



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)  
URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

## Geçmişten Günümüze Kemer Köprüler

*Arhc Bridges From Past To Present*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Mehmet TANRIVERDİ<sup>1</sup>, M.Arif GÜREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID ID: 0000-0001-9264-1590

<sup>2</sup>ORCID ID: 0000-0002-1046-4410

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Tanrıverdi M., Gürel M.A., "Geçmişten Günümüze Kemer Köprüler", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3): 156-167, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



## Geçmişten Günümüze Kemer Köprüler

Mehmet TANRIVERDİ<sup>1</sup>, M. Arif GÜREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA

### Makale Bilgisi

Başvuru:16/04/2019

Düzeltilme: 19/06/2019

Kabul:19/07/2019

### Anahtar Kelimeler

Kemer

Kemer köprüler

Konsol uzatımı yöntemi

### Keywords

Arch

Arch bridge

Cantilever extension  
method

### Öz

Köprüler ulaşım sistemleri üzerindeki hayati yapılardır. Farklı köprü türleri olup, kemer köprüler bunların en eskisidir. Bu çalışmada kemer köprülerin geçmişten günümüze gelişimi ve geleceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Giriş kısmında çalışmada yapılacaklar özetlenmiş, ikinci bölümde çalışmanın konusu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Üçüncü bölümde kemerin tanımı verilip, eksenlerine ve malzemelerine göre kemer köprüler incelenmiştir. Ayrıca kemer köprülerin avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş, günümüzde yaygın olarak kullanılan kemer köprü yapım tekniklerinden olan "konsol uzatımı" yöntemi ele alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler son bölümde sunulmuştur.

### Arch Bridges From Past To Present

### Abstract

Bridges are crucial structures on transportation systems. There are various bridge types, and arch bridges are the oldest ones. In this study, the development of arch bridges from past to present, and future of them have been discussed. In the introduction chapter, the program of the study has been pointed out and in the second chapter previous works related to the study scanned. In the third chapter, definition of the arch has been given and arch bridges investigated according to their materials. Moreover, advantages and disadvantages of the arch bridges have been discussed and "cantilever extension method" which an extensively used method for the construction of arch bridges in nowadays. Conclusions obtained from the study and recommendations have been presented in the last chapter.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Köprüler tüm insanlık tarihindeki en önemli yapılar arasındadır. Ulaşım sistemleri üzerinde bu tür yapılar zorunlu olarak inşa edilmişlerdir. Nehirlerin, boğazların ya da vadilerin geçilmesi gerektiği durumlarda bu yapılar tarih boyunca inşa edilmiştir. Köprüler çoğu zaman geçişi sağlarken yolun da kısaltılmasına olanak sağlamıştır.

İnsanoğlunun kullandığı ilk malzemeler ahşap, taş, kerpiç ve tuğladır. Ahşap malzemenin her yerde yeterince bulunamaması ve bu malzemenin özellikle atmosferik şartlara dayanıklı olmaması nedeniyle köprülerde kullanımı genel olarak sınırlı olmuştur. Diğer yandan kerpicin dayanımının düşük olması bu malzemenin de köprü yapılarında kullanımını pratik olarak devre dışı bırakmıştır. Dolayısıyla geriye sadece taş ve tuğla malzemeler köprü yapıları için yaygın bir şekilde kullanılmış olan malzemeler olarak kalmıştır.

Taş ve tuğla gevrek yapılı; yani basınç dayanımları iyi, buna karşılık çekme dayanımları oldukça düşük malzemelerdir. Bu yüzden bu malzemelerle açıklıkların, özellikle büyük açıklıkların düz olarak geçilmesi mümkün olmamıştır. Çünkü düz bir yapı elemanında, yani kirişte kendi ağırlığı ve düşey yükler etkisiyle

kesitlerin üst bölümlerinde basınç gerilmeleri oluşurken, alt bölümlerinde çekme gerilmeleri meydana gelir. Çekme gerilmelerinin taş ve tuğlanın düşük olan çekme dayanımları tarafından karşılanması birçok durumda mümkün olmaz. Bundan dolayı insanoğlu düşünüp köprüler gibi çoğunlukla büyük açıklıklara sahip yapıları inşa edebilmek için yeni bir form geliştirmiştir. Bu form bin yıllardır başarıyla ve etkin olarak kullanılmış olan "kemer" formudur. Kemer yalnızca köprülerde değil bina türü yapılarda da yaygın olarak kullanılmıştır. Sıradan bina türü yapılarda kullanıldığı gibi camiler ve katedraller gibi anıtsal yapılarda da uygulanmıştır. Kemerler günümüzde de birçok yapıda; köprülerde, kemer barajlarda, endüstriyel, ticari ve sosyal binalarda güvenle kullanılmakta olan estetik taşıyıcı elemanlardır.

Çelik malzemeye ve üretilen lifli kompozitler, nano teknoloji ile üretilen malzemeler gibi diğer modern inşaat malzemelerine rağmen, kemer formu yapılarımızdaki yerini ve önemini korumaya devam etmektedir. Bu form insanlık tarafından öyle benimsenmiştir ki geçmişte zorunluluktan başvurulmuş olmasına karşılık, günümüzde estetiğinden dolayı vazgeçilemeyenler arasında yerini korumaktadır. Taş ve tuğla malzemeler, yani yığma malzemeler ile geçmişte inşa edilmiş olan kemer köprüler günümüzde diğer köprü türleri ile birlikte betonarme ve çelik malzemeler kullanılarak inşa edilmeye devam edilmektedir. Öyle görünüyor ki insanlık gelecekte de dünyanın çeşitli yerlerinde kemer köprüleri inşa edip kullanacaktır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR (PREVIOUS WORKS)

Kemer köprüler konusundaki literatür çok geniştir. Bu konuda yazılmış Türkçe ve yabancı dillerde kitaplar, araştırma makaleleri ve yapılmış çok sayıda tez çalışması mevcuttur. Bu bölümde sözü edilen bu çalışmalardan en ilgili görülerek seçilenlerden bahsedilecektir.

Çulpan, (2002), Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar "Türk Taş Köprüleri"ni ele aldığı kapsamlı bir çalışma yapmıştır [1]. İltter (1978), "Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri" başlığını taşıyan çok ayrıntılı bir çalışma yapmıştır [2]. Heyman (1982), "The Masonry Arch" başlıklı kitabında dikdörtgen kesitler için orta üçte bir kuralı ve plastik teoremler ile başlayıp, yığma kemerlerle ilgili tarihi notlarla devam ederek, bu kemerlerin dayanımını incelemiş ve pratik örnekler vermiştir. Bu çalışma literatürde yığma kemerlerin modern yöntemlerle incelenmesi konusundaki kilometre taşlarından biri olarak görülmektedir [3].

Page (1993), yığma kemer köprüler konusunda bilgi düzeyinin ulaştığı en son durumu özetlemiştir [4]. Proske ve Gelder (2009), tarihi taş kemer köprülerin güvenlikleri üzerinde "Safety of Historical Stone Arch Bridges" başlıklı çok ayrıntılı bir kitap hazırlamışlardır [5].

Miser ve ark. (1923), Amerika Birleşik Devletlerinin Utah eyaletindeki doğal kemerlerden biri olan Rainbow (Gökkuşağı) Kemerini (köprü olarak da belirtilmektedir) ele almışlardır. Çalışmalarında kumtaşından zarif ve oldukça büyük bir kemer olan bu kemerin keşfi, boyutları ve oluşumu üzerinde durmuşlardır [6].

Burke (1989), köprü tasarımı ve köprü estetiği bibliyografyası üzerine oldukça faydalı bir çalışma yapmıştır [7].

O'Connor (1994), Roma taş kemer köprülerinin gelişimini ele almıştır. Hepsi dikkate alındığında 300'den fazla olduğu belirtilen önemli Roma taş kemer köprülerini tarih yanında en büyük açıklık, toplam uzunluk ve yükseklik cinsinden sınıflandırmıştır. Çalışmasına göre Roma taş kemer köprüleri için M.Ö. 1. yüzyıl ve M.S. 2. yüzyılın ilk yarısı olmak üzere iki ana yapım periyodu belirtmiştir [8].

Clemente ve ark. (1995) ve Heyman'ın (1982) yığma kemerlerin hesabı için önerdiği esasları hem ölü hem de hareketli yükler etkisindeki taş kemer köprülerin sınır davranışını ve göçme mekanizmalarını belirlemek için kullanmışlardır [9] [3].

Boothby ve ark. (1998), yığma kemer köprülerin kamyon yükü altında servis yükü deneyini gerçekleştirmiş ve ayrıca bir sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir [10].

Clemente (1998), "Introduction to Dynamics of Stone Arches" başlıklı makalesiyle taş kemerlerin verilen bir yatay zemin ivmesi altında dinamik davranışlarını incelemiştir [11].

Brencich ve Morbiducci (2007), yağma kemerler için tarihi tasarım kurallarından ve modern hesap yöntemlerinden bahsettikleri ayrıntılı bir çalışma yapmışlardır [12].

Ural ve ark. (2008), Türk tarihi kemer köprülerinin mimari ve mühendislik özelliklerini ele almışlardır. Bu köprülerde çeşitli nedenlerden kaynaklanmış olan bozulmalar ve hasarları belirtmişlerdir [13].

Tang (2014), eski ve modern kemer köprüleri ele aldığı "The art of arches" başlıklı, öz ancak oldukça faydalı bir makale çalışması yapmıştır. Özellikle çelik malzeme kullanılarak estetik açıdan ne kadar güzel ve aynı zamanda işlevsel kemer köprüler yapılabildiğini örneklerle anlatmıştır [14].

Clemente and Saitta (2017), yağma kemer köprülerinin malzemelerinin çekme dayanımı olmayan, basınç dayanımları ise sınırlı malzemeler olarak alınmaları durumu için analizlerini yapmışlardır [15].

Akca (2009), yüksek lisans tez çalışmasında dört adet çelik kemer yaya köprüsünün bilgisayar destekli analiz, analiz sonuçlarına göre de tasarımlarını yapmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre modellerinin birbirleriyle kıyaslamasını da yapmıştır [16].

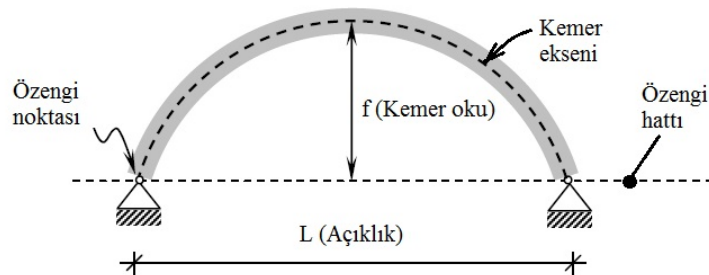
Shirzad Rezaei (2010), yüksek lisans tez çalışmasında İran'daki bir demir yolu köprüsü olan beş açıklıklı Akberabad beton kemer köprüsünü ele almıştır. Yarım asırdan fazla hizmet vermiş olan köprü'nün bazı kısımlarında hasarlar meydana geldiği başka araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Çalışmada öncelikle köprü'nün SAP2000'de modelini oluşturmuştur. Yapılan hesaplarla köprü'nün gerilme ve yer değiştirme büyüklüklerini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar köprü'nün mevcut hasar durumuyla karşılaştırılmıştır [17].

Kurt (2016), yüksek lisans tez çalışmasında, öncelikle tarihi taş kemer köprüleri hakkında genel bilgiler vermiştir. Çalışmada esas olarak Ordu İli Ulubey İlçesinde bulunan Sarpdere Tarihi Taş Kemer Köprüsünü ele almıştır. Köprü'nün laboratuvarında 1/12.5 ölçekli modeli oluşturulmuştur. Model çevresel titreşime maruz bırakılıp dinamik özellikleri belirlenmiş ve bunlar ANSYS programıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney ve hesap sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür [18].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

#### 3.1. Kemerin tanımı (Definition of arch)

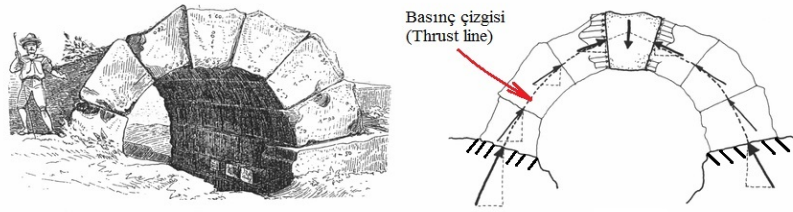
Üzerine gelen yükleri kesitlerinde oluşan tamamen basınç veya büyük ölçüde basınç gerilmeleri ile taşıyıp mesnetlerine ileten eğri eksenli taşıyıcı elemanlara "kemer" adı verilir, (Şekil 3.1). "İlkel kemerler (primitive arches)" bir kapı ya da pencere boşluğunun üzerini geçmek için iki eğik taştan oluşan lentolar şeklinde ortaya çıkmıştır. Daha sonra iki taraftan gelen taşların birbiri üzerinde belirli miktarda çıkıntı yaparak tepede buluştuğu "bindirmeli kemerler (corbelled arches)" inşa edilmiştir.



Şekil 3.1. Tipik bir kemer örneği [19]

Gerçek kemerler milattan önce 1400'lü yıllarda görülmeye başlanmıştır. Bunlar kama şekilli (wedge shaped) ve kemer taşı (voussoir) olarak adlandırılan taş veya tuğlaların bir yarım çember oluşturacak şekilde düzenlenmesiyle inşa edilmişlerdir. Bunların bilinen ilk örneği Mezopotamya'da kurulmuş olan Ur Şehri'nde 0.8 m açıklığı geçen küçük bir kemer olmasına karşılık, bu formun yani kemer formunun büyük mesafeleri geçme potansiyeli kısa sürede fark edilmiştir [20].

Bir kemerde taşınan yüklerin kemer kesitlerinde oluşturduğu basınç gerilmelerinin bileşkesinin kemer boyunca izlediği yörüngeye "basınç (itki) çizgisi" adı verilir. Şekil 3.2'de kendi ağırlığı etkisinde olan bir yığma kemerde itki çizgisi görülmektedir. İtki çizgisi sabit yükler altında değişmez bir çizgi iken, hareketli yükler söz konusu olduğunda yüklerin konumuna bağlı olarak bu çizgi de değişime uğrar. Yığma kemerlerde itki çizgisinin kemer kesitinin çekirdek bölgesi içinde kalması önemlidir. Çünkü ancak bu sayede kesitlerde yalnızca basınç gerilmeleri meydana gelir.



Şekil 3.2. Bir kemerde basınç (itki) çizgisi [21]

### 3.2. Geometrilerine göre kemerler (Arches according to their geometry)

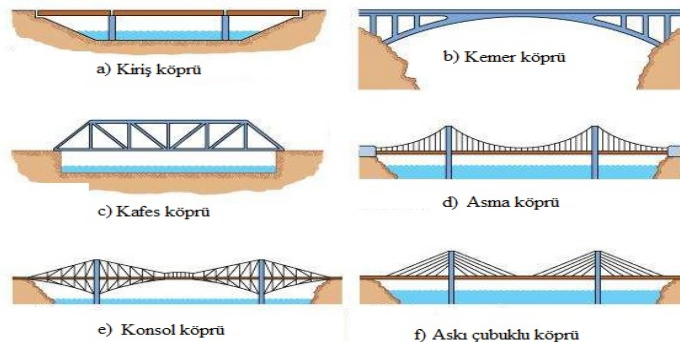
Tarih boyunca insanoğlu dünyanın çeşitli yerlerinde farklı geometrilere sahip kemerler inşa etmiştir. Günümüzde inşa edilen çelik ve betonarme kemer köprüler çoğunlukla daire eksenli olmakla birlikte, başka eksen şekline sahip kemerler ve köprüler de inşa edilmektedir. Dairesel, parabolik, elips eksenli, sepet kulpu eksenli, sivri ve at nalı şekilli kemerler en çok rastlanan kemer tipleridir.

### 3.3. Kemerlerde yükler (Loads acting on arches)

Kemer köprülere etkiyen yükler; sabit yükler, hareketli yükler, deprem yükleri ve rüzgâr yükleri olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca sıcaklık değişimleri ve bazı durumlarda kar yükleri de özellikle boyutları büyük köprüler için önemli etkiler arasındadır.

### 3.4. Köprü Türleri (Types of bridges)

Dünyanın çeşitli yerlerinde ulaşım sistemleri üzerinde farklı türlerde köprüler inşa edilmektedir. Köprü tipinin seçimini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunların başlıcaları; açıklık, yani geçilecek mesafe, işlev (fonksiyon), maliyet, çevreyle uyum ve işletmeye açılacak tarih (inşaat için ayrılacak süre) olarak belirtilebilir. Köprü türleri Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Köprü türleri [22]

### 3.5. Malzemelerine göre kemer köprüler (Arch bridges according to their material)

Eski tarihlerde yığma (taş ve tuğla) kemer köprülerin yapılmasıyla başlayarak günümüz modern köprülerine kadar olan serüvende birçok kemer köprü inşa edilmiştir. Bu köprülerin çoğu yapıldığı tarih itibariyle enleri (en büyük açıklığa sahip olma, en yüksek olma gibi) taşımakta ve eksen eğrilerinin duruma uygun seçilmiş olması gibi mekanik yönden mükemmel özellikleri sayesinde kusursuz şekilde hizmet etmeye devam etmektedirler. Malzemelerine göre açıklığı en büyük olan kemer köprülere örnekler Tablo.1'de verilmiştir.

**Tablo1.** Dünyada farklı malzemelerden inşa edilmiş en büyük kemer açıklığına sahip kemer köprülere örnekler [1],[27]

| Malzeme                                  | Köprünün adı ve açılış yılı | Köprünün konumu      | Kemer açıklığı |
|--|-----------------------------|----------------------|----------------|
| Yığma                                    | Malabadi Köprüsü-1147       | Diyarbakır / Türkiye | 40 metre       |
| Betonarme                                | Qinglong Köprüsü-2016       | Guizhou / Çin        | 445 metre      |
| CFTS (Betonla doldurulmuş çelik borular) | Bosideng Köprüsü-2012       | Sichuan / Çin        | 530 metre      |
| Çelik                                    | Chaotianmen Köprüsü-2009    | Çongçing / Çin       | 552 metre      |

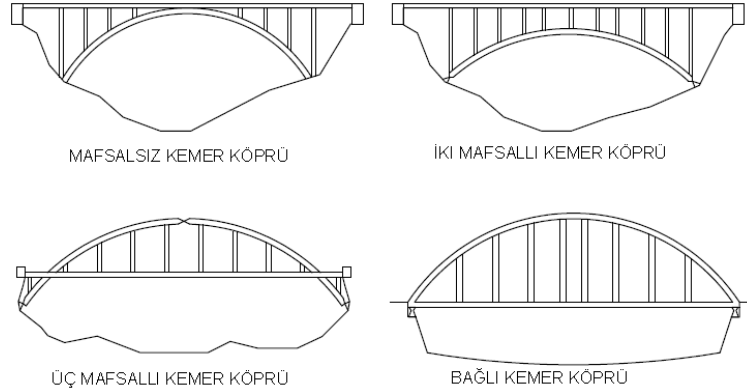
Yapısal özelliklerine göre kemer köprüler genelde dört gruba ayrılır. Bunlar;

–mafsalsız (mesnetleri ankastre ve ara mafsallı olmayan),

–iki mafsallı (mesnetleri sabit ve ara mafsallı olmayan),

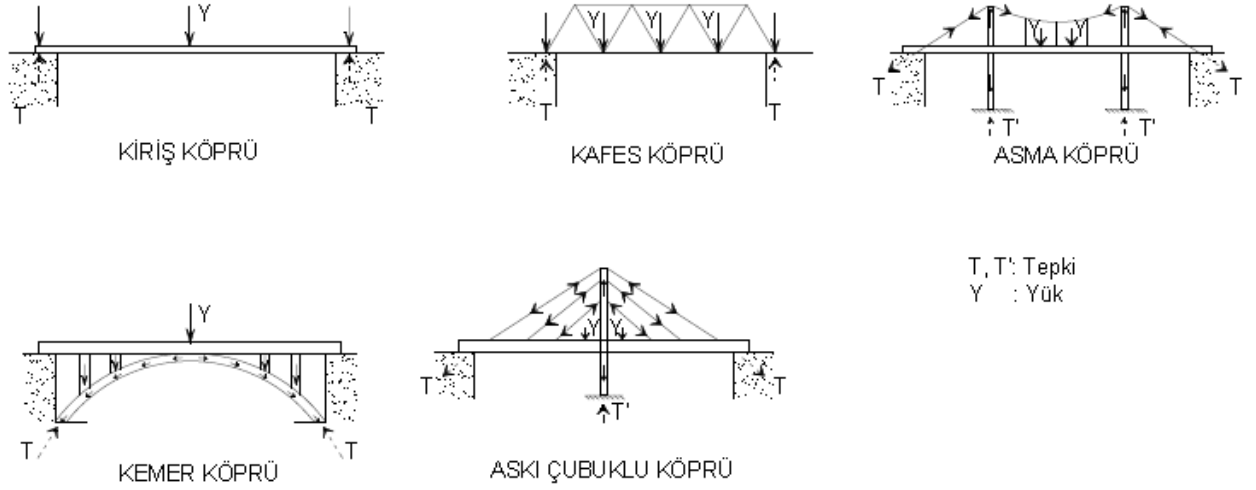
–üç mafsallı (mesnetleri sabit ve bir ara mafsallı olan) ve

–elastik bağlı (mesnetli) (mesnetleri elastik çöken + elastik dönen tarzda olan) kemer köprüler şeklindedir. Şekil 3.4'de yapısal özelliklerine göre kemer köprülerin şekilleri verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Yapısal özelliklerine göre kemer köprüler [29]

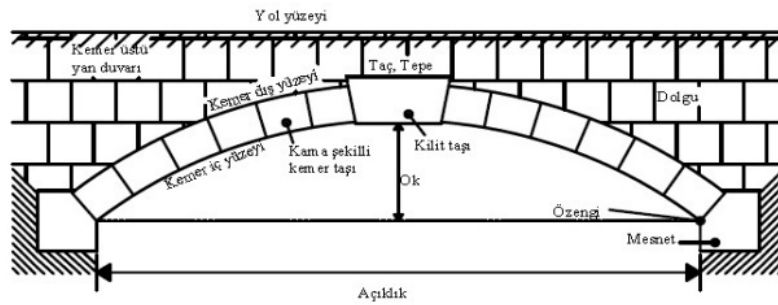
Kemerler düşey reaksiyonların yanı sıra, yatay reaksiyonlar tarafından da desteklenen yapılardır. Yatay reaksiyonlar belirgin bir itme uygulayacak kapasitede olmalıdır. Eğer bu olmazsa kemer eğik kiriş gibi davranır. Eğik kirişlerde büyük eğilme momentleri oluşurken, kemerlerde oluşan eğilme momentleri genel olarak çok küçüktür. Yatay itmeler düşey reaksiyonların oluşturduğu momentlerin karşılanmasını sağlar. Bu durum kemer köprüleri diğer köprülerden ayıran bir özelliktir. Şekil 3.5'de çeşitli köprü tiplerinde yüklerin mesnetlere iletme biçimi gösterilmiştir [28].



Şekil 3.5. Köprü tiplerine göre yüklerin mesnetlere iletirme şekli

### 3.5.1. Yığma kemer köprüler (Masonry arch bridges)

İnsanoğlunun çeşitli yapılar oluşturmada ilk kullandığı malzemeler ahşabın yanında taş ve tuğladır. Taş tuğlaya göre genel olarak dayanım ve dayanıklılığı açısından daha üstün bir malzemedir. Bununla birlikte çeşitli şekil ve kalitede tuğlalar tarih boyunca dünyanın birçok yerinde üretilip birçok değişik yapıda kullanılmıştır. Ancak hem taş hem de tuğla malzemenin önemli bir yetersizliği de düşük çekme dayanımıdır. Bu yetersizlik insanoğlunun açıklıkları, özellikle nehirlerin geçilmesi esnasında söz konusu olan büyük açıklıkları düz olarak geçmede sorun çıkarmıştır. Düz bir elemanda zati ağırlık ve taşınan düşey yükler neticesinde kesitlerde oluşan eğilme momentleri elemanın alt bölümünde çekme gerilmeleri, üstte ise basınç gerilmeleri doğurur. Basınç açısından genel olarak bir sorun söz konusu olmaz. Buna karşılık çekme gerilmeleri eleman malzemesinin çekme dayanımından büyük olduğunda çatlaklar ve sonuçta göçme olayı meydana gelir. Bu olumsuzluktan dolayı ortaya çıkan uygun form (uygun şekil) arayışı "kemer" formunun keşfi ile neticelenmiştir. Bir yığma kemer köprünün bölümleri Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Bir yığma kemer köprünün bölümleri

Dünyanın çeşitli yerlerinde birçok yığma kemer köprü bulunmaktadır. Anadolu'da da Romalılar, Selçuklular ve Osmanlıların inşa ettiği yığma kemer köprüler mevcuttur. Diyarbakır Dicle köprüsü, Malabadi köprüsü, Cendere köprüsü ve Taş köprü (Seyhan, Adana) bunların en değerli olanlarıdır.

### 3.5.2. Betonarme kemer köprüler (Reinforced concrete arch bridges)

1850'lerde, Sanayi Devrimi ile birlikte iki önemli gelişme olmuştur: demirin endüstriyel üretimi ve demiryollarının yaygınlaşması. Bu durum betonarme kemer köprülerin de inşa edilip yaygınlaşmasını sağlamıştır. Gittikçe artan ivme ve açıklıklarla dünyanın çeşitli yerlerinde betonarme kemer köprüler inşa

edilmiştir. Bu durum günümüzde de devam etmektedir. Şekil 3.7'de görülen ABD'deki Hoover Barajı Köprüsü betonarme kemer köprülere verilebilecek güzel bir örnektir.



*Şekil 3.7. Hoover Dam Köprüsü, Nevada, ABD, [23]*

Ülkemizde Cumhuriyetten sonra betonarme kemer köprüler yaygınlaşmaya başlamıştır. Adagide Köprüsü (İzmir) bunlardan ilkidir.

### 3.5.3. Çelik kemer köprüler (Steel arch bridges)

Çelik kemer köprüler genel olarak ancak 1800'lerin sonlarından itibaren inşa edilmiştir. Çelik kemerler esnek form seçenekleri, dayanımları ve maliyet açısından makul olmaları nedeniyle dünyada yaygın olarak kabul görmüştür. Çelik kemer köprülerin tasarımı ve inşaatı alanında dünya çapında pek çok başarılı örnek ortaya konmuştur. Şekil 3.8'de görülen Avustralya'nın Sydney şehrindeki Sydney Liman Köprüsü çelik kemer köprülerin en güzel örneklerinden biridir.



*Şekil 3.8. Sydney Limanı Köprüsü Sydney / Avustralya, [24]*

Ülkemizde çelik kemer köprüler oldukça sınırlı sayıda. Kars Çamçavuş Köprüsü ve Ankara Dikmen Vadi Köprüsü bu az sayıda köprülerden ikisidir.



### 3.6. Kemer köprülerin avantajları, dezavantajları ve kemer köprülerin geleceği (Advantages and disadvantages of arch bridges and their future)

Kemer köprüler, insanoğlunun yığma malzeme ile başlayıp daha sonra çelik ve betonarme ile inşa etmeye devam ettiği önemli mühendislik yapılarıdır. Her yapı türünün olduğu gibi kemer köprülerin de avantajlı ve dezavantajlı oldukları belirtilebilecek yönleri vardır. Bu kısımda öz olarak bunlardan bahsedilmiştir.

#### 3.6.1. Kemer köprülerin avantajları (Advantages of arch bridges)

Tarihi kemer köprülerde, bir kemerle geçilebilen açıklıklar tuğla malzemele çok büyük olmasa da, taş ile hatırı sayılır açıklıklar geçilebilmiştir. Son 100 – 150 yılda, yapı malzemesinin değişimine bağlı olarak çok büyük açıklıklı kemer köprüler inşa edilebilmiş ve edilmeye devam edilmektedir. Kemer köprüleri modern köprü türleri ile rekabet eden kılan bu durum, yani büyük açıklıkları geçebilme, kemer köprülerin en başta belirtilebilecek avantajlarından biridir.

Kemer köprüler estetik yapılarıdır. Kemer formunun ve dolayısıyla kemer köprülerin güzel görünmediğini ifade eden pek kimse olmamıştır. Bu gayet doğal bir durumdur. Çünkü kemer köprüler köşeleri ve göze batan sivrilikleri olmayan, eğrisel ve dolayısıyla tabiatla doğal bir uyum sergileyen yapılarıdır. Gökkuşağını andıran şekilleri bu köprüleri doğal olarak güzel göstermektedir.

Kemer köprüler basınç dayanımı iyi düzeyde olan malzemelerle inşa edilebilmektedir. Günümüzde betonarme ve çelik ile inşa edilirlikleri devam eden bu köprüler geçmişte taş ve tuğla malzemeler kullanılarak inşa edilebilmiştir.

Periyodik bakımlarının ve gerekli oldukça onarımlarının yapılması koşuluyla, kemer köprüler uzun ömürlü yapılarıdır. Bu köprüler basınca yönelik tasarlandığından, kendi ağırlıkları ve taşınan yükler sade ve açık bir şekilde temele iletilirler.

Çelik kemer köprüler çok az iskele-kalıp gereksinimiyle inşa edilebilmektedir. Günümüzde betonarme kemer köprüler için ise geliştirilen yeni inşaat teknikleri ile ilk betonarme kemer köprülerde kullanılmış olan ve önemli bir maliyete yol açan iskele-kalıp gereksinimi minimum düzeylere düşürülebilmektedir. İki taraftan konsol uzatımı tekniği ile betonarme kemer köprüler çok pratik bir şekilde günümüzde inşa edilebilmektedir. Örneğin Şekil 3.9'da İsviçre'de bu teknikle inşa edilen Tamina betonarme kemer köprüsünün yapım aşamasından bir fotoğraf görülmektedir.



*Şekil 3.9. Tamina betonarme kemer köprüsünün (İsviçre) kemerinin konsol uzatımı tekniği kullanılarak tamamlanmak üzere olan hali, [25]*

Çelik ve betonarme malzemeler ile kemer köprüler büyük açıklıklı olarak inşa edilebilmektedir. Bu durum kemer köprülerin günümüzde de asma köprüler ve askı çubuklu köprülerde olduğu gibi büyük açıklıkların geçilebilmesine olanak sağlar. Bu yüzden dünyanın birçok ülkesinde günümüzde büyük

açıklıklı betonarme ve çelik kemer köprülerin inşasına devam edilmektedir. Şekil 3.10'da Çin'deki Daxiaojing çelik kemer köprüsünün inşaatından bir aşama görülmektedir.

Çelik ve betonarme kemer köprüler genel olarak hızlı bir şekilde inşa edilebilmektedir. Bu durum günümüz dünyasında önemli avantajlardandır.



*Şekil 3.10. Daxiaojing Köprüsü (Çin) çelik kemerinin konsol uzatımı tekniği ile yapımı [26]*

### **3.6.2. Kemer köprülerin dezavantajları (Disadvantages of archbridges)**

Yığma kemer köprülerin inşası tabii ki boyutlarına da bağlı olarak önemli miktarda malzeme sarfiyatı, işçilik, iskele-kalıp ve zaman gerektirir. Ayrıca yığma kemer köprüler genel olarak ağır yapılardır. Bu durum köprü'nün mesnetlerine doğru basınç gerilmelerinin büyümesine neden olur. Dolayısıyla yığma kemer köprülerde açıklık genel olarak sınırlı düzeylerde kalır.

Günümüzdeki popüler inşaat malzemeleri olan çelik ve betonarme ucuz malzemeler değildir. Dolayısıyla, özellikle büyük kemer köprülerin inşasında önemli maliyetler ortaya çıkar. Bu durum tabii ki sadece kemer köprülere özel bir durum değildir. Bundan dolayı yapılacak köprü tipine karar verilirken, diğer faktörlerin yanında köprü maliyeti de, olası köprü tiplerinin maliyetleri arasında karşılaştırmalı etütler yapılarak dikkatle göz önüne alınmalıdır.

Her çeşit yapıda olduğu gibi kemer köprüler de periyodik olarak bakım ve onarım gerektirir. Bu yapıların atmosferik şartlara doğrudan açık olmaları yüzünden bakımları özellikle önemlidir. Bakım ve onarım işlerinin ise bir maliyet gerektirdiği açıktır.

### **3.6.3 Kemer köprülerin geleceği (Future of arch bridges)**

20. ve 21. yüzyıllarda yapılan köprülerin malzemeleri genel olarak betonarme ve çeliktir. Köprülerin bu malzemelerle yapılmasının başlıca nedeni geçilmesi gereken büyük açıklıklar ile taşınması gereken ağır yüklerdir. Diğer bir deyişle, günümüz köprülerinde düşünülen ana unsur dayanımdır. Ancak maliyet ve estetik köprü tasarımındaki diğer önemli iki faktördür.

Estetik faktörü günümüzde daha da önemli görülmektedir. Bu bağlamda doğal olarak güzel olan formlarından dolayı kemer köprüler kesinlikle tercih edilmesi gereken köprü tipleri arasında olmalıdır. Dünyanın bazı ülkeleri inşa ettikleri köprülerde bir çeşitlilik oluşturmayı başarmışlardır. Büyük açıklıkları geçmek için asma ve askı çubuklu köprüler inşa ederken, kemer köprüleri de betonarme ve çelik malzemelerle inşa etmeye devam etmektedirler. Ancak aynı durumu ülkemiz için maalesef söyleyememekteyiz. Kemer köprüler ülkemizde yeni köprülerin inşasında neredeyse devre dışı bırakılmış durumdadır. Yüksek kuleleri ile tabiatla uyumlu olmayan asma ve askı çubuklu köprüler yapılırken, hiç değilse makul açıklıklarda kemer köprülerin tercih edilmemesi ve tabiatla uyumlu eğrisel estetiklerinden yararlanılmanın bırakılması üzücü bir durumdur. Eskiden taş ve tuğla gibi çekme dayanımı düşük

malzemelerle büyük açıklıkların geçilmesindeki tek seçenek olan kemer köprülerin günümüzde betonarme ve çelik malzemeler kullanılarak ülkemizde de inşa edilmeye devam edilmesi ümit edilen bir durumdur.

Günümüzdeki modern inşaat teknikleriyle betonarme ve çelik kemer köprülerin inşası geçmişe göre çok daha ekonomik ve pratik bir şekilde yapılabilmektedir. Örneğin geçmişte betonarme bir kemer köprüünün kemerinin yapımı için önemli bir maliyet oluşturan iskele ve kalıp sistemi kullanılırdı. Ancak günümüzde özellikle iki taraftan "konsol uzatımı yöntemi" uygulanarak iskele ve büyük ölçekli kalıba ihtiyaç duyulmadan bu köprüler yapılabilmektedir (Şekil 3.8). Aynı yöntem çelik kemer köprülerde de uygulanabilmektedir (Şekil 3.9).

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada literatürdeki birçok kaynaktan yararlanılarak geçmişten günümüze kemer köprüler belirli bir çerçevede incelenmeye çalışılmıştır. Bunun sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Kemer formu insanlık tarihinde sadece binalarda değil kemer köprülerde de en etkili ve sık kullanılan bir formdur. Çelik gibi çekme dayanımı yüksek bir malzemenin yoğun üretiminden önceki zamanlarda elde mevcut taş ve tuğla gibi gevrek malzemeler kullanılarak açıklıkların geçilebilmesi için zorunluluk olmuş bir formdur.
- 2) İnsanlık dünyanın değişik yerlerinde tarih boyunca ulaşım sistemleri üzerindeki kritik bölgeleri geçmede hemen her zaman kemer köprüleri inşa etme yoluna gitmiştir.
- 3) Kemer köprülerin eğrisel formları, yüksek dayanım yanında gökkuşağını andıran ve bu yüzden de gayet doğal ve tabiatla uyumlu bir estetik güzellik sağlamaktadır. Estetik üstünlükleri günümüzün modern köprülerini bile genel olarak geride bırakan düzeydedir.
- 4) Her köprü türü gibi kemer köprüler de hem avantajlı hem de dezavantajlı yönleri sahiptirler. Örneğin taş bir kemer köprüünün ağırlığı ve işçilik giderleri dezavantajlı yönleri iken, uzun ömürlü olması ve estetik güzelliği onun avantajlı yönleri arasındadır.
- 5) Günümüzün inşaat teknikleriyle yapılan betonarme ve çelik kemer köprüler ile büyük açıklıklar gayet rahat geçilebilmektedir. Konsol uzatımı yöntemi iskele-kalıp maliyetlerini en aza indiren, hızlı inşaatı sağlayan modern yöntemlerin başında gelmektedir.
- 6) ABD, çeşitli Avrupa ülkeleri ve Çin başta olmak üzere dünyanın çeşitli ülkeleri betonarme ve çelik malzemelerle kemer köprüler inşa etmeye devam etmektedir. Ancak ülkemizde durum maalesef böyle değildir. Bu sorgulanması gereken bir durumdur. Çünkü bin yıllardır inşa edilen ve belirtildiği gibi dünyada hala inşa edilmeye devam edilen bu kemer köprülerin ülkemizde neredeyse terk edilmiş olması üzücü bir durumdur. Hâlbuki bu köprüler, Cumhuriyetin ilanından itibaren belirli ve çok da uzak olmayan bir zamana kadar ülkemizde de inşa edilmekteydi.
- 7) Gelecek nesillerin geçmişin yapı mirasını saygıyla koruyup, yenilerini de kendisi ekleyerek daha sonraki nesillere aktarması görevinde kemer formu ve bu forma dayanan kemer köprüler asla unutulmaması gereken unsurlardır.
- 8) Ülkemizdeki inşaat mühendisliği eğitiminde Statik ve Yapı Statiği derslerinde müfredat içerisinde kemerler de mutlaka incelenmelidir. Bu yeni yetişen mühendis ve mimarların kemer köprülere daha sıcak bakmasında oldukça etkili olacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmayı hazırlamamda bana katkı sunan kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Arif GÜREL'e minnetlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Çulpan, C., Türk Taş Köprüleri, Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, 2002.
- [2] İlter, F., Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri. Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:244, Ankara, 1978.
- [3] Heyman, J., The Masonry Arch, Ellis Horwood Limited, England, 1982.
- [4] Page, J., Masonry Arch Bridges, State of the Art Review, Transport Research Laboratory, Department of Transport, England, 1993.
- [5] Proske, D., and Gelder, P. V., Safety of Historical Stone Arch Bridges, Springer-Verlag Berlin, Germany, 2009.
- [6] Miser, H. D., Trimble, K. W. And Paige, S., The Rainbow Bridge, Utah, Geographical Review, American Geographical Society, 13: 4, (1923), 518-531.
- [7] M. P., Burke, Bridge Design and The "Bridge Aesthetics Bibliography", Journal of Structural Engineering, ASCE, 115: 4, (1989), 883-899.
- [8] C., O'connor, Development in Roman Stone Arch Bridges, Endeavour, New Series, 18: 4, (1994), 158-163.
- [9] P., Clemente, A., Occhiuzzi, and A., Raithel, Limit Behavior of Stone Arch Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 121: 7, (1995), 1045-1050.
- [10] T., E., Boothby, D. E., Domalic, and V. A., Dalal, Service Load Response of Masonry Arch Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 124: 1, (1998), 17-23.
- [11] P., Clemente, Introduction to Dynamics of Stone Arches, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, (1998), 513-522.
- [12] A., Brencich, and R., Morbiducci, Masonry Arches: Historical Rules and Modern Mechanics, International Journal of Architectural Heritage, 1, (2007), 165-189.
- [13] A., Ural, Ş., Oruç, A., Doğangün, ve Ö. İ., Tuluk, Turkish Historical Arch Bridges and Their Deteriorations and Failures, Engineering Failure Analysis, 15, (2008), 43-53.
- [14] M.-C., Tang, The Art of Arches, Structure and Infrastructure Engineering, (2014), 1-7.
- [15] P., Clemente, and F., Saitta, Analysis of No-Tension Material Arch Bridges with Finite Compression Strength, Journal of Structural Engineering, ASCE, 143: 1, (2017), 1-10.
- [16] H. A., Akca, Çelik Kemer Köprülerin Sonlu Elemanlar Programı İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 2009.
- [17] R., Rezaei, Shirzad, Beton Kemer Köprü Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 2010.
- [18] M., Kurt, Tarihi Taş Kemer Köprülerin Dinamik Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi, On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun, 2016.

- [19] T., Uçar, G., Şakar, Kemerlerin Statik Analizi İçin Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24: 37, 2011.
- [20] R., G., Drysdale, A., A., Hamid, and L., R., Baker, Masonry Structures Behavior and Design, Prentice-Hall. Inc. (1994), 784.
- [21] S., Huerta, Galileo was Wrong: The Geometrical Design of Masonry Arches Nexus Network Journal, 8:2, (2006), 25-52.
- [22] Url-1 (2019), <https://www.britannica.com/technology/bridge-engineering>.
- [23] Url-2 (2019), [https://www.tylin.com/en/projects/hoover\\_dam\\_bypass\\_bridge](https://www.tylin.com/en/projects/hoover_dam_bypass_bridge)
- [24] Url-3 (2019), <http://www.paramount-roll.com/photos/?p=46>
- [25] Url-4 (2019), [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Tamina\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Tamina_Bridge)
- [26] Url-5 (2019), [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=File:Daxiaojing\\_Bridge\\_20180519.jpg](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=File:Daxiaojing_Bridge_20180519.jpg)
- [27] Url-6 (2019), [https://www.wikiwand.com/en/List\\_of\\_longest\\_arch\\_bridge\\_spans](https://www.wikiwand.com/en/List_of_longest_arch_bridge_spans)
- [28] A., Black, The Story of Bridges., McGraw – Hill Book Company, Inc. Newyork NY, (1936).
- [29] Url-7 (2019), [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/insaat\\_1cefe.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/insaat_1cefe.pdf)