için çizdiği N-M (eksenel kuvvet – moment diagramı) yer almaktadır (Şekil 7.10). Diagramda OA-OB doğruları rijit malzemeyi, eğrisel kesikli çizgiler ise elastik malzemeyi tanımlamaktadır. CE doğrusu ile sınırlanan kısım ise kemer üzerinde görülen maksimum basınç kuvvetinin - malzeme dayanımının yaklaşık %10'u ile sınırlandığı alandır. Diagramda görüldüğü üzere bu alan içinde elastik ve rijit malzeme eğrileri

doğruya çok yakındır. Buradan yola çıkarak Heyman, kemer taşlarını sonsuz rijit kabul etmektedir [33, sf.254].



**Şekil 7.10 :** Heyman'ın sonsuz rijit malzeme ve elastik malzeme için eksenel kuvvet/moment diagramı ve mafsall oluşma durumu [33]

Elastik teori ile ideal kemer itki çizgisinin belirlenmesi 3. dereceden hiperstatik yapılar için mümkündür. Ancak çekme kuvvetlerinin aktarılamamasından dolayı kemer analizi zor olmaktadır. Kuvvet aktarımını sağlayan kemer taşları arasındaki etkili arayüzeyin belirlenebilmesi için, iç kuvvetlerin yerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu durum harç ve taş yüzeyi arasındaki malzeme özelliklerinin değişiklik göstermesinden dolayı elastik teorisinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır [32,sf.32].

Bu durumda yığma kagir bir kemeri, kemer taşının yarısı kadar bir eksantrisitede akma yüzeyleri oluşturan rijit plastik bir yapı olarak düşünmek mümkündür. İtki çizgisinin kemer yüzeyine teğet olduğu noktada, kemer taşının mafsall oluşmadan bu kuvveti taşıması mümkün değildir. Plastik teorisinin temelini oluşturan, sisteme verilen enerjinin, yükler kaldırıldığında ortaya çıkan enerjiden daha az olması durumu ortaya çıkmaktadır. Aradaki enerji farkı plastik deformasyona dönüşmekte, bu denge denklemi ise mafsall oluşan noktadaki iç kuvvetlerin bilinen elastik denklemler ile çözümünü mümkün kılmaktadır [32,sf.32].

#### 7.4.2. Göçme Teorileri

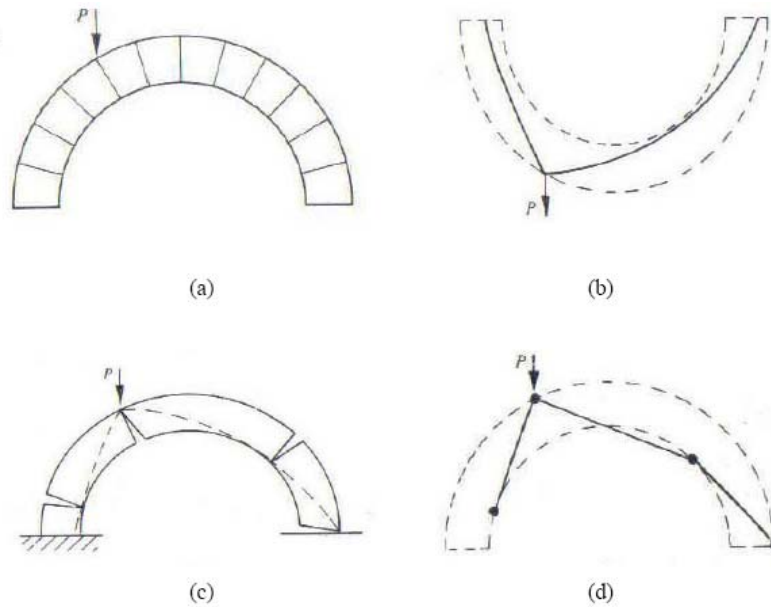
Kemerleri yıkıma götüren mekanizmalar basınç altında göçme, kesme kuvveti ile göçme ve mafsall oluşumu ile göçmedir. Hızlı kuvvet değişimleri sırasında, kemer üzerindeki yüklerin artmasıyla birlikte, itki çizgisi formu değişmeye başlayacak ve kemer üzerinde mafsallar oluşmaya başlayacaktır. Ancak yükün hızlı değişimi, mafsall oluşmasına izin vermeden kemer formunun bozulmasına ve göçmeye sebep

olacaktır. Basınç gerilmesi altında oluşan hasarlar, kısa açıklıklıkların geçildiği, yüksek olmayan kemerlerde görülebilecek şekilde, düşey kuvvetlerin doğrusal bir hatla kemer taşlarından ayaklara iletildiği durumlarda ortaya çıkmaktadır.

Ani göçmede olduğu gibi, hızlı kuvvet artışları sırasında kemer taşı üzerindeki düşey kuvvetin, yanal kuvvetin çok üzerinde olduğu durumlarda ise kesme hasarları oluşmaktadır. Ancak doğru boyutlandırılmış bir kemerde bu tip hasara rastlamak pek mümkün değildir.

En sık rastlanılan kemer göçme mekanizmasında ise kemer taşları içerisinden geçtiği varsayılan itki çizgisinin artan yükler ile birlikte deforme olması sonucu, kemer iç ve dış yüzeylerinde kemer stabilitesini bozarak yıkıma götüren mafsallar oluşmaktadır. Bu mafsallar kemerin en zayıf noktalarında oluşacaktır. Taş blokların homojen yapıları ve dayanımları düşünüldüğünde, mafsal oluşumunun bekleneceği yerler kemer taşları arasındaki derzler olmaktadır.

Bu mafsalların oluşabilmesi için, kemer itki çizgisinin, kemer iç veya dış noktalarına temas edecek şekilde deforme olması gerekmektedir. Bu durumda, kemer taşları üzerine itki çizgisi aracılığıyla aktarılan kuvvet, taş kesitinin yarısı mesafede bir eksantirisite oluşturacaktır. Mafsallarda oluşan bu moment değeri şu şekilde ifade edilebilir;  $M = P \times (h/2)$ . Bu moment değeri kemer limit yük analizlerinde, mafsal oluşmasını sağlayan kritik yük olarak değerlendirilebilir (Şekil 7.11).



**Şekil 7.11: Noktasal yük altında kırılma mekanizması [33]**

### **7.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Kapuağası Köprüsü Ana Kemer Analizi**

Yapısal bütünlüğü olan bir elemanın, daha küçük parçalara bölünerek, her bir parça üzerinde oluşan tepkilerin birbirine aktarılması prensibine dayanan sonlu elemanlar yöntemi, günümüzde havacılık, makine, malzeme, yapı mühendisliği ve hidrolik gibi pek çok mühendislik sorununun çözümünde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [34].

Sonlu elemanlar yöntemi, yığma yapıların koruma ve onarım çalışmalarında pek çok bilinmeyen bünyesinde barındırmasına rağmen, sıkça kullanılan bir yöntemdir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte pek çok değişkenin hesaba katılarak çözümlemesini yapabilecek programlar geliştirilmekte, deneysel çalışmalar ile birlikte veriler yorumlanmakta, çözümleme ve onarım tekniklerine yeni açılımlar getirmektedir.

Bu yöntem ile yapıların/malzemelerin deformasyon ve gerilme değerleri hazırlanan sayısal modellerin çözülmesi ile elde edilmektedir. Çözümleme sonucunda elde edilen gerilme diagramları, hem yapının taşıma kapasitesine dair bilgi vermekte, hem de müdahale edilecek noktaların belirlenmesinde kullanılabilmektedir.

Sayısal modelin oluşturulması sırasında, sonlu elemanların birbirilerine yük aktarma şekilleri, malzeme elastisitesi, kütle-ağırlık değerleri ve poisson oranı gibi malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri, kullanılan program aracılığı ile tanımlanabilmektedir.

Bu özelliklerin tanımlanması, yapının taşıyıcı sistemine, yapı elemanlarının boyutlarına ve birbirilerine yük aktarım şekillerine göre değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla yığma yapılar için kurulan sayısal bir modelin, gerçeğe en yakın sonuçları verebilmesi için, yapı davranışının doğru çözülmesi, mevcut malzeme özelliklerinin çeşitli testlerle belirlenmesi, yapı ve malzeme davranışını etkileyecek tüm faktörlerin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması üç aşamada gerçekleştirilmektedir,

- Yapının küçük parçalara bölünmesi
- Her bir yapı elemanının geometrik özelliklerinin tanımlanması
- Oluşturulan elemanların, yük altındaki davranışlarına göre model içerisindeki kullanımının belirlenmesi [14,sf.31].

Sonlu elemanlar yöntemi uygulamalarında, malzeme özelliklerini izotropik ve sürekli olarak kabul eden ilk çalışmalarda gerçekçi sonuçlara ulaşılamamıştır. Yığma yapıların tuğla, taş, harç gibi farklı bileşenlerden oluştuğu, harç tabakasının zayıf noktalar oluşturduğu göz ardı edilmiştir. Düşük gerilmeler altındaki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabilen bu yaklaşım, yüksek gerilme altında malzemenin doğrusal olmayan özelliklerinin ve oluşan çatlak- hasarların hesaba katılamaması sebebiyle, doğru sonuç vermemektedir [14,sf.32].

Ancak son çalışmalar ile farklı malzemelerin tanımlanmasına olanak sağlayan, malzemeler arasında ara yüzey tanımlayabilen, zayıflık ve hasarların tanımlanabileceği programlar geliştirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi uygulamaları, istenilen sonuç verinin niteliğine, yapı tipi ve boyutuna bağlı olarak mikro modelleme ve makro modelleme olarak iki ana kısma ayrılmaktadır.

#### **7.5.1. Mikro ve Makro Modelleme**

Yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile çözümünde, yukarıda bahsedildiği üzere, yapı davranışını doğru tanımlayabilmek için pek çok değişkenin belirlenmesi gerekmektedir. Yığma yapılarda bütünü oluşturan parçaların birbirilerine yük aktarımlarında pek çok farklı malzeme ve detay bulunmaktadır. Taşlar birbirileriyle ya kendi yüzeyleri yada harç gibi ara bir katman ile birleşmektedirler. Bunun yanında, taşların düşey ve yatay doğrultuda birbirine bağlandığı bilinmektedir [35,sf.18].

Mikro modelleme ile en doğru sonuca ulaşabilmek için, malzeme özellikleri ve birleşim noktalarındaki yük aktarım özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut yapıların analizinde, yapı üzerindeki tüm bu detayların görülebilmesi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Yığma yapıların pek çoğunda, farklı dönemlerde yapıya eklenmiş kısımların, farklı katmanlardan oluşan duvar kısımlarının varlığı da düşünülünce, tüm bir yapı için mikro modelleme yapılması etkili bir yöntem olmamaktadır.

Ancak, tüm yapı davranışını daha doğru analiz edebilmek için, yapının belirli kısımlarının, mikro modelleme ile çözümlenmesi, makro modelleme için yapılacak kabullere temel oluşturabilecek, makro modelin kontrolünde kullanılabilecektir [35].

### 7.5.2. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi

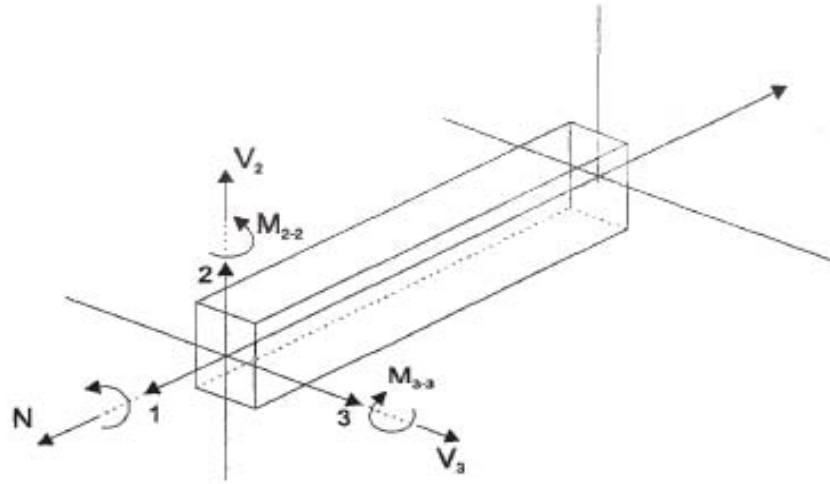
Yapı çözümlemelerinde, yapı elemanları üzerindeki gerilmelerinin bulunması ve deformasyon miktarının belirlenebilmesi, malzemelerin hangi yük altında ne kadar deforme olduğunu belirleyen elastisite modülüne bağlıdır. Yapı çözümlemeleri genellikle, malzemelerin üzerlerine yük aldıkça doğrusal bir ilişki ile deforme olduklarını kabul eden, doğrusal (lineer) çözüm yöntemleriyle yapılmaktadır. Ancak bu durum, yapı üzerindeki yükler sebebiyle oluşacak kırılma ve çatlakla ile bu hasarların yapı sistemine etkilerini göz önüne almamaktadır.

Yapı üzerinde, malzeme özelliklerine bağlı olarak oluşan hasarların yapı sistemine etkileri ancak doğrusal olmayan çözümleme yöntemi ile daha gerçekçi olarak çözümlenebilmektedir. Bu yöntemde, yapı üzerindeki yükün sebep olacağı hasarlar sonucu, kullanılan program aracılığıyla, model yeniden kurulmakta ve çözümleme tekrarlanmaktadır. Bu durum, kuvvet dengesi sağlanana kadar devam etmektedir [35].

### 7.5.3. Sonlu Elemanlar Analizinde Kullanılan Geometrik Birimler

Yığma yapılar süreklilik arz eden kubbe, kemer, tonoz gibi yapısal elemanlardan oluşmaktadır. Doğru bir modellemenin yapılabilmesi için, sonlu elemanlarda sıklıkla kullanılan geometrik birimlerin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

#### 7.5.3.1. Çerçeve Elemanlarla Çözüm



Şekil 7.12 : Çerçeve eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler [14]

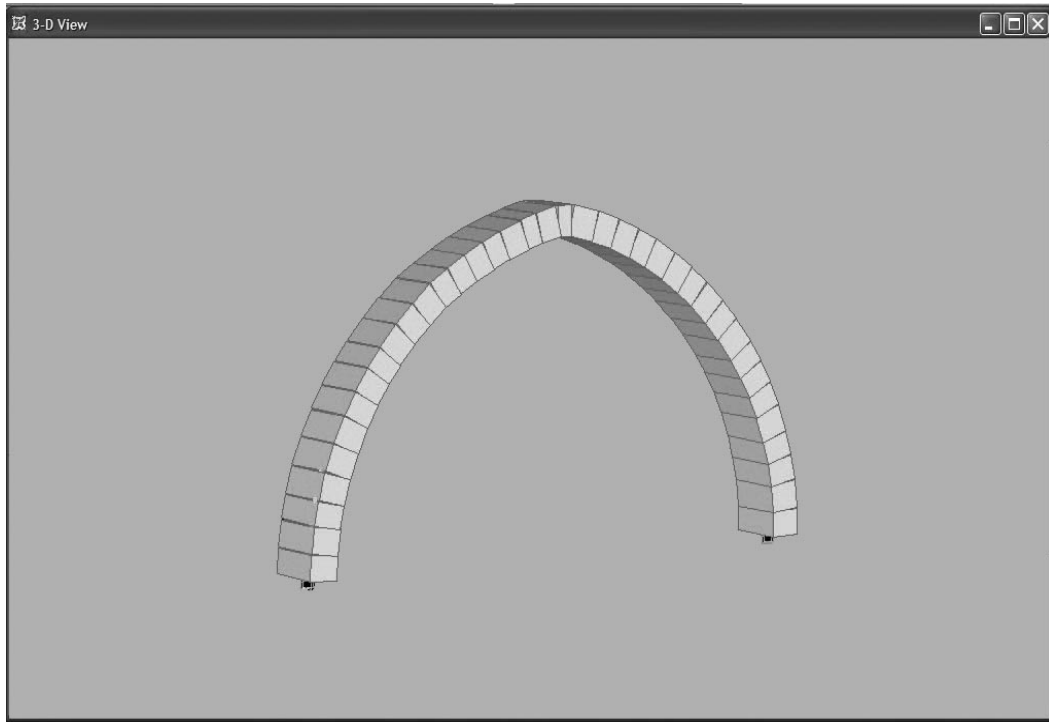
Çerçeve elemanlar X ve Y eksenleri etrafında eğilmeye çalışan, eksenel yük, kesme kuvvetini karşılayabilen ve burkulan elemanlardır. Her birleşim noktası altı serbestlik derecelidir (Şekil 8.1) [14,sf.37].

Çerçeve elemanların modellenmesine örnek olması amacıyla, Kapuağası Köprüsü ana kemer ölçüleri kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Mafsallarla birbirine bağlanan 38 adet çerçeve eleman ile kemer oluşturulmuştur (Şekil 8.2). Çerçeve elemanların boyutları kemer yüzeyinde 0.5 m, tonoz doğrultusunda ise kemer çevre taşları ortalama uzunluğu olan 1m olarak kabul edilmiştir. Kemer taşları elastisite modülü  $E= 20000 \text{ MPa}$ , malzeme birim ağırlığı  $30 \text{ kN/ m}^3$  olarak kabul edilmiştir.

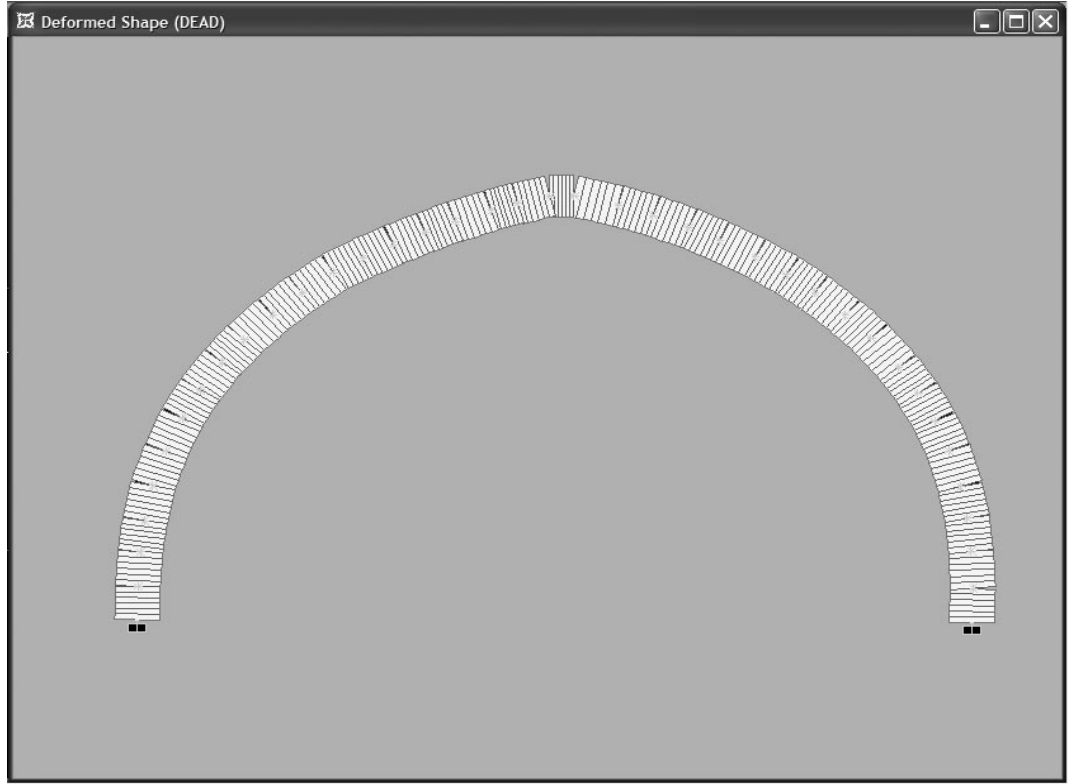
Çerçeve elemanlarla çözümlemede 39 nokta ve 38 çerçeve tanımlanmıştır. Üzengi hizasından itibaren modellenen kemerin, mesnet noktaları tam ankastre, diğer noktalar ise, çerçeve davranışını elde edebilmek için düzlem dışı hareketi engelli olarak tanımlanmıştır.

Kemerin kendi ağırlığı altında yapılan çözümlemede, Şekil 8.4'te görüldüğü gibi, kemer kilit taşından üzengiye kadar düzgün artış gösteren bir gerilme dağılımı oluşmuştur. Üzengi hizasında bu gerilme  $117 \text{ kN}$ , kilit taşı üzerinde ise  $40 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur.

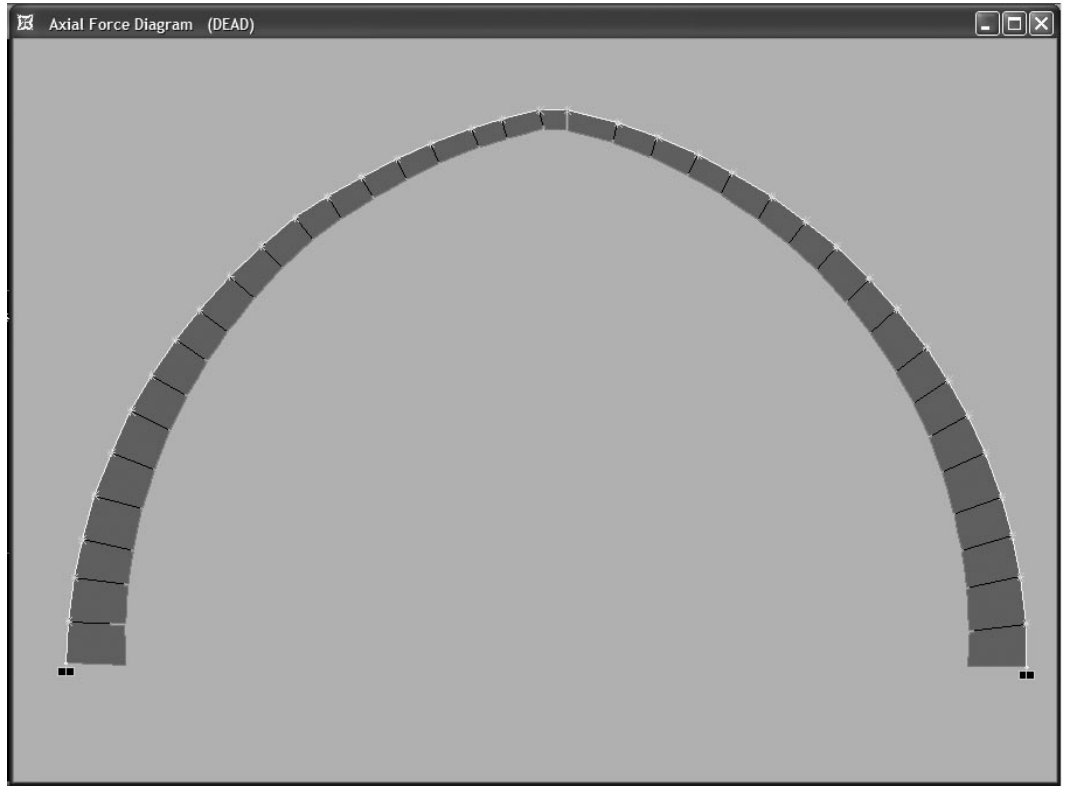
Moment diagramında ise en büyük moment değeri, üzengi seviyesinde  $34 \text{ kNm}$  olarak bulunmuştur (Şekil 8.5). Üzengi seviyesinin üzerinde ters yönde oluşan moment değeri  $14 \text{ kNm}$ 'dir. Kilit taşı üzerinde oluşan deplasman ise  $2.10^{-4} \text{ m}$ 'dir.



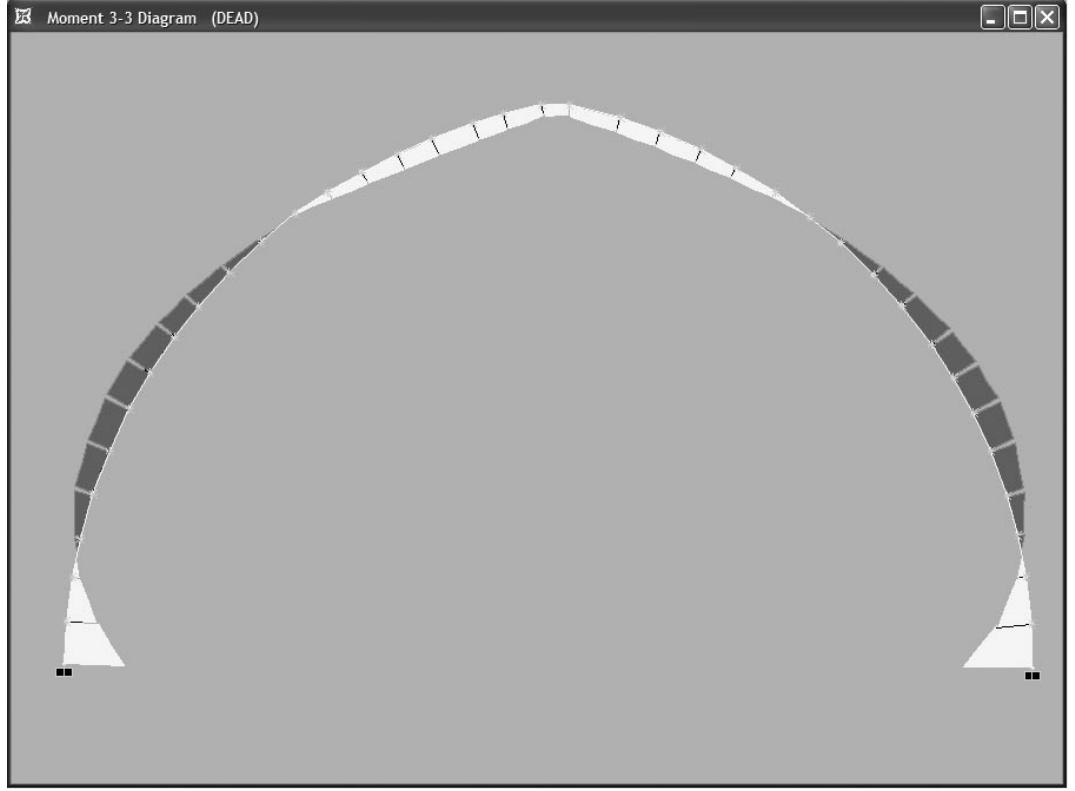
**Şekil 7.13 : Kesit verileri atanmış çubuk model**



Şekil 7.14 : Çubuk eleman modeli ölü yük altında deforme olmuş durum

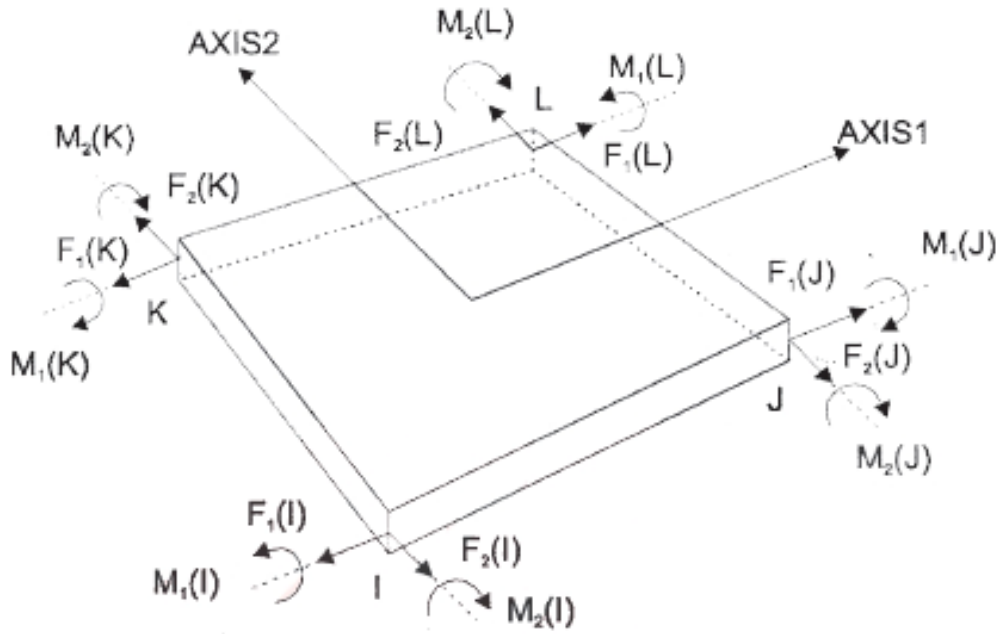


Şekil 7.15 : Çubuk eleman eksenel yük dağılımı



Şekil 7.16 : Çubuk eleman moment dağılımı

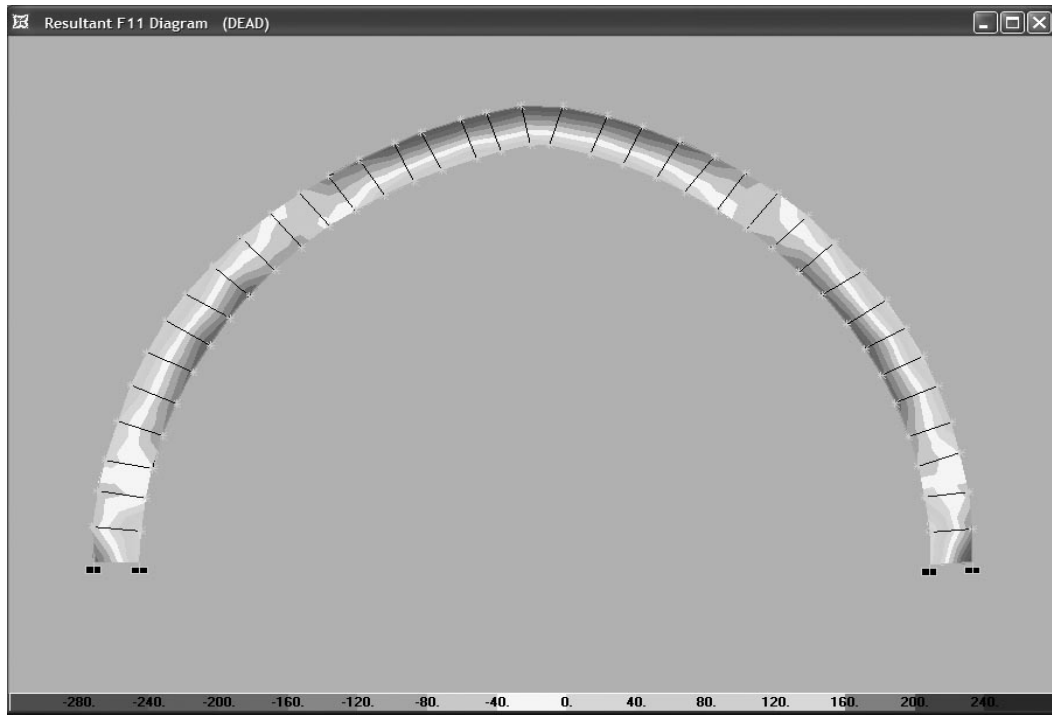
#### 7.5.3.2. Kabuk Elemanlarla Çözüm



Şekil 7.17 : Kabuk eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler [14]

Kabuk elemanlar, plak, membran, duvar gibi düzlemsel yapı elemanlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Kabuk elemanlar üç veya dört nokta ile tanımlanabilen, üçgen veya dörtgenler şeklindedir. Her bir nokta kuvvet ve moment aktarımına olanak sağlayan dört serbestlik derecelidir (Şekil 8.6) [14,sf.37].

Aşağıda, Kapuağası Köprüsü ana kemerinin kabuk elemanlarla, kendi ağırlığı altındaki analizi bulunmaktadır. Kemer taşları, rölöveye uygun bir şekilde, her bir kemer taşının köşelerini belirleyen dört düğüm noktasının (node) arasına kabuk (shell) elemanlar tanımlanarak oluşturulmuştur. Kabuk elemanların düzlem içerisindeki uzunlukları, çubuk elemanlarda tanımlandığı gibi 1.00 m olarak belirlenmiştir. Malzeme özellikleri aynı olan ve kendi ağırlığı altında yapılan çözümleme sonucunda, kilit taşı deplasmanı  $2.10^{-4}$  m olarak bulunmuştur. Üzengi seviyesindeki kuvvet toplamaları ise grafiğe göre sağ uçta 121,5 kN, diğer uçta ise 125 kN'dır (Şekil 8.7).

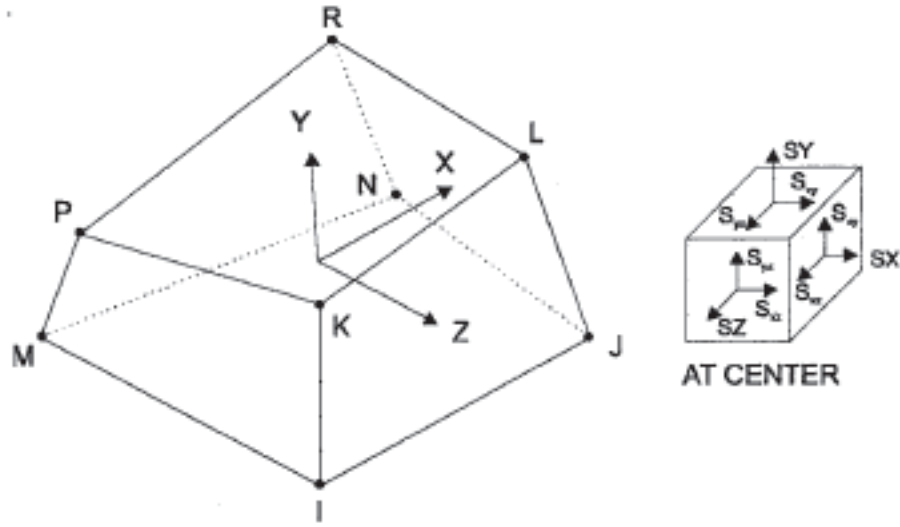


**Şekil 7.18 : Kabuk eleman gerilme diagramı**

Kabuk elemanlar ile yapılan analiz sonuçları, çerçeve eleman analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında çok yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir. Oluşan fark ise,

çerçeve eleman tanımlanırken yapılan genellemelerin bu yöntemde gerçek geometrisine uygun olarak tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

#### 7.5.3.3. Katı Elemanlarla Çözüm



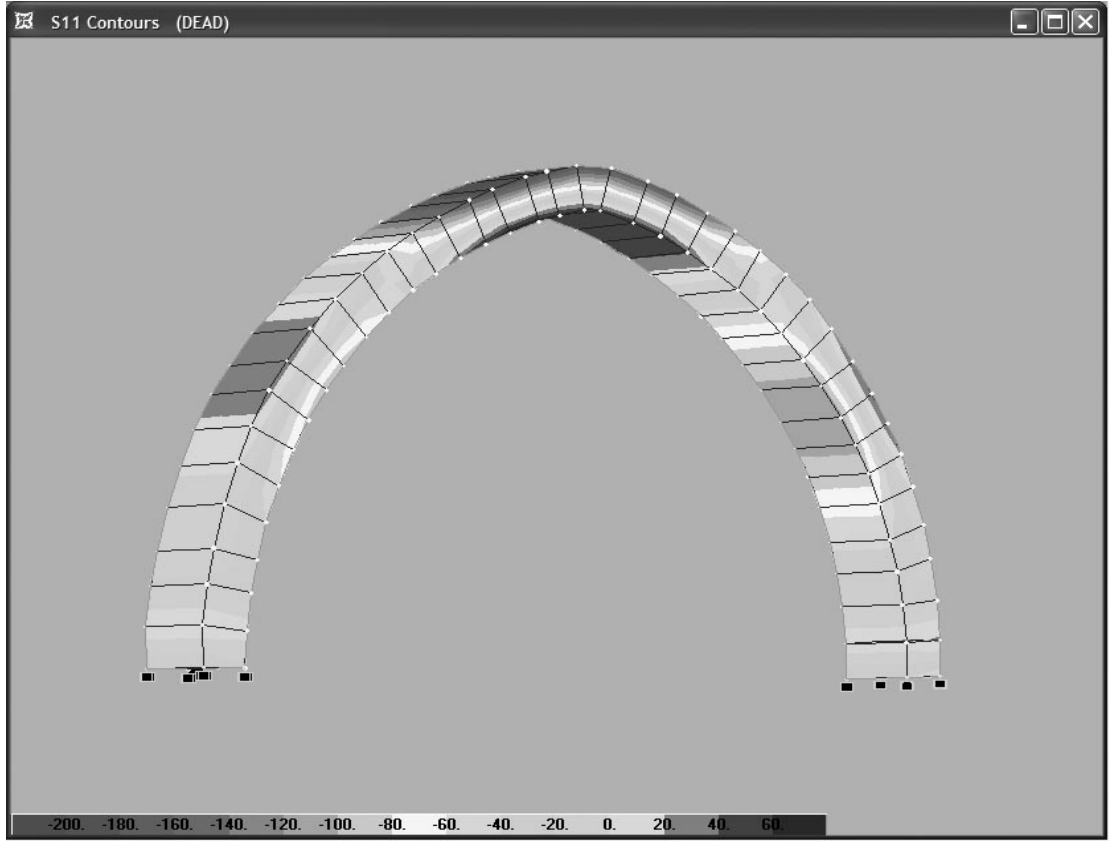
**Şekil 7.19 : Katı eleman eksenleri ve taşıdığı kuvvetler [14]**

Katı elemanlar sekiz nokta ile tanımlanan ve her noktası altı serbestlik dereceli, gerilme aktarabilen elemanlardır. Kütleli yapı elemanlarının modellenmesinde kullanılmaktadır [14,sf.40].

Örnek kemer aşağıda, katı elemanlarla (solid) modellenmiştir. Malzeme özellikleri diğer şekilde alınmıştır. Kabuk elemanların 2 boyutlu bir eksen üzerinde çerçeve gibi çalışmasına karşılık, bu modelde noktalara 3 boyutta tam serbestlik tanınarak çözümleme yapılmıştır.

Modelin kontrolü, üzengi tepki kuvvetleri kıyaslanarak yapılmış ve grafiğe göre sağ mesnette, toplam 97 kN, diğer mesnette ise 109 kN tepki kuvvetleri bulunmuştur.

Katı eleman ile modal çözümlemede burulma modları da hesaplanabilmektedir. Ancak katı elemanlarla oluşturulan modellerde her bir katı eleman, birleşim noktalarından diğerine yük aktarmaktadır. Çözümleme sonuçlarında moment değerlerine ulaşmak ancak el hesabı ile mümkün olmaktadır.



Şekil 7.20 : Katı elemanlar modeli kuvvet dağılımı

## 8. SONUÇ

Türkiye sınırları içerisinde pek çok farklı dönemin eseri olan taş köprüler yer almaktadır. Farklı coğrafi etkiler altında, kemer tipleri, kemer adedi ve malzemeleri değişkenlik göstermektedir. Büyük bir kısmı yapısal bütünlüğünü korumakta ve bir kısmı halen işlevini sürdürmektedir.

Köprülerde hasara yol açan ana sebepler, hidrolik kuvvetler, deprem ve insan kaynaklı hasarlardır. Deprem pek çok tarihi modern yapı için risk teşkil etmesine rağmen, köprüler üzerinde en çok rastlanan ve kalıcı hasara yol açan etkiler, insan kaynaklı hasarlar olmaktadır. İşlevsel değerlerinden dolayı köprüler, tarihi değerleri ve yapısal özellikleri göz önünde bulundurulmadan, yeterli araştırma ve inceleme yapılmadan onarıma yoluna gidilmiştir.

Bu onarımlar sırasında çimento harcının yoğunlukla kullanıldığı, betonarme dolgu, bütünleme ve eklerle yapısal davranışlarına müdahale edildiği ve geri dönüşü olmayan hasarlar verildiği görülmektedir. Mevcut ulaşım ağı üzerindeki trafik akışının rahatlatılabilmesi için köprü eğimleri köprüye ek yük getirecek şekilde değiştirilmiş, tabliyeleri genişletilmiş, ağır araç geçişine izin verilmiştir. Ulaşım ağı içerisinde işlevi olmayan köprüler ise bakımsızlıktan dolayı çevresel etkiler altında yoğun bozulmaya maruz kalmıştır.

1970 yılında Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun 02/12/1970 ve 5632 sayılı kararıyla, 'köprü, menfez vs. imalatı hakkında Kurula yapılan müracaatların incelenip karara varılmasından önce, bu tesislerin sahibi ve koruyucusu olması gereken ve teknik bakımdan da en yetkili kuruluş olan Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı Tarihi Köprüler servisiyle sıkı bir işbirliği yapılarak mütalaasının alınması gerektiğine' karar verilmiştir.

Bunun üzerine 1973 yılında 'Tarihi yol ağlarına ait köprü ve diğer yan tesisleri hazırlayacağı veya hazırlatacağı plan ve projelere göre onarmak ve bakımlarını sağlamak' görevi Karayolları Genel Müdürlüğü'nün görevleri arasına alınmıştır. 2003 yılından itibaren ise Tarihi Köprüler Şubesi Müdürlüğü tarafından bakım onarım çalışmaları yürütülmektedir. Ancak kuruma bağlı köprülerin sayısının

fazlalığı ve personel yetersizliği projelerin hazırlanması, gerekli incelemelerin yapılmasını ve uygulamaların kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Tez kapsamında Marmara bölgesinde yer alan Mimar Sinan Köprüleri'nin güncel durumları incelenmiş ve saptanan sorunlarına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Örnek yapı olarak seçilen Kapuağası Köprüsü üzerinde rölöve, restitüsyon projeleri hazırlanmış ve koruma yaklaşımları gerçekleştirilmiştir.

İncelenen köprüler üzerindeki en büyük tehdidin trafik yükü, onarım hataları ve bakımsızlık olduğu gözlenmiştir. Köprülerin, özgün malzemesi ile uyumlu malzemeler kullanılarak onarılmaları, işlevini sürdürenlerde, trafik akışı, araç sayısı ve ağırlığı köprünün yapısal bütünlüğünü tehdit etmeyecek şekilde düzenlenmelidir. Ayaklarda birikintiye yol açan, yapıya fiziksel ve görsel hasar veren bitkiler temizlenmelidir. Köprünün silüetini, görünüşünü bozan, içerisinde bulunduğu tarihsel bütünlükten koparan her türlü yapı ve uygulamadan kaçınılmalıdır.

Bakım ve onarım çalışmalarında, güncel durumu belirleyecek dokümantasyon çalışmaları modern teknikler kullanılarak yapılmalı, yapının zemin ve malzeme özelliklerini belirleyecek testler gerçekleştirilmelidir. Çatlak, hasar ve bozulmalar için gerekli uzun süreli izlemeler yapılmalıdır. Elde edilen veriler, tarihsel araştırmalar sonucunda elde edilecek bilgiler ile birlikte değerlendirilerek yapıların risk analizleri yapılmalıdır. Onarım çalışmaları için analitik ve sayısal yöntemler birbirini destekleyecek şekilde kullanılmalıdır. Çalışmaya ek olarak tarihi yapıların analizinde kullanılan analitik ve sayısal yöntemler ile sağladıkları veriler bu kapsamda değerlendirilmiştir

Bu kapsamda, kemer ve köprü analizlerinde mevcut yapının güvenlik faktörünün belirlenmesinde itki çizgisi ve kinematik yöntemler uygulanabilmektedir. Hasar oluşum mekanizmalarının tahmininde ise sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemlerden faydalanılabilmektedir. Ancak sayısal modellerin yıkılma yükü veya köprü üzerinden geçebilecek araç yükünün belirlenmesinde kesin sonuçlar vermediği unutulmamalıdır. Hazırlanan modellerin mevcut durum ile uyumluluğu kontrol edilerek denemeler yapılmalı, modeller kurulurken malzeme dayanımı, birleşim detayları ve iç yapıya dair olabildiğince çok veri toplanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Troyano, L.F.**, 2003. Bridge Engineering – A Global Perspective, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, Spain
- [2] **Adam, J.P.**, 1999. Roman Building Materials and Techniques, Routledge, London
- [3] **Özkaraman, M.**, 1994. Anadolu Selçuklu Mimarisi'nde Kemerlerin Analitik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, FBE Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [4] **Çulpan, C.**, 2002. Türk Taş Köprüleri – Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.
- [5] **Karayolları Genel Müdürlüğü**, Tarihi Köprüler Şubesi Müdürlüğü, 2007 Faaliyet Raporu
- [6] **Tanyeli, G.**, 2006. Türkiye'nin Köprüleri, Koç Allianz Hayat Sigorta, İstanbul
- [7] **Marta, R.**, 1991. Roman Building Techniques, Edizioni Kappa, Roma
- [8] **Macdonald, W.L.**, 1986. Architecture Of The Roman Empire Vol II, Yale University Press, London
- [9] **Vitruvius, Çeviri : Güven, S.**, 1998. Mimarlık Üzerine On Kitap, YEM Yayın, İstanbul
- [10] **Ahunbay, Z.**, 1988. Mimar Sinan Yapılarında Kullanılan Yapım Teknikleri ve Malzeme, Mimarbaşı Koca Sinan Yaşadığı Çağ ve Eserleri, İstanbul
- [11] **Sert, H.**, 2007. Historical Konjic Bridge / Bosnia and Herzegovina, International Symposium Studies on Historical Heritage, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [12] **Batur, A.**, 1973. Osmanlı Camilerinde Kemer Strüktür-Biçim Üzerine Bir Deneme, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul
- [13] **Talat, A.**, 1923. Kagir İnşaat, Demiryolları Matbaası, İstanbul
- [14] **Ünay, A.İ.**, 1997. A Method for the Evaluation of the Ultimate Safety of Historical Masonry Structures, Doktora Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- [15] **Erguvanlı, K., Ahunbay, Z.**, 1989. Mimar Sinan'ın İstanbul'daki Eserlerinde Kullandığı Taşların Mühendislik Jeolojisi ve Mimari Özellikleri, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Sayı 11, sf. 109-114, İstanbul
- [16] **Akman, M.S., Güner, A., Aksoy, İ.H.**, 1986. Horasan Harcı ve Betonunun Tarihi ve Teknik Özellikleri, II. Uluslar arası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İ.T.Ü., 28 Nisan-2 Mayıs
- [17] **Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B.**, 2002. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri

- [18] **Ural, A., Oruç, Ş., Doğangün, A., Tuluk, Ö.İ.,** 2007. Turkish Historical Arch Bridges and Their Deteriorations and Failures, Science Direct, 26.Ocak.2007
- [19] **Mert, V., Sert, H., Akbulut, T.,** 2005. Türkiye’deki tarihi köprülerin onarımı, Korumada 50 Yıl Sempozyumu, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul,17-18 Kasım.
- [20] **Yanmaz, A.M.,** 2002. Yıkılan Akarsu Köprüleri Üzerine Görüşler, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 420-421-422, sf. 137-141
- [21] **Rota, M.,** 2004. Seismic Vulnerability of Masonry Arch Bridge Walls, Yüksek Lisans Tezi, Pavia Üniversitesi
- [22] **Bozkurt, O.,** 1951. Koca Sinan’ın Köprüleri, Doçentlik Tezi, III.Bina Bilgisi Kürsüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [23] **Çeçen,K.,** 1988. Sinan’ın Yaptığı Köprüler, Mimarbaşı Koca Sinan’ın Yaşadığı Çağ ve Eserleri, Editör Bayram, S., Dizergonca Matbaası, İstanbul
- [24] **Sai, 1310,** Tezkiret’ül Bünyan,İkdam Matbaası,İstanbul
- [25] **Aarun, G.,** 2006., Behaviour of Masonry vaults and domes : geometrical considerations, Structural Analysis of Historical Constructions, New Delphi
- [26] **Feilden, B.M.,** 1982, Conservation of Historic Buildings,Butterworth Scientific, London
- [27] **Roca, P.,** 2007. Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage, Universitat Politcnica de Catalunya, Barcelona, Spain
- [28] **Huerta S.,** 2001. Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach, Escuela T. S. de Arquitectura. Departamento de Estructuras, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
- [29] **O'dwyer, D.,** 1998. Funicular analysis of masonry vaults, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, Trinity College, Dublin
- [30] **Vermeltfoort A.T.,** 2001. Analysis and experiments of masonry arches, Historical Constructions (P.B. Lourenço, P. Roca) (Eds.), Guimaraes
- [31] **Block P.,** 2005. Equilibrium systems Studies in Masonry Structure, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Massachusetts Institute of Technology, June 2005
- [32] **Boothby, T.E., Anderson, A.K.,** The Masonry Arch Considered, Journal of Architectural Engineering
- [33] **Heyman,J.,** 1995., The Stone Skeleton : Structural Engineering of Masonry Failure Analysis of Masonry Arch Bridges, Journal of Structural Architecture, Cambridge University Press, Cambridge)(Loo,Y.,Yang,Y.,1990., Cracking and Engineering,Vol 117, No:6, June 1991.
- [34] **Chandrupatla,T.R.,Belegundu,A.D.,** 1991. Introduction to Finite Elements in Engineering,Prentice Hall,New Jersey

- [35] **Teomete,E.**, 2004. Finite Element Modelling of Historical Masonry Structures;Case Study: Urla Kamanlı Mosque,Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü,İzmir
- [36] **Toker, S., Ünay, A.İ.**, 2004. Kemerli Taş Köprülerin Matematiksel Çözümlemesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı :17, sf. 129-139
- [37] **Toker, S.**, 2000. Development of Arch Form; Exploring the Behaviour of Masonry Arches and Arch Bridges by Finite Element Analysis, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara