

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KEMER KÖPRÜLER

Mehmet TANRIVERDİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2019

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KEMER KÖPRÜLER

Mehmet TANRIVERDİ

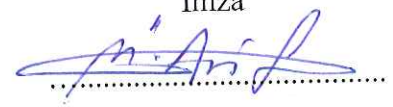
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2019

Prof. Dr. M. Arif GÜREL danışmanlığında, Mehmet TANRIVERDİ'nin hazırladığı “Geçmişten Günümüze Kemer Köprüler” konulu bu çalışma 17/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. M. Arif GÜREL

İmza


Üye : Prof. Dr. Ziraddin MAMMADOV



Üye : Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ



Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1.Literatür Özeti	4
3.MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.2. Yöntem	13
3.3. Kemerin Tanımı ve Türleri, Kemerlerde Mesnetler ve Yükler, Kemerlerde Oluşan Kesit Tesirleri	14
3.3.1. Kemer tanımı	14
3.3.2. Geometrilere göre kemer	16
3.3.3. Mesnetlenme durumlarına göre kemerler	18
3.3.4. Kemerlerde yükler	19
3.3.4.1. Sabit yükler	19
3.3.4.2. Hareketli yükler	19
3.3.4.3. Deprem yükleri	20
3.3.4.4. Rüzgâr yükleri	21
3.3.4.5. Diğer etkiler	22
3.3.5. Kemerlerde oluşan kesit tesirleri	22
3.3.5.1. Dairesel kemerin eksen eğrisi	22
3.3.5.2. Parabolik kemerin eksen eğrisi	23
3.3.5.3. Üç mafsallı bir kemerde düzgün yayılı yük etkisinde oluşan kesit tesirleri	24
3.4.Köprü Türleri	27
3.5..Malzemelerine Göre Kemer Köprüler	31
3.5.1. Yığma kemer köprüler	31
3.5.1.1. Yığma kemer köprülerin gelişimi	32
3.5.1.2. Ülkemizdeki yığma kemer köprüler	35
3.5.2. Betonarme kemer köprüler	41
3.5.2.1. Betonarme kemer köprülerin gelişimi	41
3.5.2.2. Dünyadaki betonarme kemer köprüler	42
3.5.2.3. Ülkemizdeki betonarme kemer köprüler	44
3.5.3. Çelik kemer köprüler	45
3.5.3.1. Çelik kemer köprülerin gelişimi	46
3.5.3.2. Dünyadaki çelik kemer köprüler	46
3.5.3.3. Ülkemizdeki çelik kemer köprüler	48
3.6.Kemer Köprülerin Avantajları, Dezavantajları ve Kemer Köprülerin Geleceği	51
3.6.1. Kemer köprülerin avantajları	51
3.6.2. Kemer köprülerin dezavantajları	53
3.6.3. Kemer köprülerin geleceği	54
3.7.Şanlıurfa İl Merkezindeki Tarihi Kemer Köprüler	57
3.7.1. Şanlıurfa'nın tarihçesi	57
3.7.1.1. Hızmalı Köprü	57
3.7.1.2. Millet Köprüsü	58
3.7.1.3. Samsat Köprüsü (Eski köprü)	59
3.7.1.4. Hacı Kamil köprüsü	60
3.7.1.5. Kısas (Beykapısı) Köprüsü	61
3.7.1.6. Bahçeler Köprüsü (Demirkapı Köprüsü)	61
3.7.1.7. Cavsak Köprüsü	62

3.7.1.8. Kara Köprü.....	62
3.7.1.9. Jüstinyen Su Kemer.....	63
3.8. Çarpıran (Dört Ulular-1) Kemer Köprüsü'nün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi.....	64
3.8.1. Köprünün konumu ve tarihçesi	64
3.8.2. Köprünün geometrik ve malzeme özellikleri	65
3.8.3. Yapısal analiz	67
3.8.4. Analiz sonuçları.....	70
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	74
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	82



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE KEMER KÖPRÜLER

Mehmet TANRIVERDİ

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

**Danışman : Prof.Dr.M. Arif GÜREL
Yıl: 2019, Sayfa:82**

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. Kemer köprülerin avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş, günümüzde yaygın olarak kullanılan kemer köprü yapım tekniklerinden olan "konsol uzatımı" yöntemi ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca kemer köprülerin geleceği irdelenmiş ve Şanlıurfa'daki tarihi kemer köprüler üzerinde durulmuştur. Bu bölümün sonunda ise Siirt'in Baykan ilçesindeki Çarpıran Köprüsünün SAP2000 programı ile statik ve dinamik analizi yapılmıştır. Dördüncü bölümü araştırma bulguları ve tartışma oluşturmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler son bölümde sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Kemer, kemer köprü, konsol uzatımı yöntemi, tarihi kemer köprü, SAP2000

ABSTRACT

MScThesis

ARCH BRIDGES FROM PAST TO PRESENT

Mehmet TANRIVERDİ

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

**Supervisor : Prof.Dr. M. Arif GÜREL
Year: 2019, Page: 82**

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 axis and 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. In this section, the future of the arch bridges is explored and the historical arch bridges in Şanlıurfa are emphasized. At the end of this section, the static and dynamic analysis of the Çarpıran Bridge in the Baykan district of Siirt province was conducted with the SAP2000 program. The fourth part is composed of research findings and discussion. The results and recommendations obtained from the study are presented in the last chapter.

KEYWORDS: Arch, arch bridge, console extension method, historical arch bridge, SAP2000

TEŐEKKÖR

Bu çalıőmayı hazırlamamda bilgi, öneri ve tavsiyeleri ile bana her zaman yardımcı olan, tez konusunun ortaya çıkması ve bu çalışma sırasında bana bilimsel bir disiplin kazandıran kıymetli hocam Prof. Dr. Mehmet Arif GÜREL'e, ayrıca çalışma sürecinde maddi ve manevi desteğini sunan değerli aileme sayęı ve minnetlerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Tipik bir kemer örneği	14
Şekil 3.2. Bir bindirmeli kemer	15
Şekil 3.3. Bir kemerde basınç (itki) çizgisi	16
Şekil 3.4. Geometrilerine göre kemer örnekleri	17
Şekil 3.5. Düzlem taşıyıcı sistemlerde mesnet çeşitleri.....	18
Şekil 3.6. a) İzostatik kemerler, b) Hiperstatik kemerler.....	18
Şekil 3.7. Düzlem içi rüzgar yükünün bir kemerde oluşturduğu pozitif ve negatif basınç etkileri	21
Şekil 3.8. İki mafsallı bir kemer ve ilgili parametreler.....	23
Şekil 3.9. Düzgün yayılı yük etkisindeki üç mafsallı simetrik dairesel bir kemer	25
Şekil 3.10. Kemerin herhangi bir kesitindeki iç kuvvetler	26
Şekil 3.11. Köprü türleri	28
Şekil 3.12. Stonecutters Köprüsü (Hong Kong, Çin)	29
Şekil 3.13. Russky Köprüsü (Vladivostok, Rusya)	30
Şekil 3.14. Bir yağma kemer köprüünün bölümleri	31
Şekil 3.15. İlkel kemerler	32
Şekil 3.16. Romalıların inşa etmiş olduğu Alcántara Köprüsü, İspanya	33
Şekil 3.17. Romalıların bir su kemeri olan Pont du Gard.....	34
Şekil 3.18. Marco Polo tarihi taş kemer köprüsü, Çin.....	34
Şekil 3.19. Cendere Köprüsü, Kahta / Adıyaman	36
Şekil 3.20. Malabadi Köprüsü, Silvan / Diyarbakır	38
Şekil 3.21. Çoban Köprüsü, Köprüköy / Erzurum	39
Şekil 3.22. Uzun Köprü-Sultan II. Murad Köprüsü	41
Şekil 3.23. Wanxian Yangtze Köprüsü, Sichuan Eyaleti, Çin.....	43
Şekil 3.24. Hoover Dam Köprüsü, Nevada, ABD.....	43
Şekil 3.25. Adagide Köprüsü, İzmir.....	44
Şekil 3.26. Chaotianmen Köprüsü, Nanan Qu / Çin.....	47
Şekil 3.27. Sydney Limanı Köprüsü, Sydney / Avustralya	47
Şekil 3.28. New River Gorge Köprüsü, West Virginia / ABD.....	48
Şekil 3.29. Borçka Çelik Kemer Köprüsü, Borçka / Artvin	49
Şekil 3.30. Borçka Çelik Kemer Köprüsü, Borçka / Artvin	50
Şekil 3.31. Tamina betonarme kemer köprüsünün (İsviçre) tabliyesinin inşa edilişi	52
Şekil 3.32. Tamina betonarme kemer köprüsünün (İsviçre) kemerinin konsol uzatma tekniği kullanılarak tamamlanmak üzere olan hali.....	52
Şekil 3.33. Hoover Barajı (ABD) betonarme kemer köprüsünün konsol uzatımı tekniği ile yapımı	55
Şekil 3.34. Almonte Nehri (İspanya) betonarme kemer köprüsünün konsol uzatımı tekniği ile yapımı	56
Şekil 3.35. Daxiaojing Köprüsü (Çin) çelik kemerinin konsol uzatımı tekniği ile yapımı.....	56
Şekil 3.36. Hızmalı Köprü, Şanlıurfa	58
Şekil 3.37. Millet Köprüsü, Şanlıurfa.....	59
Şekil 3.38. Samsat Köprüsü, Şanlıurfa	60
Şekil 3.39. Hacı Kamil Köprüsü, Şanlıurfa	61
Şekil 3.40. Beykapısı (Kısa) Köprüsü (solda) ve Bahçeler Köprüsü (Demirkapı) (sağda).....	62
Şekil 3.41. Kara Köprüünün yıkım çalışmaları sırasında çekilen bir fotoğrafı	62
Şekil 3.42. Justinyen Su Kemeri, Şanlıurfa	63
Şekil 3.43. Çarpıran Köprüsünün konumu	65
Şekil 3.44. Çarpıran Köprüsü onarım sonrası görünüşü ve yeni kitabesi.....	66
Şekil 3.45. Köprüünün boy ve bir enkesti	66
Şekil 3.46. Çarpıran Köprüsü menba yüzü.....	67
Şekil 3.47. Çarpıran Köprüsü mansap yüzü	67
Şekil 3.48. Çarpıran Köprüsünün hesap için oluşturulan sonlu elemanlar modeli	68
Şekil 3.49. SAP200'de solid eleman ve solid elemandaki gerilmeler.....	68
Şekil 3.50. Yatay deprem etkisi için Elastik Tasarım Spektrum eğrisi	70
Şekil 3.51. Analiz sonuçlarından elde edilen 1. mod şekli (1. mod : 0.08396 s).....	71
Şekil 3.52. Analiz sonuçlarından elde edilen 2. mod şekli (2. mod : 0.06003 s).....	71
Şekil 3.53. Analiz sonuçlarından elde edilen 3. mod şekli (3. mod : 0.05736 s).....	71

Şekil 3.54. Analiz sonuçlarından elde edilen 4. mod şekli (4. mod : 0.04822 s).....	72
Şekil 3.55. Köprünün kendi ağırlığından (G) dolayı meydana gelen S11 gerilmeleri.....	72
Şekil 3.56. Köprüde +X yönü deprem yükünden dolayı meydana gelen S11 gerilmeleri.....	72
Şekil 3.57. Köprüde G ve +X yönü deprem yükünden dolayı meydana gelen S11 gerilmeleri.....	73



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Anadolu'daki Roma-Bizans döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları	36
Çizelge 3.2. Anadolu'daki Artukoğulları döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları	37
Çizelge 3.3. Anadolu'daki Selçuklu döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları	38
Çizelge 3.4. Anadolu'daki Osmanlı döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları.....	40
Çizelge 3.5. Dünyanın bazı ülkelerinde bulunan betonarme kemer köprülere örnekler.....	42
Çizelge 3.6. Türkiye Cumhuriyeti'ndeki betonarme kemer köprülerden bazıları.....	44
Çizelge 3.7. Dünya'nın çeşitli ülkelerindeki çelik kemer köprülere örnekler.....	46
Çizelge 3.8. Türkiye Cumhuriyeti'ndeki çelik kemer köprülerden bazıları.....	49
Çizelge 3.9. Şanlıurfa'da bulunan kemer köprülerden bazıları.....	57
Çizelge 3.10. Çarpıran kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri	69
Çizelge 3.11. Köprü modelinin yapılan modal analiz sonucunda oluşan ilk 12 periyotları.	70



SİMGELER DİZİNİ

E99	Şanlıurfa-Diyarbakır-Bitlis-Iğdır-Dilucu yol ağı
DD2	Deprem yer hareketi düzeyi-2
MPa	Megapaskal
G	Ölü yük
E	Deprem yükü
yy	Yüzyıl
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
km	Kilometre
m	Metre
cm	Santimetre



1. GİRİŞ

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 kullanılmış 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.

Kemerin bir doğrultuda uzatılmasıyla elde edilen "tonoz" ve düşey bir eksen etrafında döndürülmesiyle oluşturulan "kubbe" taşıyıcı elemanlar kemerden türetilmiş birçok yapıda örtü elemanı olarak kullanılmış önemli yapısal elemanlardır.

Demirin ve bir demir-karbon alaşımı olan çelik malzemenin yoğun olarak üretilip kullanılmaya başlanması sayesinde açıklıkların artık düz olarak geçilmesi bir sorun olmaktan çıkmıştır. Çelik malzeme ile inşa edilen asma köprüler ve askı çubuklu köprüler ile 1000 metrenin üzerindeki mesafeler günümüzde rahatlıkla geçilebilmektedir.

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 gelecekte de dünyanın çeşitli yerlerinde insanlık kemer köprüleri inşa edip kullanacaktır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında son derece geniş bir konu olduğu açık olan kemer köprüler üzerinde durulacaktır. "Geçmişten Günümüze Kemer Köprüler" başlığı bu anlamda biraz abartılı olarak görülebilir. Ancak hemen belirtilmelidir ki konu aşırı ayrıntıya girilmeden, buna karşılık kesinlikle çok basit bir düzeyde de tutulmadan, makul bir çerçevede ele alınacaktır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekilde özetlenebilir: ikinci bölümde çalışmanın konusu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Bu bağlamda konuyla ilgili en önemli görülen çalışmalardan söz edilmiştir. Üçüncü bölümde kemerin tanımı verilip eksenlerine ve malzemelerine göre kemer köprüler incelenmiştir. Kemer köprülerin avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş, günümüzde yaygın

olarak kullanılan kemer köprü yapım tekniklerinden olan "konsol uzatımı" yöntemi ele alınmıştır. Ayrıca Şanlıurfa'daki tarihi kemer köprüler kısaca irdelenmiştir. Bu bölümün sonunda SAP2000 bilgisayar programıyla örnek bir yığma kemer köprünün analizi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde araştırma bulguları vurgulanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler ise son bölümde sunulmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Literatür Özeti

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. İlk baskısı 1975 tarihli olan kitabında su engellerini aşmak için çok eski zamanlardan beri insanoğlunun kullandığı yöntemlerden bahsederek başlayıp en eski köprülerden söz ederek devam edip özel olarak Türk köprülerini işlemiştir. Taş köprülerden ve bunların ayak, kesit şekli, göz sayısı, kemer tipi gibi özelliklerini belirtmiştir. Köprü kitabeleri, odacıklar ve korkuluklar gibi kısımlarını ele almıştır. Yazar eserinde Orta Kızılırmak Bölümünde yer alan Çeşnigir Köprüsünden başlayıp, Misis Köprüsü, Dicle Köprüsü, Hasankeyf Köprüsü, Malabadi Köprüsü, Sultan Alaeddin Köprüsü, Tercan Köprüsü, Gazi Mihal Köprüsü, Eski Malatya Kırkgöz Köprüsü, Çemişgezek Köprüsü, Saray Bosna İskender Paşa Köprüsü, Midilli Adası Hamidiye Köprüsü gibi birçok köprüyü incelemiştir. Bu köprüler hakkında ayrıntılı bilgiler verip, fotoğraflar eklemiştir.

İlter(1978), "Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri" başlığını taşıyan çok ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü matbaasında 1978 yılında basılmış olan bu eserde yazar Anadolu'nun Türklerle başlayan yeni uygarlık çağında yapılmış olan, Osmanlı öncesi; yani Selçuklu ve Beylikler dönemindeki köprüleri ele almıştır. Bu kapsamda bahsedilen dönemden günümüze kalmış köprüler yerinde incelenmiş, bazı il yıllıkları ve tarihleri ile seyahatnameler taranmıştır. Ayrıca bu güne erişebilen köprülerin kitabesi olanlarından bazılarının bu kitabelerinden yapıldıkları devir, yaptırnanları ve yapanları (mimarları) tespit

edilmeye çalışılmış, bu yapıların sanat ve yapı tekniği yönünden analizleri kapsamlı bir düzeyde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Dicle Köprüsü'nden (On Gözlü Köprü) başlanarak elli civarında köprü ele alınmıştır. Bu köprülerin yukarıda belirtilen özellikleri yanında başka birçok faydalı bilgi verilmiş ve fotoğrafları sunulmuştur. Köprülerin malzemesinin hemen her durumda taş olduğu belirtilmiş, dekorasyon durumları ve yapım teknikleri anlatılmıştır.

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.

Page (1993), yığma kemer köprüler konusunda bilgi düzeyinin ulaştığı en son durumu özetlemiştir. Çalışmada yığma kemer köprülerin tarihini, inşaatını, çözümleme ve değerlendirme tekniklerini ele alınmıştır. Ayrıca yığma kemer köprüler üzerinde yapılan yükleme deneylerinden bahsedilmiştir. Kitapta yığma kemer köprülerle ilgili bir lügatçe de bulunmaktadır.

Proske ve Gelder (2009), tarihi taş kemer köprülerin güvenlikleri üzerinde çok ayrıntılı bir kitap hazırlamışlardır. "Safety of Historical Stone ArchBridges" başlıklı ve sekiz bölümden oluşan kitaplarının giriş bölümünde kemer köprülerin avantaj ve dezavantajlarını, kemer köprü tiplerini, taş kemer köprülerin tarihini ele almışlardır. Kemer köprüler üzerine gelen yükleri ikinci bölümde incelemişlerdir. Üçüncü bölümde tarihi kemer köprülerin hesabını anlatmışlardır. Bu bağlamda tarihsel kurallardan ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEM) ile Ayrık Eleman Yöntemi (AEY) gibi modern yöntemlerden bahsetmişlerdir. Taş kemer köprülerin malzemeleri olan taş ve harcın gerilme-şekil değiştirme özelliklerini, moment-eksenel yük ilişkilerini ve kayma dayanımlarını kitabın dördüncü bölümünde ele almışlardır. Taş kemer köprüler için tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri

kitabın beşinci bölümünü oluşturmuştur. Taş kemer köprülerde rastlanabilen hasar türleri ve bunların onarım yöntemleri kitabın beşinci bölümünde işlenmiştir.

Köprülerin güvenlik değerlendirilmesi ve örnekler kitabın sırasıyla yedinci ve sekizinci bölümlerini oluşturmuştur. Kısaca tanıtılmış olan bu kitabın tarihi taş kemer köprüler konusundaki en kapsamlı eserlerden biri olduğu söylenebilir.

Literatüre bakıldığında kemer köprüler konusunda periyodik olarak düzenlenen uluslararası bir konferanslar dizisi olduğu görülmektedir. Bu dizinin birincisi İngiltere'nin Bolton şehrinde 3-6 Eylül 1995 tarihleri arasında düzenlenmiş olan ve "ArchBridges: Proceedings of the First International Conference on Arch Bridges" başlığı ile (Melbourne, 1995) düzenlenmiştir. Bu konferansların 2-4 Ekim 2019 tarihleri arasında Portekiz'in Porto şehrinde dokuzuncusu "ARCH2019 - 9th International Conference on Arch Bridges" başlığı ile düzenlenecektir. Adı geçen konferanslarda sunulan çalışmalardan konferans kitapçıkları oluşturulmaktadır. Bunlar incelendiğinde kemer köprülerle ilgili birçok değerli çalışma yapılmış olduğu görülmektedir.

Önceki Çalışmalar Bölümünün bu kısmında çok geniş olan literatürden seçilen makaleler ve konferans bildirileri verilecektir.

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.

Janssen (1943), Sipapu Kemerini, Edwin Kemerini, Caroline Kemerini ve Büyük Zion Kemerini gibi doğal kemerleri incelemiştir. Doğal kemerin ne olduğunu tanımlayıp, bu kemerlerin oluşumlarını ve zerafetlerini ele almıştır.

Vilnay ve Cheung (1986), elastik derzli (birleşim bölgesi) yığma kemerlerin kararlılığını (stabilitesini) kemer şeklindeki muhtemel çarpılma (distorsiyon) biçimleriyle ilişkili enerji dengesindeki değişimi göz önüne alarak incelemişlerdir.

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

İyi bir köprü tasarımı için tasarımın dört önemli özelliği olan işlevsellik, güvenlik, ekonomi ve estetiğin sağlanıp, optimize edilebilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Loo ve Yang (1991), yığma kemer köprülerin çatlaması ve yıkılma (göçme) analizi üzerinde çalışmışlardır. Yığma kemer köprülerin ilerleyen (progressive) göçme analizi için doğrusal olmayan sonlu eleman işlemine dayanan yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Çalışmaları ile bir yığma kemer köprüde belirli bir yük altında oluşan gerilme dağılımının, çatlama ve ezilmelerin bilgisayar üzerinde grafik olarak izlenebilmesini sağlamışlardır.

Oppenheim (1992), kendi ağırlığı ve yatay mesnet hareketinden kaynaklanan atalet kuvvetleri etkisinde bulunan bir dairesel yığma kemerin dinamiğini dört-bağlantı mekanizması (four-link mechanism) ile ele almıştır. Dört-bağlantı mekanizması şeklinde ele almış olduğu kemerin kinematığını sunup hareket denklemini doğrusal olmayan formda elde etmiştir. Muhtemel göçme koşullarını belirtip kemerin toparlanma (eski durumuna geri dönebilme) şartlarını ifade etmiştir.

Blasi ve Foraboschi (1994), malzemeyi çekme almayan malzeme modeline göre dikkate alıp, dairesel yığma kemerlerin düşey düzgün yayılı yük altında göçme mekanizmaları için analitik bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

O'Connor (1994), Roma taş kemer köprülerinin gelişimini ele almıştır. Hepsini 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.

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. Hem mevcut hem de yeni yapılacak olan yığma kemerlerin güvenlik düzeyini belirlemek amacıyla kolay bir ardışık yaklaşım işlemi de geliştirmişlerdir. Kemerlerin göçme mekanizmaları ve genel güvenlikleri üzerinde çeşitli parametrelerin etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır.

Colla ve ark. (1997), tahribatsız muayene yöntemlerinden olan sonik, elektromagnetik ve impuls radar yöntemleriyle taş kemer köprülerin incelenmesini ele almışlardır. Yöntemlerin uygulanmasıyla ilgili detayları belirtip, bir kemer köprüünün mesnet bölgesi üzerinde uygulama gerçekleştirmişlerdir.

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

Clemente (1998), "Introduction to Dynamics of Stone Arches" başlıklı makalesiyle taş kemerlerin verilen bir yatay zemin ivmesi altında dinamik davranışlarını incelemiştir. Kemerlerin göçme durumuna dört-bağlantı mekanizmasıyla ulaştıklarını göz önüne almıştır.

Frunzio ve Monaco (2001), çalışmalarında 31.4 m açıklığına ve 11.4 m yüksekliğine sahip bir Roma taş kemer köprüsü olan Pont St. Martin'in üç boyutlu sonlu eleman çözümlemesini yapmışlardır. Hesaplarında kemer üstündeki dolgunun (filling, infill) ve yan duvarların (spandrels) etkisini de dikkate almışlardır.

Fanning ve Boothby (2001), ANSYS programını kullanarak üç yığma kemer köprüünün üç boyutlu, doğrusal olmayan sonlu eleman modelini oluşturup, köprülerin servis yükleri altında çözümlemelerini yapmışlardır. Ayrıca köprüler üzerinde tam

ölçekli yükleme deneyleri de gerçekleştirmişlerdir. Hesaplamalarının sonucunda üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman çözümlemesinin yığma kemer köprülerin davranışlarını iyi bir şekilde ortaya koyabildiğini görmüşlerdir.

Gasparini (2002), Amerika Birleşik Devletlerinde betonarme kemer köprülerin gelişimini incelemiştir. 20. yüzyılın başlarından itibaren Birleşik Devletlerde inşa edilen köprülerde betonarme malzemenin müteşebbis tasarımcı ve mühendisler tarafından şevkle kullanılmaya başlandığını vurgulamıştır. Dönemin literatüründe betonarme köprülerin donatılması ile ilgili olarak yer alan fikirleri, değişik kemer formlarının avantaj ve dezavantajlarını, kemer eksenine için uygun şekilleri ve tasarım metotlarını irdelemiştir.

Toker ve Ünay (2004), yığma kemer köprülerin matematiksel modellenmesini ve sonlu eleman çözümlemesini yapmışlardır. Tuğla ve/veya taştan inşa edilmiş yığma yapılar için en uygun çözümleme metodunun sonlu elemanlar çözümlemesi olduğunu vurgulamışlardır. Bir prototip kemer köprüünün farklı yükleme koşulları altında matematiksel modelleme tekniklerini incelemiştir.

Block ve ark.(2006), yığma kemerlerin dengesi problemini ele almışlardır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yapısal kuvvetlerin interaktif analizi üzerine yapılan bir araştırmayla, yığma yapıların geometrisi ile kuvvetlerin ilişkilerini belirlemede faydalı olan yeni grafik yöntemler sağladığını vurgulamışlardır. Kemerlerin denge durumlarını belirlemek için önemli olan matematiksel ilkenin grafik çözümlemenin kullanımı olduğunu belirtmişlerdir.

Brencich ve Morbiducci (2007), yığma kemerler için tarihi tasarım kurallarından ve modern hesap yöntemlerinden bahsettikleri ayrıntılı bir çalışma yapmışlardır. Tarihi dokümanlarda kemer kalınlığının belirlenmesi ve iskelenin kaldırılma süresi ile ilgili olarak rastlanan bilgilere yer vermişlerdir. Ayrıca kemer köprülerin analizi için malzeme bilgisi ile malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin önemini belirtmişlerdir. İtalyan demiryolu ağı üzerinde yapılan

istatistiksel araştırmayı ve bu ağ üzerindeki bazı kemer köprülerin üst yapı durumunu ele almışlardır.

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

Alkan ve ark.(2011), su yapısı olarak Anadolu'daki taş köprüleri konu edinmişlerdir. Bu bağlamda Roma-Bizans köprülerini, Selçuklu köprülerini, Osmanlı dönemi köprülerini gözden geçirmişlerdir. Çalışmalarında birçoğu günümüzde de kullanılmakta olan bu köprülerin korunması, gerekli olanlarda onarım ve güçlendirmelerin yapılması ve geleceğe güvenle devredilmesi konusunda çalışmaların yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Radić ve Kušter (2013), kemer köprülerin estetiğini ve sürdürülebilirliklerini konu edinmişlerdir. Kemer köprülerde işlevsellik ve estetiğin çoğu zaman birlikte sağlanabilmiş olduğunu belirtmişlerdir.

Behnamfar ve Afshari (2013), taş kemer köprülerin depreme karşı göçme analizi ve güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İran'daki Üçtaş demiryolu kemer köprüsünün depreme karşı dayanımını belirlemede Ayrık Eleman Metodunu kullanmış, ayrıca SAP2000 programından da çeşitli amaçlar için yararlanmışlardır. Yığma demiryolu köprülerinin en zayıf kısımlarının kemerleri olduğunu belirtip bu kısımlarda önceden yapılacak güçlendirmelerin bu yapıların sismik dayanımlarını önemli ölçüde arttıracaklarını vurgulamışlardır.

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.

Khan ve ark. (2014), betonarme kemer köprülerin direkt deplasman-esaslı sismik tasarımı konusunda bir çalışma yapmışlardır.

Marano ve ark. (2014), statik düşey yükler altında optimum kemer şeklinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında düşey düzgün yayılı yük etkisinde olan statikçe belirli düzlem kemerleri dikkate alıp, kemer zati ağırlığının toplam uygulanan yüke oranını minimum yapacak bir grup analitik çözüm elde etmişlerdir.

Chiozzi ve ark.(2016), kemerli yığma yapıların tümüyle bilgisayar destekli tasarımına yönelik entegre yapısal analizi için MATLAB esaslı ArchNURBS adında yeni bir hesap programı geliştirmişlerdir.

Gil-Martín ve ark. (2016), simetrik olmayan yükleme koşulları altında bir kemerin optimum şeklinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Simetrik olmayan yayılı ve tekil yükleri içeren farklı düşey yüklemeler için analitik ifadeler elde etmişlerdir.

Clemente and Saitta (2017), yığma kemer köprülerin malzemelerinin çekme dayanımı olmayan, basınç dayanımları ise sınırlı malzemeler olarak alınmaları durumu için analizlerini yapmışlardır. Limit analiz ile ilgili bilgi ve bağıntıları verip köprülerin sabit ve hareketli yükler altında güvenliklerini irdelemişlerdir.

Bu bölümün son kısmında ise ülkemizde kemer köprülerle ilgili olarak yapılmış bir kaç lisansüstü teze değinilecektir.

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.

ShirzadRezaei (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 köprünün bazı kısımlarında hasarlar meydana geldiği başka araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Çalışmada öncelikle köprünün SAP2000'de modelini oluşturmuştur. Yapılan hesaplarla köprünün gerilme ve yer değiştirme büyüklüklerini belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar köprünün mevcut hasar durumuyla karşılaştırılmıştır.

Kurt(2016), yüksek lisans tez çalışmasında, öncelikle tarihi taş kemer köprüler hakkında genel bilgiler vermiştir. Çalışmada esas olarak Ordu İli Ulubey İlçesinde bulunan Sarp dere Tarihi Taş Kemer Köprüsünü ele almıştır. Köprünün laboratuarda 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.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini, kemer ve kemer köprüler oluşturmaktadır. Kemer formu incelenip, kemerin köprülerde tarihsel süreç içerisinde kullanımı malzeme bazında ele alınmıştır. Kemer köprülerin avantaj ve dezavantajları vurgulanmıştır. Bu köprü türünün modern bir yöntem olan konsol uzatımı yöntemi ile inşası üzerinde durulmuştur. Son olarak ülkemizdeki bir tarihi kemer köprüünün paket program kullanılarak kendi ağırlığı ve deprem etkileri altında çözümlemesi yapılmıştır.

3.2. Yöntem

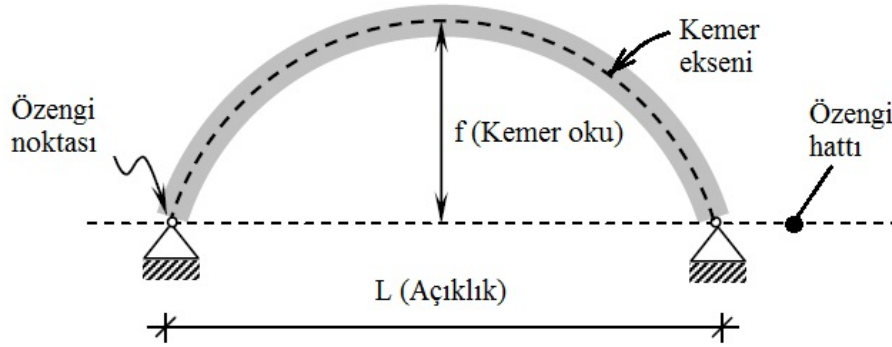
Çalışma kapsamında, kemer formunun tarihsel gelişimi, kemere gelen yüklerin incelenmesi ve kemerin köprülerde kullanılmasıyla bu tür köprülerin malzeme ve geometrileri yönünden evrilmesi açıklanmıştır. Kemer köprülerle ilgili belirli ölçüde bir bilgi verilmiş, özellikle yapıldıkları döneme damgasını vuran bazı kemer köprülere örnekler verilmiştir. Bütün bunlar genel olarak bir literatür taraması tarzında gerçekleştirilmiştir. Özel olarak incelenen tarihi taş kemer köprüünün analizleri ise SAP2000 bilgisayar programı ile yapılmıştır.

3.3. Kemerin Tanımı ve Türleri, Kemerlerde Mesnetler ve Yükler, Kemerlerde Oluşan Kesit Tesirleri

Bu bölümde önce çalışmada ele alınan köprü türü olan kemer köprüler için esaslı oluşturan kemerin tanımı yapılacak ve geometrilerine göre kemer çeşitleri anlatılacaktır. Daha sonra ise kemerlerin mesnetlenme durumları ve kemerlere gelen yükler ele alınacaktır. En sonunda ise kemerin eksen eğrilerinden söz edilip, üç mafsallı bir kemerde düzgün yayılı yük altında oluşan kesit tesirleri üzerinde durulacaktır.

3.3.1. Kemerin tanımı

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 bulunduğu "bindirmeli kemerler (corbelled arches)" inşa edilmiştir. Aşağıda Şekil 3.2'de bu tür kemerlere bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.1. Tipik bir kemer örneği(Uçar ve Şakar, 2011)

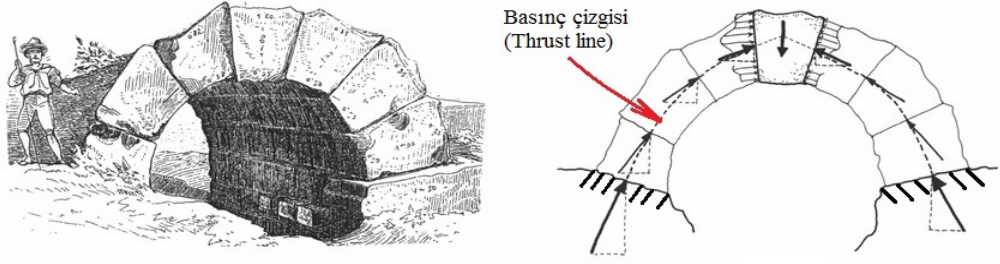
Gerçek kemerler milattan önce 1400'lü yıllarda görülmeye başlanmıştır. Bunlar kama şekilli (wedgeshaped) ve kemer taşı (voussoir) olarak adlandırılan taş veya tuğlaların bir yarım çember oluşturacak şekilde düzenlenmesiyle inşa edilmişlerdir.

Bunların bilinen ilk örneği Mezopotamya'da kurulmuş olan Ur Şehri'nde 0.8 metre açıklığı geçen küçük bir kemer olmasına karşılık, bu formun yani kemer formunun büyük mesafeleri geçme potansiyeli kısa sürede fark edilmiştir (Drysdale ve ark.,1994).



Şekil 3.2. Bir bindirmeli kemer (Url-4)

Bir kemerde taşınan yüklerin kemer kesitlerinde oluşturduğu basınç gerilmelerinin bileşkesinin kemer boyunca izlediği yörüngeye "basınç (itki) çizgisi" adı verilir. Şekil 3.3'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 3.3. Bir kemerde basınç (itki) çizgisi (Huerta, 2006)

3.3.2. Geometrilerine göre kemerler

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. Bunların her birine birer örnek Şekil 3.4'de verilmiştir.

Yarı dairesel ve daire yayı kemerler köprülerde ve diğer yapılarda en çok kullanılmış kemerlerdir. Yarı dairesel kemerin dezavantajı açıklığı ile yüksekliğinin birbirlerine bağımlı olmasıdır. Yani kemer yüksekliği mecburen açıklığının yarısı kadar olmak durumundadır.

Parabolik kemerler; eksenleri matematiksel olarak çoğunlukla ikinci derece parabol şeklinde olan kemerlerdir. Bu kemerlerde eksen eğrisindeki parametreler ayarlanarak basık ya da yüksek parabolik kemerler elde edilebilir. Bu açıdan tasarımcıya serbestlik sağlayan bir kemer türüdür.

Elips eksenli kemerler; adlarından da anlaşıldığı üzere eksen eğrileri büyük asal eksenli yatay duran bir elips şeklindedir. Yarı dairesel kemerlere göre doğal olarak daha basık kemerlerdir. Görsel olarak oldukça estetik olan bir kemer türüdür.

Sepet kulpu kemerler; yanlarda iki küçük ve ortada bir büyük daire yayından oluşan yarım elipsi andırır şekildeki kemerlerdir. Bu tür kemerler örneğin Avrupa'da Rönesans döneminde yaygın olarak kullanılmıştır, (Url-10).

Sivri kemerler; yarıçapı kemer açıklığının yarısından büyük olan ve kilit (tepe) noktasında birleşen iki daire yayından meydana gelen kemerlerdir. Özellikle İslam ve Gotik mimarilerinde çok yaygın olarak kullanılmış bir kemer türüdür. Yarı dairesel kemerin açıklığı ve yüksekliği arasındaki bağımlılık sivri kemerlerin kullanılmasıyla sorun olmaktan çıkmıştır.

At nalı şekilli kemerler; daha çok Endülüs mimarisinde bazı kapı ve pencere üstlerinde kullanılmıştır. Görsel olarak güzel bir kemer olmasına karşılık büyük açıklıklarda kullanılmış olduğu pek görülmemektedir.

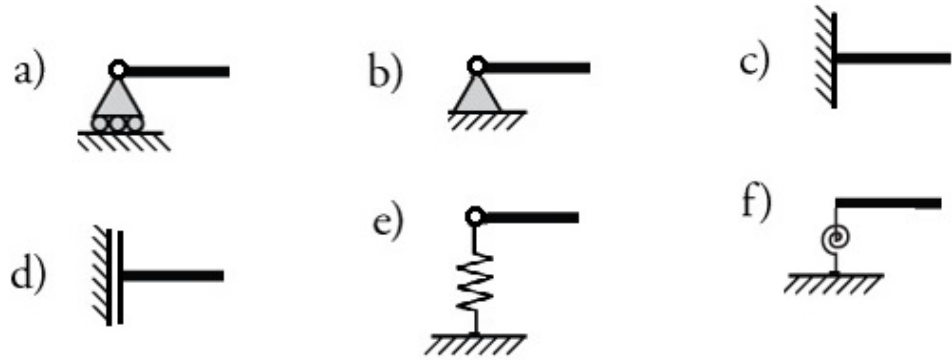


Şekil 3.4. Geometrilerine göre kemer örnekleri: a) Dairesel kemer- Varda köprüsü, Karaisalı, Adana (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ), b) Parabolik kemer- Gateway arch, ABD (Url-5), c) Elips eksenli kemer- Llanelltyd Bridge, Wales, İngiltere (Url-7), d) Sepet kulpu eksenli kemer- Black Adler Inn, Romanya (Url-8), e) Sivri kemer- Dicle köprüsü, Diyarbakır (Url-9), f) At nalı şekilli kemer- Bir kapı at nalı kemeri, Kordoba, İspanya (Url-6)

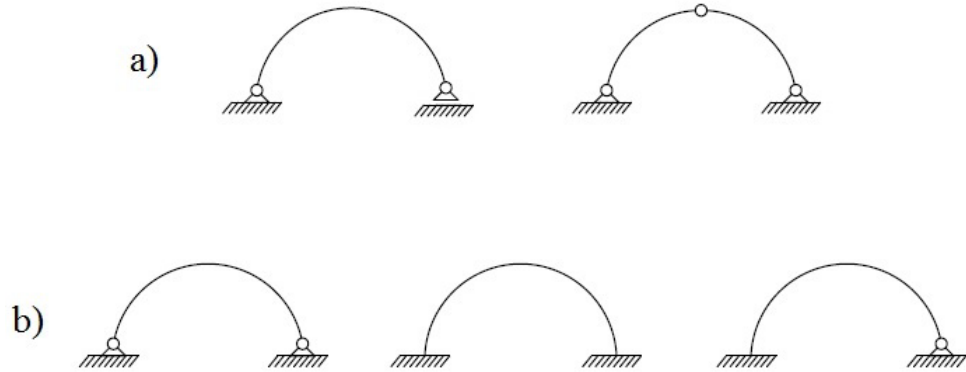
3.3.3. Mesnetlenme durumlarına göre kemerler

Bilindiği gibi mesnetler yapıların dış ortama bağlandığı bölgelerdir. Düzlem taşıyıcı sistemler için çeşitli mesnet türleri söz konusudur. Bunlar Şekil 3.5'de görülmektedir.

Kemerler farklı şekillerde mesnetlenebilir. Bu duruma ve varsa ara mafsalına bağlı olarak izostatik (statikçe belirli) ya da hiperstatik (statikçe belirsiz)kemerler ortaya çıkar. Mesnetlerinden biri sabit diğeri kayıcı mesnet olan kemerler ile üç mafsallı kemerler izostatik kemerlerdir,(Şekil 3.6a). Her iki mesneti sabit, her iki mesneti ankastre ve bir mesneti sabit, öteki ankastre olan kemerler ise hiperstatik kemerlerdir (Şekil 3.6b).



Şekil 3.5. Düzlem taşıyıcı sistemlerde mesnet çeşitleri: a) Kayıcı mesnet (kayıcı mafsallı mesnet), b) Sabit mesnet (sabit mafsallı mesnet), c) Ankastre mesnet, d) Kayıcı ankastre mesnet, e) Elastik çöken mesnet, f) Elastik dönen mesnet



Şekil 3.6. a) İzostatik kemerler, b) Hiperstatik kemerler

Çelik ve betonarme kemerlerde yukarıdaki mesnetlerin oluşturulması pratik olarak daha kolaydır. Buna karşılık yığma kemerlerde mesnetler aslında tam olarak ankastre veya tam olarak sabit durumda değildir. Bu ikisinin arasında yani belirli dönme rijitliği olan "elastik dönen mesnet" kabul edilebilecek haldedir. Ancak çoğu zaman yığma kemerlerin hesabında da mesnetler ankastre ya da sabit olarak alınır. Günümüzün gelişmiş bilgisayar programlarıyla yığma kemerlerin hesabında mesnet bölgelerinin tanımlanması daha kolay bir hale gelmiştir.

3.3.4. Kemerlerde yükler

Çalışmada kemer köprüler ele alındığından buradaki yükler özel olarak köprüler bazında ele alınacaktır. Kemer köprülere etkiyen yükler; sabit yükler, hareketli yükler, deprem yükleri ve rüzgâr yükleri olarak sınıflandırılabilir. Ayrıyeten sıcaklık değişimleri ve bazı durumlarda kar yükleri de özellikle boyutları büyük köprüler için önemli etkiler arasındadır.

3.3.4.1. Sabit yükler

Kemer köprülerde sabit yüklerin başta geleni köprünün kendi yani zati ağırlığıdır. Bu yük özellikle yığma ve betonarme köprülerde büyük değerlerde olabilmektedir. Sabit yükler içerisinde köprünün kullanım amacına bağlı olarak ortaya çıkan tekil veya yayılı yükler de bulunabilir. Tekil yükler duruma göre konumları ve değerleri sabit bir veya bir kaç yükten oluşabilir. Yayılı yükler ise düzgün (üniform) ya da belirli bir fonksiyon şeklinde değişim gösteren durumda olabilir.

3.3.4.2. Hareketli yükler

Köprülerin ana işlevi araç ve/veya yaya yüklerini taşımak olduğundan bu yükler köprü tasarımındaki en önemli yükler arasındadır.

Araçlar için inşa edilen kemer köprülerde trafik yükleri karayolu ve demiryolu (raylı) köprüsü olması durumuna göre fark eder. Karayolu köprülerinde her ülkenin ilgili şartnamelerinin öngördüğü araç yükleri söz konusudur.

Örneğin müsaade edilecek ve dingil yükü değerleri şartnamece belirtilmiş bir kamyon yükü böyle bir yükür. Özel durumlarda başka hareketli yükler de şartnamece öngörölmüş olabilir (Proske and Gelder, 2009).

Demiryolu köprülerinde hareketli yük olarak tren (katar) yükleri dikkate alınır. Bunlar belli sayıda tekil yük ve belirli uzunlukta ve çoğunlukla düzgün yayılı alınan yayılı yükün birleşiminden ibarettir.

Bilindiği gibi yapıların hareketli yüklere göre hesabında "tesir çizgileri" önemli bir yer tutar. Tesir çizgileri; bir birimlik kuvvet (1 kN veya 1 tonf) taşıyıcı sistem üzerinde dolaşırken, sisteme ait eğilme momenti, mesnet tepkisi ya da bir kesite ait yer değiştirme gibi bir büyüklüğün aldığı değerinin değişimini gösteren grafiklerdir. Tesir çizgileri izostatik sistemlerde doğru parçalarından oluşurken, hiperstatik sistemlerde eğriseldir. Köprülerin hesabında tesir çizgilerine ait bilgilerden yararlanılarak hareketli yüklere göre hesaplar gerçekleştirilir.

3.3.4.3. Deprem yükleri

Deprem bölgelerinde inşa edilecek her tür yapıda olduğu gibi kemer ana taşıyıcılı köprülerde de deprem yükleri son derece dikkatle hesaba katılması gereken yüklerdir.

Basık kemerler hem sabit ve hareketli hem de deprem etkileri altında basık olmayan kemerlere göre daha stabil (kararlı) yapılardır. Buna karşılık bu tür kemerlerde oluşan kesit zorları ve onlara bağlı olarak gerilmeler büyük değerler alırlar. Deprem etkileri yığma kemerler için betonarme ve çelik kemerlere göre daha büyük risk oluşturan bir etkidir. Üst dolgusu bulunan ve iyi mesnetlenmiş kemerler,

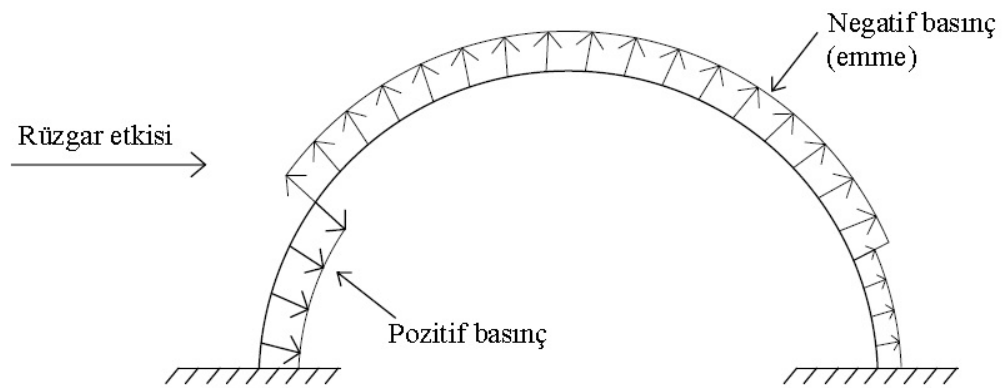
yalın ve mesnetleri yeterince güçlü olmayan kemerlere göre çok daha iyi bir davranış sergilerler.

Kemer köprülerin hesabında göz önüne alınacak deprem etkileri ilgili ülkenin deprem yönetmeliği yanında, köprüler konusundaki özel şartnameler ve gerekirse uluslararası kabul görmüş gelişmiş ülkelerin ilgili şartnamelerinden yararlanılarak hesaba katılır.

Günümüzdeki bazı bilgisayar programlarıyla her tür köprünün deprem etkileri gibi dinamik yükler altında hesabı güvenilir bir şekilde yapılabilir.

3.3.4.4. Rüzgâr yükleri

Kemerli yapılar için önemli diğer bir yük de rüzgâr etkisidir. Düzlem içi rüzgâr etkisi kemerler üzerinde Şekil 3.7'de görüldüğü gibi pozitif basınç ve negatif basınç yani emme etkileri oluşturur (Karnovsky, 2012). Özellikle yüksek kemerlerde düzlem içi rüzgâr etkisi önemli büyüklükte iç kuvvetlerin oluşmasına neden olabilir. Düzlem dışı eğilmeye sebep olduğundan dolayı kemer köprülerde kemer düzlemine dik gelen rüzgâr etkisi de önemli olabilmektedir.



Şekil 3.7. Düzlem içi rüzgâr yükünün bir kemerde oluşturduğu pozitif ve negatif basınç etkileri(Karnovsky,2012)

3.3.4.5. Diğer etkiler

Sıcaklık değişimleri ve mesnet çökmeleri gibi etkiler hiperstatik sistemlerde kesit tesirleri oluşturur. Bu yüzden yapıları itibariyle hiperstatik olan kemer köprülerin tasarımında bu etkiler de dikkate alınır. Köprülerde araçların fren yapması, hızlanması ve tekerleklerin derzlerden geçişlerde oluşturduğu çarpma etkisi de köprülerde göz önüne alınması gereken etkiler arasındadır.

Muhtemel tüm yük birleşimlerinin göz önüne alınması günümüzdeki bilgisayar olanaklarıyla geçmişe göre çok daha rahat bir şekilde yapılabilir.

3.3.5. Kemerlerde oluşan kesit tesirleri

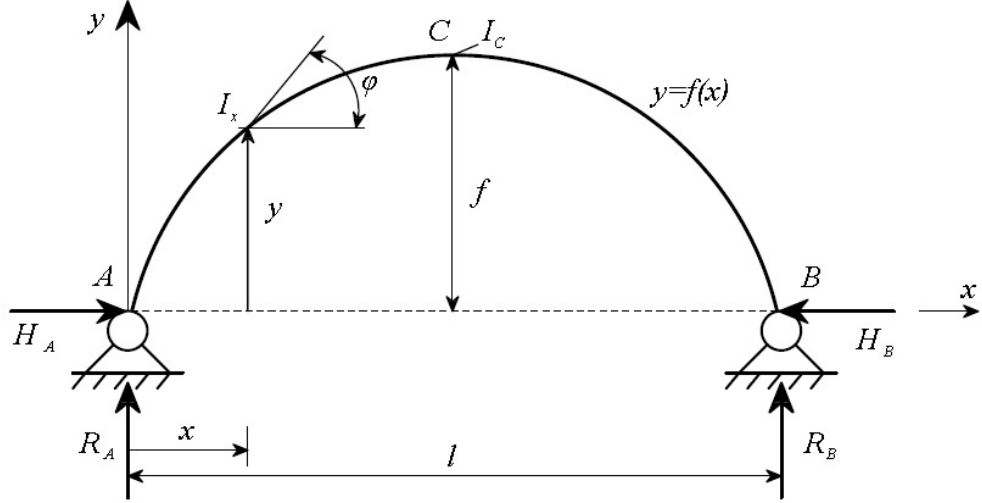
Bu kısımda kemer kesitlerinde sabit yüklerden dolayı oluşan kesit tesirleri ele alınacaktır. Açık ki kesit tesirleri hem kemerin mesnetlenme durumuna ve eksen eğrisinin geometrisine hem de yüklemeye bağlıdır. Kemerlerin mesnetlenme durumları 3.3.3.'de ele alınmıştı. Burada ilk önce dairesel ve parabolik kemerler için eksen eğrisinin denklemi ve eğriye ait bazı özellikler ele alınacaktır. Dairesel ve parabolik kemerler hem yığma hem de betonarme ve çelik malzeme kullanılarak en çok inşa edilmiş olan kemerlerdir. Bu kısımda en son olarak ise yalnızca düzgün yayılı yüklerle yüklü daire eksenli üç mafsallı bir kemerde oluşan kesit tesirleri verilecektir.

3.3.5.1. Dairesel kemerin eksen eğrisi

Dairesel bir kemerin eksen eğrisi adından da anlaşıldığı üzere bir daire yayıdır. Şekil 3.8.'de mesnetlerinin her ikisi de sabit mesnet olarak alınan (iki mafsallı kemer) bir dairesel kemer ile hesap için kullanılan eksen takımı ve ilgili parametreler görülmektedir. Böyle bir kemerin x apsisi bir noktasına ait y ordinatı, dolayısıyla eğrinin denklemi aşağıdaki ifade olarak kolayca elde edilir:

$$y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{l}{2} - x\right)^2} - R + f; \quad R = \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f} \quad (3.1)$$

Bu ifadede R kemerin yarıçapını, f ve l ise kemerin okunu ve açıklığını göstermektedir.



Şekil 3.8. İki mafsallı bir kemer ve ilgili parametreler (Karnovsky, 2012)

Kemerin (x,y) koordinatlı noktasındaki teğetin yatayla yaptığı φ açısı ile ilgili olarak aşağıdaki trigonometrik ifadeler söz konusudur:

$$\sin \varphi = (l - 2x) \frac{1}{2R}; \quad \cos \varphi = (y + R - f) \frac{1}{R} \quad (3.2)$$

3.3.5.2. Parabolik kemerin eksen eğrisi

Parabolik bir kemerin eksenini üzerindeki bir noktanın y ordinatı, yani kemerin eksen eğrisinin denklemi:

$$y = \frac{4fx}{l^2} (l - x) \quad (3.3)$$

şeklindedir. İlgili kemer noktasındaki teğetin yatayla yaptığı açıya ait trigonometrik ilişkiler ise şöyledir:

$$\tan \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l - 2x); \quad \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}; \quad \sin \varphi = \cos \varphi \tan \varphi \quad (3.4)$$

Başka eksen eğrilerine sahip kemerlerin denklemleri kemerlerle ilgili çeşitli kitaplarda bulunabilir (Karnovsky, 2012).

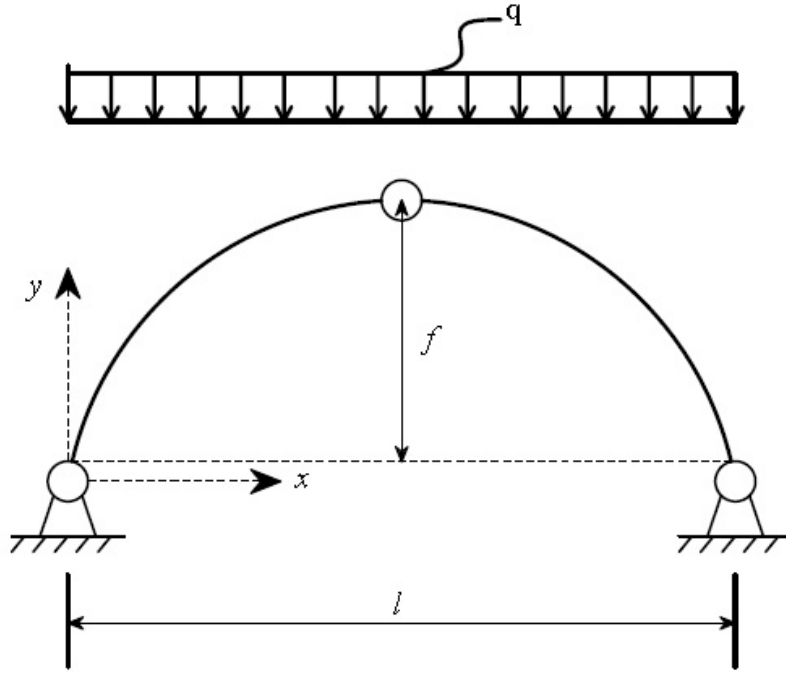
Kemer şekli kavramında aslında sadece kemerin eksen eğrisinin denklemi söz konusu değildir. Aynı zamanda kemer boyunca $EI(x)$ eğilme rijitliğinin değişimi de önemlidir. Eğilme rijitliği, kemerin amaçlanan yapısal özellikleri ve estetiği gibi şartlar dikkate alınarak beklenen (tahmin edilen) kesit tesiri dağılımlarına bağlı olarak kemer boyunca sabit veya değişken olabilir. Değişken olan eğilme rijitliği çoğunlukla kemer tepesindeki EI_C rijitliği cinsinden ifade edilir. E kemer malzemesinin elastisite modülü ve I_C de kemer kesitinin tepedeki atalet momentidir.

Bir kemerde verilen sabit bir yük altında kesitlerde oluşan (tüm kesitlerde) eğilme momentleri sıfır ise böyle bir kemere "momentsiz kemer" ya da "rasyonel kemer" adı verilir (Karnovsky, 2012). Belirli yükler altında momentsiz kemerlerin eksen eğrilerinin belirlenmesi özel çalışmalar gerektirir.

3.3.5.3. Üç mafsallı bir kemerde düzgün yayılı yük altında oluşan kesit tesirleri

Burada düzgün yayılı yük etkisinde bulunan üç mafsallı bir kemerde meydana gelen kesit tesirleri ele alınacaktır. Böyle bir kemer Şekil 3.9'da görülmektedir. Kemerin eksen eğrisi daire, parabol ya da başka bir eğri şeklinde olabilir. Kemere ait bir parça Şekil 3.10'daki gibidir.

Bu kemerin herhangi bir kesitindeki kesit tesirleri Şekil 3.10'da gösterilen parçanın dengesinden yazılabilir. Kemerde normal kuvvet (N), kesme kuvveti (T) ve eğilme momenti (M) olarak ortaya çıkan kesit tesirleri (x, φ) 'nin fonksiyonu olarak şöyle elde edilir. φ kemerde göz önüne alınan kesitte çizilen teğetin yatay eksenle yapmış olduğu açığı, x ise kesitin mesnete olan mesafesidir.



Şekil 3.9. Düzgün yayılı yük etkisindeki üç mafsallı simetrik dairesel bir kemer (Url-11)

Kuvvetlerin teğet üzerindeki izdüşümlerinin toplamının sıfır olması şartından normal kuvvet (3.5) ifadesindeki gibi elde edilir.

$$N(x, \varphi) = qx \sin \varphi - \frac{ql}{2} \sin \varphi - \frac{ql^2}{8f} \cos \varphi \quad (3.5)$$

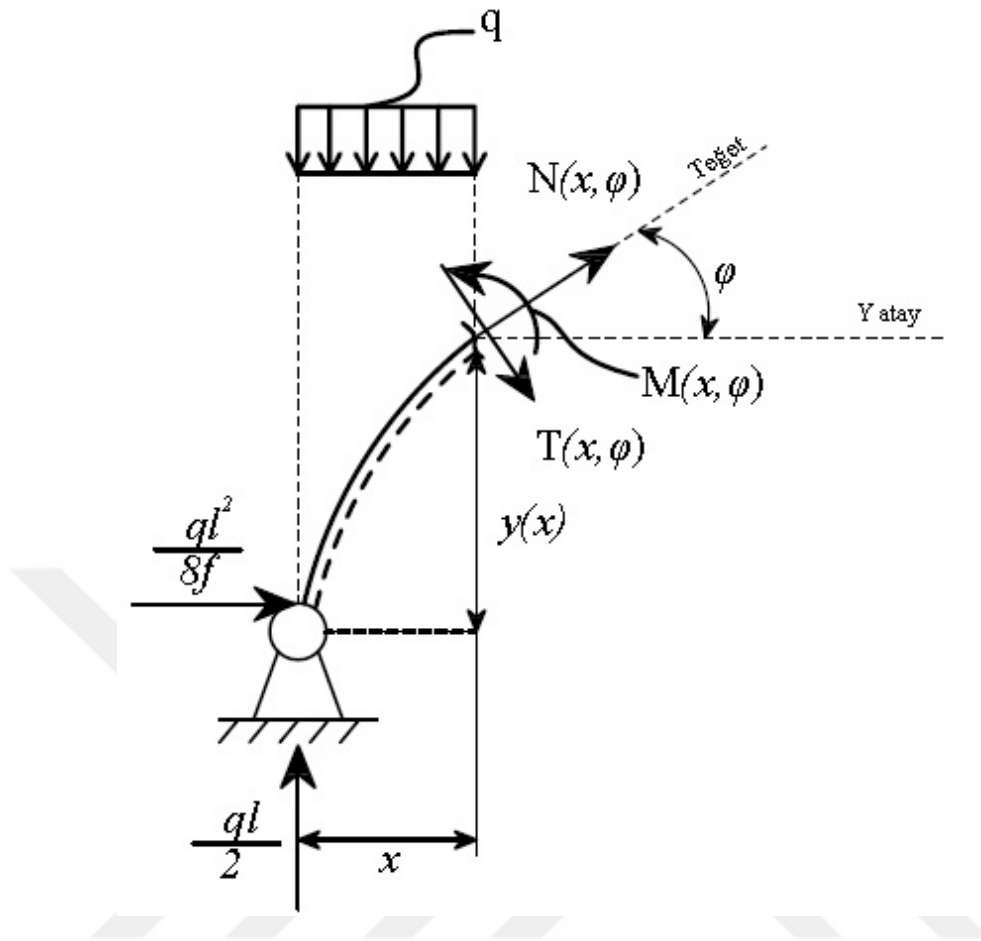
Kuvvetlerin teğete dik eksen üzerindeki izdüşümlerinin dengesinden yararlanılarak ise kesitteki kesme kuvveti aşağıdaki gibi elde edilir:

$$T(x, \varphi) = -qx \cos \varphi + \frac{ql}{2} \cos \varphi - \frac{ql^2}{8f} \sin \varphi \quad (3.6)$$

Kemerin kesitindeki eğilme momenti ise kemer parçası üzerindeki kuvvetlerin göz önüne alınan kesite göre yazılacak moment denge denkleminde:

$$M(x) = -\frac{qx^2}{2} - \frac{ql^2}{8f} y(x) + \frac{ql}{2} x \quad (3.7)$$

olarak belirlenir.



Şekil 3.10. Kemerin herhangi bir kesitindeki iç kuvvetler(Ur1-11)

3.4. Köprü Türleri

Bu bölümde öz olarak köprü türleri incelenecektir. Konuya ait ayrıntılar köprü mühendisliği ile ilgili kitaplarda ve diğer çalışmalarda bulunabilir.

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 ayrılabilir süre) olarak belirtilebilir.

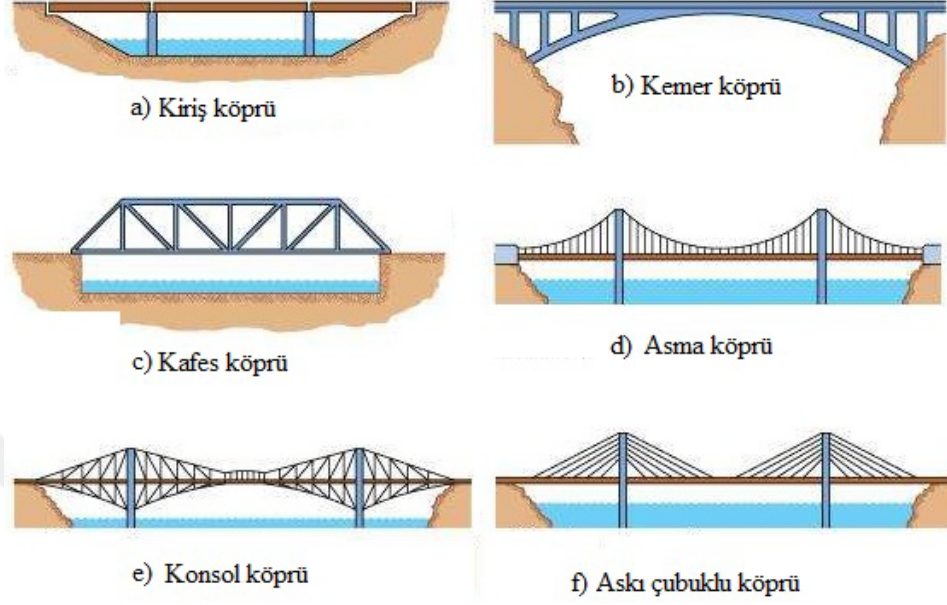
Köprü türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir(Şekil 3.11.):

- a) Kiriş köprü,
- b) Kemer köprü,
- c) Kafes köprü,
- d) Asma köprü,
- e) Konsol köprü,
- f) Askı çubuklu köprü.

Kiriş köprüler bir veya çok açıklıklı olabilir. Kirişler ise ara mesnetlere serbestçe oturabildiği gibi rijit şekilde de bağlanabilir. Bu köprülerde zati yükler ve hareketli yükler genel olarak kiriş kesitlerinin alt bölümlerinde çekme, üst bölümlerinde ise basınç gerilmeleri oluşturur. Bu tür köprüler bu gerilmelere dayanacak, ayrıca yer değiştirme kısıtları gibi diğer şartları sağlayacak şekilde boyutlandırılırlar. Kiriş köprüler özellikle karayolu ulaşım sistemlerinde yaygın olarak kullanılır.

Eğrisel eksen şekillerinden dolayı kendi ağırlıklarını ve taşınan yükleri genel olarak kesitlerinde oluşan basınç kuvvetleriyle taşıyıp mesnetlerine ileten kemer köprüler dünya tarihinde yaygın olarak kullanılmış bir köprü türüdür. Özellikle estetik güzelliklerinden dolayı bu gün de dünyanın çeşitli yerlerinde bu köprüler inşa

edilmektedir. Ülkemizde bu köprülerin kullanımının oldukça azaldığı, daha çok yaya üst geçidi köprülerinde kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 3.11. Köprü türleri (Url-1)

Kafes sistemlerde bilindiği üzere çubuklardan bazılarında çekme, bazılarında ise basınç kuvvetleri oluşur. Kafes köprülerdeki çubuk elemanlar bu kuvvetleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılırlar. Geçmişte hem demiryolu hem de karayolu ulaşım sistemlerinde çok yoğun kullanılmış olmasına karşılık günümüzde diğer köprü türlerinin gelişmesiyle kullanımları azalmıştır. Ancak yaya yolu köprülerinde kullanıldıkları görülmektedir.

İnsan nüfusunun artması ve buna bağlı olarak şehirlerin büyümesi daha kapsamlı ulaşım sistemlerini zorunlu kılmıştır. Bu çerçevede boğaz, derin ve geniş vadiler vb. yerlerin geçilmesi gerekliliği asma köprülerin ortaya çıkmasındaki önemli faktörlerdir. Bu köprülerin inşası yüksek mukavemetli çeliğin üretilip kullanılmasıyla mümkün olmuştur. Özellikle 20. yüzyılda dünyanın birçok yerinde bu köprüler yaygın olarak inşa edilmiştir. Japonya'daki Akashi-Kaikyo ve ülkemizdeki Fatih Sultan Mehmet Köprüsü bunlara iki örnektir.

Köprü mühendisliğine bakıldığında konsol köprülerin diğer köprü türlerine göre biraz geride kaldığı görülmektedir. İngiltere'nin İskoçya bölgesinde bir demir yolu köprüsü olan The Forth Rail Bridge bu köprü türünün ikon olmuş bir örneğidir. Günümüzde özellikle öngerilmeli beton malzeme ile bölümleri konsol türünde çalışan köprüler inşa edilmektedir.

Askı çubuklu köprüler günümüzde büyük açıklıkların geçilmesinde gözde olan köprüler arasındadır. Hong Kong'daki Stonecutters Köprüsü (Şekil 3.12) ve Rusya'nın Vladivostok şehrindeki Russky Köprüsü(Şekil 3.13) bu köprülere güzel iki örnektir. İstanbul'daki Yavuz Sultan Selim Köprüsü ise asma ve askı sistemlerinin birlikte uygulanmış olduğu bir köprüdür.



Şekil 3.12. Stonecutters Köprüsü (Hong Kong, Çin) (Url-2)



Şekil 3.13. Russky Köprüsü (Vladivostok, Rusya) (Url-3)

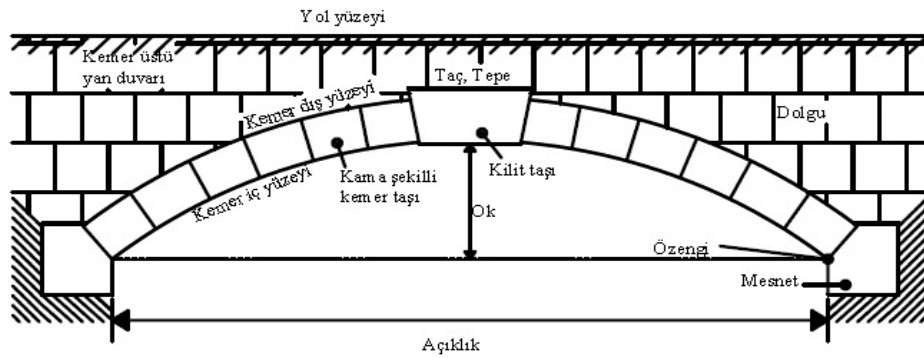


3.5. Malzemelerine Göre Kemer Köprüler

Bu bölümde yığma, çelik ve betonarme kemer köprüler özel olarak incelenecektir. Bu bağlamda bu köprülerin tarihsel gelişimi ele alınıp, bölüm örneklerle zenginleştirilecektir.

3.5.1. Yığma kemer köprüler

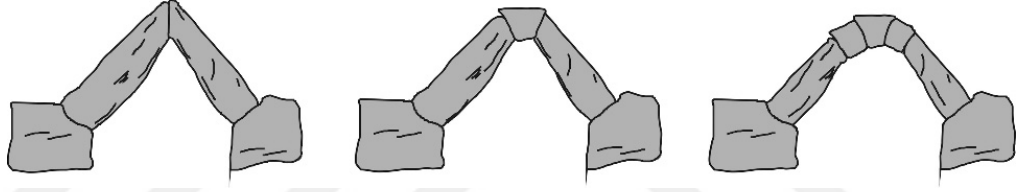
İnsanoğlunun çeşitli yapılar oluşturmada ilk kullandığı malzemeler ahşabın yanında taş ve tuğladır. Taş tuğlaya göre genel olarak dayanım ve dayanıklılığı açısından daha üstün bir malzemedir. Bununla birlikte çeşitli şekil ve kalitede tuğlalar tarih boyunca dünyanın birçok yerinde üretilip birçok değişik yapıda kullanılmıştır. Ancak hem taş hem de tuğla malzemenin önemli bir yetersizliği vardır; düşük çekme dayanımı. Bu yetersizlik insanoğlunun mesafeleri, özellikle nehirlerin geçilmesi esnasında söz konusu olan büyük mesafeleri 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 çatlamlar 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 3.14'de görülmektedir.



Şekil 3.14. Bir yığma kemer köprünün bölümleri

3.5.1.1. Yığma kemer köprülerin gelişimi

Kemer formu 19. yüzyılın sonlarına kadar özellikle köprülerde çoğunlukla tek alternatif olmuştur. Bu formun nasıl ve ilk defa nerede icat edildiği konusunda bir çok farklı teori vardır. Ancak bu teorilerin ispatı çoğunlukla yapılamamıştır. Milattan önce 4000'li yıllarda Ur şehrindeki kraliyet mezarlarında ilk tonozların kullanıldığı belirtilmektedir (Proske ve Gelder, 2009). Yine bir metreden büyük açıklığa sahip beşik tonozların yaklaşık 5000 yıl önce Mezopotamya'daki mezar odalarında uygulandığı belirtilmektedir. Bazı teoriler ilk kemerlerin Şekil 3.15'deki gibi kirişin evrimi sonucu ortaya çıkan ilkel tarzda kemerler olduğunu iddia etmektedir. Çeşitli araştırmacılar kemer köprülerin küçük dereler üzerinde inşa edilen basit taş yığınlarından geliştirildiğini ifade ederler.



Şekil 3.15. İkel kemerler (Proske ve Gelder, 2009)

Gelişmiş kemer köprülerin ortaya çıkmasındaki ilk ana aşama Etruscan'lar döneminde gerçekleşmiştir. Etruscan'lar Roma İmparatorluğu'ndan önce İtalya'nın orta-kuzey bölümlerinde iskân etmişlerdir. Bunlar kama şekilli taşlara sahip kemerlerin mucidi olarak görülmektedir. Etruscan'lar harcı bilmiyorlardı ve kama şekilli taşların uzantılarının dairenin merkezine doğru şekillendirilmesini düşük kalitede yapabiliyorlardı.

Kemer köprülerin gelişimindeki ikinci önemli aşama Roma İmparatorluğu döneminde gerçekleşmiştir. Romalılar sadece taşların yerleştirilmesindeki kaliteyi geliştirmemiş aynı zamanda harcı ve kemer ile kemer üstü duvarları (spandrelwalls) arasındaki bağlantıyı iyileştirmek için beşgen şekilli taşları icat etmişlerdir. Bu durum Şekil 3.16'da İspanya Alcántara'daki köprü gibi 36 metre açıklığa varan köprülerin inşa edilebilmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 3.16. Romalıların inşa etmiş olduğu Alcántara Köprüsü, İspanya, (Url-11)

İtalya'da Salario yakınlarındaki Anio'da bulunan köprü Romalıların inşa ettiği en eski köprülerdendir. Köprünün yapımı M.Ö. 600'lü yıllara tarihlenmektedir (Proske ve Gelder, 2009). Romalılar yarım daire kemeri çok yaygın olarak kullanmışlardır. Ancak böyle bir kemerde yükseklik (ok) / açıklık oranı 1/2 olduğundan bu durum birçok halde köprüye iki taraftan dik rampaların yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu ise hayvan gücüyle çekilen araçların geçişinde güçlükler doğurmuştur.

Mükemmel taş işçiliği ve sağlam temeller Roma kemer köprülerinin günümüzde bile hizmet verebilmesindeki ana unsurlardır. Romalılar şehirlerine su sağlamak için su kemerleri de inşa etmişlerdir. Bunların birçoğunda yine yarı dairesel kemeri kullanmışlardır (Hauck, 1986). Şekil 3.17'de görülen ve Fransa'nın Nîmes şehrinde bulunan Pontdu Gard bunların en güzel örneklerinden biridir.

Romalıların dışında Persliler de yaklaşık M.Ö. 500 ile M.S. 500 arasındaki bin yıl gibi uzun bir periyotta kemer köprüler inşa etmişlerdir. Bazı yazarlar Roma yapım stillerinin Pers köprü yapılarını kuvvetli şekilde etkilediğini belirtmektedir (Proske ve Gelder, 2009).

Romalıların masif (kütlesel, büyük) taş kemer köprüler yapmaya başlamasından kısa bir süre sonra Çin'de de taş kemer köprüler yapılmaya başlanmıştır. Ancak Çin'deki köprüler Roma köprülerine göre daha zarif olmuşlardır. Bu tip ilk köprü M.S. yaklaşık 282'de Luoyang'da inşa edilmiştir. O zamandan sonra Çin'de birçok kemer köprü yapılmıştır. Örneğin Şekil 3.18'de 1194'de inşa edilen Marco Polo köprüsü dünya çapında bilinen tarihi bir taş kemer köprüdür (Prose ve Gelder, 2009).



Şekil 3.17. Romalıların bir su kemeri olan Pontdu Gard(Url-12)



Şekil 3.18. Marco Polo tarihi taş kemer köprüsü, Çin(Url-13)

Roma İmparatorluğu'nun çöküşüyle Romalıların yol sistemi ve onlar üzerinde bulunan köprüler de değişik düzeylerde bozulmalara uğramıştır.

Bu durum söz konusu yol sistemi ve köprülerin bulunduğu bölgelerde ekonominin de olumsuz etkilenmesine yol açmıştır (Proske ve Gelder, 2009).

11 ve 12. Yüzyıllara gelindiğinde Avrupa'da köklü değişimler meydana gelmiştir. Şehirler büyümüş, şehirlerin sayısı artmış ve ticaretin canlanmasıyla birlikte taş kemer köprülerin inşası yeniden gerekli olmuştur. Avrupa'da Rönesans döneminde daire yayı şeklindeki kemer köprüler popülerite kazanmıştır. Ayrıca sepet kulpu gibi basık kemerler de gittikçe daha fazla inşa edilmiştir.

16. yüzyılın başlarında Leonardo da Vinci İstanbul'daki Haliçi'ni geçmek için bir kemer köprü tasarlamıştır. 276 metre açıklığında ve 57 metre yüksekliğinde tasarlanan köprünün tepedeki (crown) kalınlığı 9 metre yamaçlarla birleşim yerlerindeki kalınlığı ise 42 metre olarak düşünülmüştür. Ancak köprü bu cüretkar boyutları nedeniyle hayata geçirilememiştir (Clemente ve ark.,1995).

19. yüzyılın başlarına kadar taş kemer köprüler nehir ve vadilerin geçilmesinde tek alternatif olmuştur. Hatta 1970'li yıllara kadar örneğin Çin'de büyük açıklıklı taş kemer köprüler inşa edilmiştir. 112.5 metre açıklığında olan ve Yunnan'daki Nanpan nehri üzerinde 1961 yılında inşa edilen Changhung Köprüsü bunlara bir örnektir (Clemente ve ark., 1995).

3.5.1.2. Ülkemizdeki yığma kemer köprüler

Anadolu'da tarih öncesinden bu yana yaşayan insanlar, ortaya koydukları uygarlıklar içinde, ulaşım amacıyla çeşitli yapılar da meydana getirmişlerdir. Köprüler bu yapıların en önemlilerindendir (İlter, 1978).

Anadolu'da yüzyıllar boyunca Romalılar, Artukoğulları, Selçuklular ve Osmanlılar çok güzel kemer köprüler inşa etmişlerdir. Romalıların bir çok nehir üzerinde inşa ettiği köprülerin bazıları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Anadolu'daki Roma-Bizans döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları
(Alkan, 2011)

Köprü'nün Adı	Köprü'nün bulunduğu yer
Taşköprü (Seyhan, Sarus) Köprüsü	Seyhan / Adana
Asi Nehri Köprüsü	Merkez / Antakya
Cendere Köprüsü, Septimius Severus Köprüsü	Kahta / Adıyaman
Jüstinyen Köprüsü	Merkez / Sakarya
Misis Köprüsü	Ceyhan / Adana

Şekil 3.19'da verilen Cendere Köprüsü antik Cabinas (Cendere) Çayı üzerinde yer almaktadır. Köprü muhteşem bir kanyondan akan çayın iki tarafını birleştirdiği için bu isim verilmiştir. Adıyaman ili, Kâhta ilçesinde, Nemrut Dağı yolu üzerinde bulunmaktadır. Köprü Roma İmparatoru Septimius Severus'un (M.S. 193-211) emriyle o tarihte Samsat'ta (Somasata) karargâh kuran XVI. Lejyon tarafından yaptırılmıştır (Url-14).



Şekil 3.19. Cendere Köprüsü, Kahta / Adıyaman (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

Büyük Selçuklu İmparatorluğu'nun ünlü komutanları olan ve genellikle Cizre, Silvan, Harput, Çermik, Diyarbakır, Mardin ve kısmen Halep çevresini yurt edinen

Artukoğulları, bu bölge içinde var ettikleri çeşitli mimari eserlerle dikkati çekmiş bulunmaktadır. Köprü mühendisliğinde de epey yol alan Artukoğulları'nın başlıca yaptığı köprüler Çizelge 3.2'de verilmiştir (Çulpan, 2002).

Çizelge 3.2 Anadolu'daki Artukoğulları döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları (Çulpan, 2002)

Köprünün Adı	Köprünün bulunduğu yer
Hasankeyf: Dicle Köprüsü	Hasankeyf / Batman
Malabadi Köprüsü	Silvan / Diyarbakır
Dunaysır Köprüsü	Kızıltepe / Mardin
Cizre: Dicle Köprüsü	Cizre / Şırnak

Bu köprülerden Şekil 3.20'de verilen görünüşü ile şüphesiz en nadide ve farklı olanı Malabadi köprüsüdür. Malabadi köprünün mansap cephesindeki kitabesine göre 542/1147 tarihinde Mardin Artuklu Beylerinden Hüsametdin Timurtaş tarafından yaptırılmıştır. Diyarbakır ile Batman sınırında yer alan köprü, Diyarbakır Merkezine 104 km uzaklıkta, Çatak Köprüköyü yakınında, Batman Çayı üzerindedir(Çulpan, 2002).

Köprü her biri başka uzunlukta ve kırık hatlar halinde üç bölümden meydana gelmektedir. Hafif meyilli bir yol yapısına sahiptir. Köprünün kemer kısmı Nehrin en dar yerine oturtulmuştur. Kemer, orta kısımda, yaklaşık 40 metre açıklığında ve sivri şekildedir. Ana kemerin yanında sepet kulpu şeklinde 3 metre açıklığında bir tali kemer vardır. Bunların dışında köprünün çeşitli bölgelerinde üç adet daha açıklık bulunmaktadır. Köprünün boyu son durumda 190 metre, eni de korkuluk duvarı dâhil 7 metre civarındadır. Köprü renkli taşlar ile inşa edilmiştir,

Büyük kemerin iki tarafında 4.5 - 3.5 metre ölçülerinde, iki tane hafif kemerli yapıda odacıklar, odacıkların içinde ikişer tane büyük pencere bulunmaktadır. Büyük kemerin üzerinde geçişlerin kontrol edildiği iki kapı bulunmaktadır. Bunlardan doğuda olanı zamanla yıkılmıştır. Bu kapıların solundan köprü içerisinde bulunan odacıklara inen merdivenler bulunmaktadır.

Evliya Çelebi Seyahatnamesinde bu köprü hakkında şunları yazmaktadır: "Köprünün her iki tarafında kale kapıları gibi demir kapılar bulunmaktadır. Bu

kapılardan içeri sağ ve sol tarafta, cisrin temeli beraberliğindeki odacıklarda gelip geçenler misafir kalır. Bunlar demir pencereci kısımlarda oturup kemerin karşı tarafındaki ademler ile muhabbet ederler, bazıları da balık tutarlar. Bu köprü hendesindeki zariflik ve tam ahenk hiç bir köprüde yoktur. Gezdiğim yerlerde bunun kadar heybetli ve aynı zamanda korkunç köprü görmedim. Mimar, bütün maharetini göstermiştir. Hasılı bu köprünün medhinde lisan kasır (yetersiz) ve kalem kasır (kırık)'dir." (Çulpan, 2002).



Şekil 3.20. Malabadi Köprüsü Silvan / Diyarbakır(Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

Selçuklular da Anadolu'ya hakim olup burada devlet kurduktan sonra bir çok eserin yanında köprü de inşa etmişlerdir. Bu köprülerden en önemlileri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3'deki köprülerden günümüzde Çobandede Köprüsü olarak anılan Erzurum'daki Çoban Köprüsü'nü ele alalım. Köprü; Erzurum Köprükoy ilçesinde Aras Nehri üzerindedir. Kitabesi kısmen yıpranmakla birlikte, ilhanlılardan Ebu Said Bahadır Han zamanında, Gazan Mahmud'un vezirlerinden Emir Çoban Salduz tarafından M.S. 1297 yılında yaptırılmıştır (Çulpan, 2002).

Çizelge 3.3. Anadolu'daki Selçuklu döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları (Çulpan, 2002)

Köprü'nün Adı	Köprü'nün bulunduğu yer
Tekgöz Köprüsü	Kocasinan / Kayseri
Kesik Köprü	Merkez / Kırşehir
Sultan Alaeddin Köprüsü	Serik / Antalya
Çoban Köprüsü	Köprükoy / Erzurum

İnşaatı iki buçuk yıl süren bu yığma köprü; dış etkenlerden dolayı yıprandığı için yıllar içinde birçok kez onarım görmüştür. Sivri kemerli olan bu köprü, yedi tane farklı ölçülerdeki kemere sahiptir. Toplam uzunluğu 220 metre ve genişliği 8 metreden biraz fazladır. En büyük kemer açıklığı 13 metredir. İnşa edilen zemin yumuşak (sıvılaşma riski fazla olan zemin) olduğu için köprü temellerinde, bol horasan harcı içinde ardıç ağacından ızgara kullanılmıştır. Şekil 3.21'de görüldüğü üzere köprüde farklı renkte taşlar (siyah, kırmızı ve gri) kullanılmıştır. Köprü ayakları üzerinde bordür ve friz halindeki kabartma süsler mevcuttur (Çulpan, 2002).



Şekil 3.21. Çoban Köprüsü, Köprükoy / Erzurum(Url-15)

Osmanlılar döneminde Anadolu'da en son taş kemer köprü örnekleri sergilenmiştir. Çünkü sanayi devrimiyle birlikte birçok yapıda olduğu gibi köprü tasarımında da daha farklı malzemelere yönelim olmuştur.

Osmanlı İmparatorluğu beylikten imparatorluğa giden serüvende, toprakların genişlemesine müteakip elindeki toprakları bayındır hale getirmiş, burada gerek askeri gerekse ticari kaygılardan dolayı köprülere de büyük bir önem vermiştir. Özellikle bu devirde Anadolu'da köprü tasarımında çok ileri gidilmiştir. Bunlardan en önemli bir kaç tanesi Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Anadolu'daki Osmanlı döneminde yapılan yığma kemer köprülerden bazıları
(Çulpan, 2002)

Köprünün Adı	Köprünün bulunduğu yer
Uzun Köprü-Sultan II. Murad Köprüsü	Uzunköprü / Edirne
Emir Bayındır Köprüsü	Ahlat / Bitlis
Irgandi Köprüsü	Merkez / Bursa
Büyükçekmece Köprüsü	Büyükçekmece / İstanbul
Küçükçekmece Köprüsü	Küçükçekmece / İstanbul
Kırkgöz Köprüsü	Yazıhan / Malatya
Gazimihal Köprüsü	Merkez / Edirne

Osmanlı'nın en önemli köprülerinden olan Uzun Köprü dünyanın en uzun taş kemer köprüsüdür. Sultan II. Murad döneminde 1427 yılında başlanan köprü inşası 1443 yılında tamamlanmıştır. Köprünün orijinal ölçülerine göre boyu: 1392 metre olup 174 göze sahiptir. Genişliği 5.5 metredir. Sonradan geçirdiği onarımlar neticesinde köprü genişliği arttırılmıştır. Köprü üzerinde değişik anlamları olan kabartma ve süslemeler, yedi adet boşaltma gözü ve sel yaranlar mevcuttur. Ergene nehrinin taşkınlarının en yoğun olduğu mevsimlerde bile bu köprüden karşı kıyılara geçiş sağlanmaktadır (Çulpan, 2002). Köprünün bir görünüşü Şekil 3.22'de verilmiştir.

Uzunköprü'nün ustası Muslihittin Bey'dir. Günümüzde köprünün 164 kemeri ayakta. Köprübaşında yer alan ve sonradan taşınan çeşmesinin üzerinde orijinal hali Yunan işgalinde kazanmış olan Sultan II. Mahmud'un onarım yazıtını temsilen, günümüzde bu bölüme yeni harflerle yazılmış bir mermer kitabe koyulmuştur. Tamir kitabesinin alt ve üst kısmında "S" ve "C" kıvrımları ve gül motifleri mevcuttur. Günümüzde halen kullanılmakta olan köprünün, 2.55 metre yüksekliğinde, 4.50 metre genişliğinde üçgen biçimli tarih köşkü ve iki balkonu bulunmaktadır (Url-16).



Şekil 3.22. Uzun Köprü-Sultan II. Murad Köprüsü, Edirne (Url-16)

3.5.2. Betonarme kemer köprüler

Sanayi inkılabından sonra yapılarda kullanılan malzeme değişimi hızlanmıştır. 19. yüzyılda beton ve çeliğin yapılarda kullanılmaya başlanmasıyla, eski yığma yapı tasarımlarının çoğu yerini beton / betonarme yapılara bırakmıştır. Bu yapıdaki malzeme değişimi; insan ilişkileri, ticaret ve askeri ihtiyaçlar nedeniyle kendisini yol ve köprü mühendisliğinde de göstermiştir. Avrupa başta olmak üzere; ABD, Rusya, Çin ve nihayet diğer ülkeler de bu değişime ayak uydurmuşlardır.

3.5.2.1. Betonarme kemer köprülerin gelişimi

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. Kemer açıklıkları yaklaşık 100 yılda 8 kat artış göstererek, 50 metrelerden 450 metreler civarına ulaşmıştır. Önümüzdeki yıllarda kemer köprü açıklıklarının daha da artması doğal bir durum olacaktır (Url-17).

3.5.2.2. Dünyadaki betonarme kemer köprüler

Beton teknolojisine alışan dünyadaki ülkeler bu malzemeyi köprülerde de kullanmaya başlamıştır. Betonarmenin kullanıldığı ilk köprüler haliyle kemer köprüler olmuştur. Çünkü kemer formu tarih boyunca kullanılan bir formdu. Dünyanın betonarmeyi ilk kullanan bazı ülkelerinde inşa edilen betonarme kemer köprülerden önemli olanlarından bazıları Çizelge 3.5'de verilmiştir. Örneğin Şekil 3.23'de görülen ve 1997 yılında Çin'de hizmete açılan Wanxian Yangtze Köprüsü'nü ele alalım. Bu köprü güneybatı Çin'in Sichuan eyaletindeki Wanxian kenti yakınlarında büyük bir otoyol köprüsüdür. 1997 yılında hizmete açılan 856 metre uzunluğundaki köprü 429 metre kemer açıklığına ve 24 metre genişliğe sahiptir. Köprü yapıldığında dünyanın en uzun kemer açıklığına sahip köprüsü olmuştur (Xie, 2008). İkinci örnek olarak Şekil 3.24'de görülen ABD'deki Hoover Barajı Köprüsü betonarme kemer köprülere verilebilecek diğer mükemmel bir örnektir.

Çizelge 3.5. Dünyanın bazı ülkelerinde bulunan betonarme kemer köprülere örnekler (Şavor and Bleiziffer, 2008)

Köprü'nün Adı	Köprü'nün Lokasyonu
Hoover Dam Köprüsü	Nevada / ABD
Wanxian Yangtze Köprüsü	Sichuan / Çin
Infante D. Henrique Köprüsü	Porto / Portekiz
Beppu Myoban Köprüsü	Beppu / Japonya
Fiumarella River Köprüsü	Catanzaro / İtalya
Bloukrans Köprüsü	Western Cape / Güney Afrika
Gladesville Köprüsü	Huntleys Point / Avustralya
Third Millennium Köprüsü	Zaragoza / İspanya



Şekil 3.23. Wanxian Yangtze Köprüsü, Sichuan Eyaleti, Çin (Url-21)

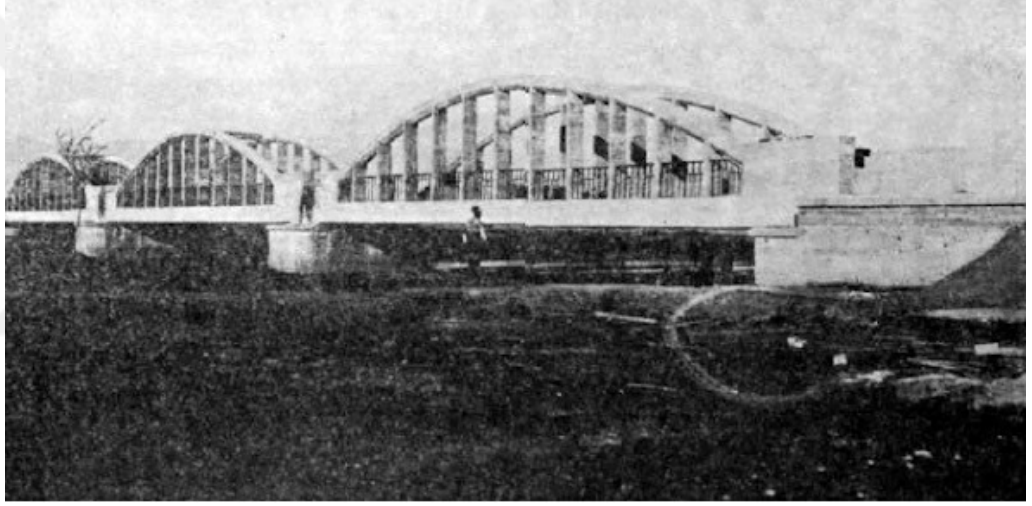


Şekil 3.24. Hoover Dam Köprüsü, Nevada, ABD (Url-19)

3.5.2.3. Ülkemizdeki betonarme kemer köprüler

Türkiye, Cumhuriyet ile birlikte dünyada değişen köprü teknolojisine ayak uydurmuştur. Ülkenin en çok köprü ihtiyacı olan bölgelerinde, betonarme köprüler yapılmaya başlanmıştır. Bu köprülerden bazıları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Cumhuriyet yönetiminin ilk işlerinden biri ülkenin ekonomik kalkınması için gerekli altyapı işlerinin halledilmesi idi. Şekil 3.25'deki Adagide Köprüsü de bu kapsamda ülkemizde erken dönem Cumhuriyet yapıları arasındaki ilk betonarme kemer köprü olmuştur.



Şekil 3.25. Adagide Köprüsü, İzmir (T.C. Nafia Vekaleti, 1933)

Çizelge 3.6. Türkiye Cumhuriyeti'ndeki betonarme kemer köprülerden bazıları (Url-23)

Köprü'nün Adı	Köprü'nün bulunduğu yer
Birecik Köprüsü	Birecik / Şanlıurfa
İsmet Paşa Köprüsü (Kömürhan köprüsü)	Baskil / Elazığ
Kirazlık Köprüsü	Merkez / Bartın
Paşur Köprüsü	Merkez / Siirt
Fevzipaşa Köprüsü	Merkez / Sinop
Eski Sakarya Köprüsü	Merkez / Sakarya
Zilek Köprüsü	Bismil / Diyarbakır
Adagide Köprüsü	Ödemiş / İzmir

Ülkemizde 1924 yılından itibaren köprü inşasında yeni safhaya geçilmiştir. Daha önce yalnız ahşap, demir ve taş köprüler inşa edilirken, bu tarihten itibaren betonarme köprülerin inşasına başlandı.

Ahşap köprüler genelde çok dayanıksız olmaları ve sürekli tamire muhtaç olmaları, demir köprüler ise malzemesinin tamamıyla yabancı ülkelerden ithal edilmesi ve taş köprülerin hem maliyetinin yüksek, hem de inşa sürelerinin uzun olması nedeniyle ülkemizde ilk olarak Adagide Köprüsü betonarme bir kemer köprü olarak inşa edilmiştir (Url-20). Köprü teknolojisinin gelişmesiyle ülkemizde betonarme kemer köprü formu artık çok az tercih edilir olmuştur. Bu aslında üzücü bir durumdur. Çünkü bin yıllarca uygulanmış bu özel formun bu gün de en azından belirli bir düzeyde devam ettirilmesi doğal olarak arzu edilen bir şeydir.

3.5.3. Çelik kemer köprüler

Ana kemer için kullanılan malzeme ile, bir kemer köprüsü beş kategoride, yani yığma (taş ve tuğla), beton, betonarme, betonla doldurulmuş çelik boru ve çelik kemer köprüler olarak sınıflandırılabilir. Çelik kemer köprüler ancak 1800'lerin sonlarından itibaren inşa edilmiştir. İnşa edilmeleri II. Dünya Savaşı öncesi yaygınlaşmaya başladı ve çeliğin köprü yapımı için daha uygun hale geldiği görüldü. Savaştan sonra önemli ölçüde çelik köprü yapımı işi genişledi. Çelik kemerler esnek form seçenekleri, sağlamlıkları ve maliyet açısından makul olmaları nedeniyle dünyada yaygın kabul görmüştür. Geliştirilen yeni malzemeler, ürünler ve tasarım olanakları sayesinde son yıllarda birçok köprü tipi mevcut olsa da, çelik malzeme kemer köprüler de dünyadaki ana köprü malzemelerinden biri olmaya devam etmektedir. Çelik kemer köprülerin tasarımı ve inşaatı alanında dünya çapında pek çok başarılı örnek ortaya konmuştur (Url-22).

3.5.3.1. Çelik kemer köprülerin gelişimi

Kemer köprülerin evrimi yapı malzemeleriyle yakından ilgilidir. Çelik üretim tekniğindeki gelişmelerden kaynaklanan bu tür bir evrim, tüm sanayi alanında yaygın bir konudur. Demir ve çeliğin yoğun üretimi, bu malzemenin büyük açıklıklı kemer köprülerde kullanımına imkân sağlamıştır. Dünyanın ilk dökme demir köprüsü İngiltere'de yapımı 1779'da tamamlanan Coalbrookdale Köprüsü'dür. Bu dönemde ayrıca Fransa'nın Massif şehrinde Garabit Köprüsü (1884) ve Portekiz'in Porto şehrinde Maria Pia Köprüsü (1877) inşa edilmiştir (Chen ve ark., 2013).

3.5.3.2. Dünyadaki çelik kemer köprüler

Çelik kemer köprüler ilk kez ABD'de inşa edilmeye başlanmıştır. 1874'te tamamlanan Eads Köprüsü ve 1916'da inşa edilen HellGate Köprüsü bunlara örnek olarak verilebilir. 1932'de Avustralya'da yapılan Sydney Liman Köprüsü ile yine ABD'de yapılan Bayonne Köprüsü ve New River Gorge Köprüsü çelik kemer köprülere verilebilecek diğer güzel örneklerdir (Chen ve ark.,2013). Çizelge 3.7'de çelik kemer köprülere birkaç örnek verilmiştir.

Çizelge 3.7.Dünya'nın çeşitli ülkelerindeki çelik kemer köprülere örnekler (Url-22)

Köprünün Adı	Köprünün bulunduğu yer
New RiverGorge Bridge	West Virginia / ABD
Chaotianmen Bridge	NananQu / Çin
Bosideng Bridge	Heijang / Çin
Bayonne Bridge	New Jersey / ABD
Sydney Harbour Bridge	Sydney / Avustralya
Cape Creek Bridge	Florence South Karolina / ABD
AarebrückeArch	Grenchen / İsviçre
HulmeArch Bridge	Manchester / İngiltere
TheLuiz I Bridge	Porto / Portekiz
JuscelinoKubitschek Bridge	Federal Bölge / Brezilya



Şekil 3.26. Chaotianmen Köprüsü, NananQu / Çin(Url-22)

Şekil 3.26'da görülen Chaotianmen Köprüsü Çin'de Yangtze Nehri'nin üzerinde bulunmaktadır. Köprü 552 metre ana açıklığa sahiptir. Kesintisiz çelik bir kafes kemer köprü olan bu yapı bir mühendislik harikasıdır (Url-22).

Şekil 3.27'de görülen Avustralya'nın Sydney şehrindeki Sydney Liman Köprüsü dünyanın en güzel çelik kemer köprülerinden biridir.



Şekil 3.27. Sydney Limanı Köprüsü, Sydney / Avustralya (Url-22)



Şekil 3.28. New River Gorge Köprüsü, West Virginia / ABD (Url-22)

ABD'deki New River Gorge Köprüsü (Şekil 3.28), çelik kemer köprülere verilebilecek diğer güzel bir örnektir.

3.5.3.3. Ülkemizdeki çelik kemer köprüler

Çeliğin yaygınlaşmasıyla birlikte çok geç de olsa Türkiye'de de çelik malzemeden kemer köprüler inşa edilmiştir. Ancak Anadolu'da Osmanlı Devleti'nin yıkılış sürecinde olması, daha sonra birçok savaşa katılması ve 1. Dünya Savaşı'ndan sonra zayıflayarak yıkılması, Cumhuriyetin kurulması Anadolu topraklarının çalkantılı bir dönem geçirmesine sebep olmuştur. Bu durumlar ekonomik problemleri de beraberinde getirmiştir. Avrupa, Amerika ve diğer güçlü ülkeler sanayinin de gelişmesiyle birlikte o döneme göre devasa çelik kemer köprüler yaparken ülkemiz bu yarışta geride kalmıştır.

Türkiye'de inşa edilen çelik yapıların yaklaşık %60'ı endüstriyel yapılardır. Buna kuleler ve enerji alt yapı yatırımları da dâhil edilirse bu oran % 90'lara ulaşır. Ticari yapılar ve köprüler ise kalan %10'luk payı oluşturmaktadır (TUCSA, 2005).

Günümüz Türkiye'sinde Cumhuriyetin kuruluşundan itibaren çok az sayıda çelik kemer köprü yapılmıştır. Çünkü bu yapıların yapılması, daha sonra bakım ve onarımının yapılması büyük bütçeler gerektirir. Çizelge 3.8'de ülkemizde inşa edilen çelik kemer köprülerden bir kaç tanesi listelenmiştir.

Çizelge 3.8. Türkiye Cumhuriyeti'ndeki çelik kemer köprülerden bazıları (Bayraktar ve ark., 2015;Url-23)

Köprü'nün Adı	Köprü'nün bulunduğu yer
Çamçavuş Köprüsü	Susuz / Kars
Kanyon Köprü	Merkez / Karabük
Bayraklı Üst Geçit Köprüsü	Bayraklı / İzmir
Vadi Köprüsü	Dikmen / Ankara
Borçka Köprüsü	Borçka / Artvin
Dikmen Çelik Köprü	Dikmen / Ankara
Manavgat Altınköprü	Manavgat / Antalya

Çizelge 3.8'de verilen köprülerden biri olan Artvin Borçka Köprüsü, Artvin İlinin Borçka ilçesinde yer alan, kemer taşıyıcı sisteme sahip bir çelik kemer köprüdür. Köprü, Çoruh Nehri üzerinde olup, 1936 yılında tamamlanmıştır. Bu köprü, Alman mühendislerce projelendirilerek inşa edilmiştir. Köprü'nün kenar ayakları taş yığma duvar, taşıyıcı sistem elemanları ise çelik malzemeden olup, bağlantı noktaları perçinlidir. Köprüye ait iki görünüş Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'de verilmiştir (Bayraktar ve ark., 2015).



Şekil 3.29. Borçka Çelik Kemer Köprüsü, Borçka / Artvin (Bayraktar ve ark., 2015)



Şekil 3.30. Borçka Çelik Kemer Köprüsü, Borçka / Artvin (Bayraktar ve ark., 2015)

3.6. Kemer Köprülerin Avantajları, Dezavantajları ve Kemer Köprülerin Geleceği

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

1) Kemer köprüler estetik yapılardır. Kemer formunun ve dolayısıyla kemer köprülerin güzel görünmediğini ifade eden pek kimse olmamıştır. Bu gayet doğal bir durumdur. Çünkü kemer köprüler köşeli, göze batan sivrilikler içeren kısımları olmayan, eğrisel ve dolayısıyla tabiatla doğal bir uyum sergileyen yapılardır. Gökkuşağını andıran şekilleri bu köprüleri doğal olarak güzel göstermektedir.

2) 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. Çünkü bilindiği gibi gevrek yapıli malzemeler olan taşların ve tuğlaların basınç dayanımları gayet iyidir.

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

4) 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 düşürülebilmiştir. İki

tarafından konsol uzatımı tekniği ile betonarme kemer köprüler çok pratik bir şekilde günümüzde inşa edilebilmektedir.

Örneğin Şekil 3.31'de İsviçre'de bu teknikle inşa edilen Tamina betonarme kemer köprüsünün inşasından bir fotoğraf görülmektedir. Bu köprü'nün taşıyıcı kemerinin tamamlanmak üzere olan halinin bir görüntüsü ise Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Tamina betonarme kemer köprüsünün (İsviçre) tabliyesinin inşa edilişi (Url-24)



Şekil 3.32. Tamina betonarme kemer köprüsünün (İsviçre) kemerinin konsol uzatımı tekniği kullanılarak tamamlanmak üzere olan hali (Url-24)

5) 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. Dünyanın bir çok ülkesinde bu yüzden günümüzde büyük açıklıklı betonarme ve çelik kemer köprüler inşa edilmeye devam edilmektedir.

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

3.6.2. Kemer köprülerin dezavantajları

1)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 köprünün mesnetlerine doğru basınç gerilmelerinin büyümesine neden olur. Dolayısıyla yığma kemer köprülerde açıklık genel olarak sınırlı düzeylerde kalır.

2)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.

3) 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

Kemer köprüler, geçmişte olduğu gibi gelecekte de insanların ihtiyaçları için inşa edilecektir. Günümüzde insan nüfusunun artması, mevcut yerleşim yerlerinin genişlemesi veya yeni yerleşim yerlerinin kurulması bunların ulaşım ihtiyaçlarını da beraberinde getirmektedir. Yeni yollar, köprüler, alt geçitler vb. altyapılar da gelişme göstermektedir. Özellikle engebeli arazilerde, nehirlerin ve derin vadilerin geçilmesinde köprüler inşa edilecektir. Bu köprülerin bir kısmının da kemer köprüler olacağı açıktır.

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 tutturmayı 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 aslında tabiatla çok da 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.



Şekil 3.33. Hoover Barajı (ABD) betonarme kemer köprüsünün konsol uzatımı tekniği ile yapımı (Url-25)

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 köprünün 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. Aynı yöntem çelik kemer köprülerde de uygulanabilmektedir. Bu yöntem ile inşa edilen modern kemer köprülere örnekler Şekil 3.33, 3.34 ve 3.35'de verilmiştir.



Şekil 3.34. Almonte Nehri (İspanya) betonarme kemer köprüsünün konsol uzatımı tekniği ile yapımı (Url-26)



Şekil 3.35. Daxiaojing Köprüsü (Çin) çelik kemerinin konsol uzatımı tekniği ile yapımı (Url-27)

3.7. Şanlıurfa İl Merkezindeki Tarihi Kemer Köprüler

3.7.1. Şanlıurfa'nın tarihçesi

Tarihte birçok medeniyete ev sahipliği yapan Şanlıurfa bulunduğu bölgede önemli bir yere sahiptir. Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda şehrin geçmişinin M.Ö. 5000-8000 yıllarına dayandığı belirtilmektedir. Tarihte şehirde birçok su kaynağının mevcut olduğu Şanlıurfa'da yaşanan kuraklıklar ve bitki örtüsünün değişmesinden dolayı bu su kaynakları günümüzde çok azdır.

Şanlıurfa'daki köprülerin çoğu şehir merkezinden geçen Karakoyun deresi üzerinde inşa edilmiştir. Bu köprüler Çizelge 3.9'da listelenmiştir (Kürkçüoğlu, 1992).

Çizelge 3.9 Şanlıurfa'da bulunan kemer köprülerden bazıları (Kürkçüoğlu, 1992)

Köprünün Adı	Köprünün bulunduğu yer
Hızmalı Köprü	Karakoyun Deresi
Millet Köprüsü	Karakoyun Deresi
Samsat Köprüsü (Eski Köprü)	Karakoyun Deresi
Hacı Kamil Köprüsü	Karakoyun Deresi
Kıyas (Beykapısı) Köprüsü	Karakoyun Deresi
Justinyen Su Kemerleri	Karakoyun Deresi
Bahçeler Köprüsü (Demirkapı Köprüsü)	Karakoyun Deresi
Cavsak Köprüsü	Cavsak Çayı
Karaköprü	Karaköprü Çayı

3.7.1.1. Hızmalı Köprü

Karakoyun deresi üzerinde en batıdaki köprüdür,(Şekil 3.36). Günümüze kitabesi yetişmediğinden yapılış tarihi hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak köprü ayağının doğu tarafında bulunan kitabede 1843 tarihinde Muhammed Sait isminde birisi tarafından onarıldığı tespit edilmiştir. Düzgün kesme taşlardan inşa edilen köprünün orta kısmındaki bir ayak üzerine oturan iki büyük kemerin üzerinde ayrıca iki kemer bulunmaktadır. Üzerindeki gizli su kanallarından bu köprünün aynı zamanda bir su kemeri görevi gördüğü anlaşılmaktadır.

Ayrıca eski fotoğraflardan köprünün baş kısmında bir su terazisinin olduğu da tespit edilmiştir (Kürkçüoğlu, 1992).



Şekil 3.36. Hızmalı Köprü, Şanlıurfa (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

3.7.1.2. Millet Köprüsü

Eski Millet Hastanesi'nin önünde olmasından dolayı halk arasında Millet Köprüsü olarak anılmıştır. Kuzey güney yönünde uzanan köprü kesme taşlardan inşa edilmiş olup, altı adet yüksek ayak üzerine oturmuştur. Şekil 3.37'de köprünün genel bir görünüşü verilmiştir. Yedi adet kemer gözüne sahip bu köprü bir çok onarım görmüştür. Bu köprünün de korkuluk altındaki su kanallarından aynı zamanda bir su kemeri olarak da kullanıldığı görülmektedir (Kürkçüoğlu, 1992).



Şekil 3.37. Millet Köprüsü, Şanlıurfa (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

3.7.1.3. Samsat Köprüsü (Eski Köprü)

Tarihi Urfa Şehri surlarının Samsat Kapısı çıkışında yer alan ve Samsat'a yol veren bu köprü, çift kemerli olup kesme taştan inşa edilmiştir. Samsat Kapısı ve çevresindeki surlar günümüze yetişmemiştir.

1926 tarihli Urfa Salnamesi'nde isminin "Eski Köprü" olarak geçmesi bu köprü'nün Karakoyun deresi üzerinde inşa edilen en eski köprü olduğunu düşündürmektedir. 6. yüzyılın ilk yarısında Bizans İmparatoru Jüstinyen zamanında açılan su kanalı (Karakoyun Deresi) ile birlikte yapıldığı kuvvetle muhtemeldir (Kürkçüoğlu, 1992). Şekil 3.38'de köprü'nün günümüzdeki görünüşü görülmektedir.



Şekil 3.38. Samsat Köprüsü, Şanlıurfa (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

3.7.1.4. Hacı Kamil Köprüsü

Şanlıurfa şehir surlarının Saray Kapısı çıkışında olan bu köprüyü (Şekil 3.39), Urfa Valisi Ethem Paşa zamanında Hacı Yusuf Kâmil Bey 1903 yılında yaptırmıştır.

İki sıra halinde kalın beyaz taş payeler (ayaklar, sütunlar) üzerindeki köprü şehrin içerisinden geçen Karakoyun Deresi üzerindeki köprülerin en büyüğü durumundadır. Üzerinde de otel ve dükkânlar bulunmaktadır. Yapıldığı yıllarda şehrin dışında olan bu köprü, günümüzde şehir merkezindedir. 1939 yılında da köprü'nün batısına betonarme bir köprü yapılmıştır (Kürkçüoğlu, 1992).



Şekil 3.39. Hacı Kamil Köprüsü, Şanlıurfa (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

3.7.1.5. Kısa (Beykapısı) Köprüsü

Eski şehir surlarının Bey Kapısı çıkışında bulunan ve Kısa'a geçiş veren yerde bulunan iki kemerli bu köprünün kitabesi bulunmadığından yapım tarihi kesin değildir. VI.yüzyılın ilk yarısında Samsat Köprüsü ile birlikte yapıldığı sanılmaktadır (Kürkçüoğlu, 1992). Köprü günümüze ulaşmamıştır. Şekil 3.40'da köprünün bir görünüşü verilmiştir.

3.7.1.6. Bahçeler Köprüsü (Demirkapı Köprüsü)

Şanlıurfa il merkezinde Halil'ür Rahman Suyu ile Karakoyun Deresi'nin birleştiği yerde bulunan bu köprü eski Akçakale yolunu Urfa'ya bağlamaktadır. XX.yüzyılın başlarında yapılan bu köprü iki gözlü ve kesme beyaz taştan yapılmıştır.

Akçakale-Urfa arasında yeni yolun yapılması ile bu köprünün batısına yeni bir köprü yapılmış ve Bahçeler Köprüsü de önemini yitirmiştir (Kürkçüoğlu, 1992). Şekil 3.40'da köprünün bir görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.40. Beykapısı (Kısa) Köprüsü (solda) ve Bahçeler Köprüsü (Demirkapı) (sağda) (ŞURKAV, 2013)

3.7.1.7. Cavsak Köprüsü

Şanlıurfa il merkezinin kuzeyinde, Cavsak Çayı üzerinde bulunan bu köprü'nün yapım tarihi kesinlik kazanamamıştır. 1980'li yıllarda yol genişletilmesi sırasında köprü de beton ilavelerle genişletilmiş ve özelliğini yitirmiştir (Kürkçüoğlu, 1992).

3.7.1.8. Kara Köprü

Şanlıurfa'nın 5 km kuzeyinde Karaköprü Köyü Çayı üzerinde bulunan bu köprüyü Mehmet Kâmil Bin Yahya Bin Hüseyin 1863 yılında yaptırmıştır. Köprü siyah bazalt taşından yapılmış olup tek kemerlidir(Kürkçüoğlu, 1992). Köprü Şekil 3.41'de de görüldüğü üzere yol genişletme çalışmaları sırasında yıktırılmıştır.



Şekil 3.41. Kara Köprü'nün yıkım çalışmaları sırasında çekilen bir fotoğrafı (Url-29)

3.7.1.9. Jüstinyen Su Kemerini

Karakoyun Deresi üzerinde, Millet Köprüsü'nün doğusunda yer alan ve kentin kuzey yakası açıklarındaki “Kehriz Suyu”nun şehre aktarılması amacıyla yaptırılan bu eser, Roma dönemine ait “Su Kemerini” (aqueduct) mimarisinin Urfa'daki tek örneğidir. Bu kemerin, 525 senesindeki büyük sel afetinden sonra Bizans İmparatoru I. Jüstinyen tarafından açtırılan “Jüstinyen Kanalı” (Karakoyun Deresi) ile birlikte yaptırıldığı, Karakoyunlu Türk Beyliğı zamanında kanalın genişletilip derinleştirilmesi sırasında onarımdan geçirildiğı tahmin edilmektedir (ŞURKAV, 2013).

Şekil 3.42'de de görüldüğü gibi bu yapılar değişik zamanlarda onarımlar geçirmişlerdir. Günümüzde yukarıda bilgileri verilen çoğu Karakoyun Deresi üzerinde bulunan bu köprülerin etrafında gerekli düzenleme çalışmaları yapılmıştır. Şanlıurfa ile özdeşleşmiş olan bu kültürel miraslarımız, şehrimize birleştirici bir hava katmışlardır.



Şekil 3.42. Justinyen Su Kemerini, Şanlıurfa (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

3.8. Çarpıran (Dört Ulular-1) Kemer Köprüsü'nün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

3.8.1. Köprü'nün konumu ve tarihçesi

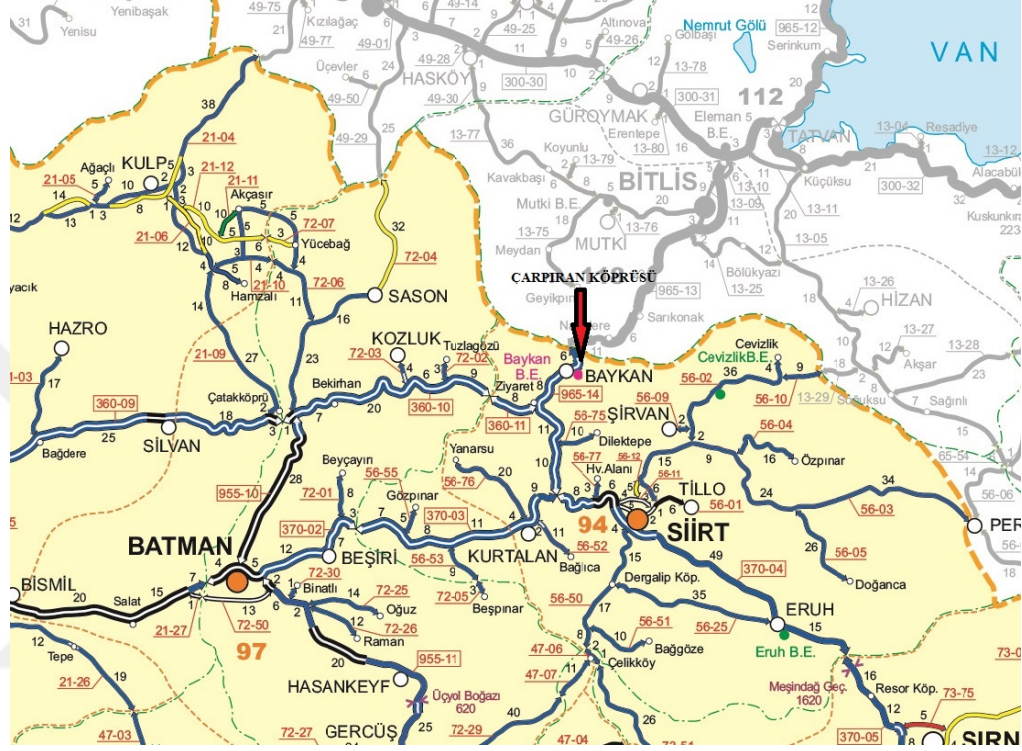
Eski dönemlerden beri tarihsel kimlik kazanmış kültürel varlıklarımız en önemli miraslarımızdır. Bu kültürel mirasların korunması bunların varisleri olarak bizlerin sorumluluğundadır. Ülkemizde kültürel mirasımız olan birçok tarihi eser bulunmaktadır. Bunların içinde en önemli olanlarından bazıları ulaştırma yapılarıdır. Anadolu'da kurulan medeniyetlerin inşa ettikleri yığma kemer köprüler tüm ülkenin yüzeyine yayılmış durumda ve oldukça çok sayıdadır.

Dünyada ve ülkemizde yığma kemer köprülere her bölgede ve her şehirde rastlanmaktadır. Her medeniyet coğrafi şartlara ve farklı tekniklere göre değişik özellikte yığma kemer köprüler inşa etmiştir. Ülkemizde özellikle Roma medeniyeti bu durumu başlatmıştır. Yapılan köprüler inşa eden medeniyete ve buldukları konuma göre değişik özelliklerdedir. Bunlar malzeme (taş ve tuğla) ve geometrik yapı olarak farklılık gösterebilmektedir.

Çalışmanın bu kısmında Siirt İli'nin Baykan İlçesi'nde bulunan Çarpıran Köprüsü incelenecektir. Köprü Baykan'ın 3 km doğusunda Botan çayına yakın bir yerdedir,(Şekil 3.43). Aslında Çarpıran ismi burada bulunan iki köprüye de verilmiştir. E99 karayoluna yakın olan köprü dört kemerli olup Botan Çay'ı üzerindedir. Çalışmamız kapsamına giren asıl köprü ise Botan Çay'ına karışan küçük bir dere üzerinde ve tek kemerli bir yığma köprüdür. Bu köprü'nün inşaat tarihi yazı plakası (kitabesi) kaybolduğu için tartışmalıdır. Köprü'nün inşaat tarihi 16. veya 17. yüzyıl olarak tahmin ediliyor. Köprü "DörtUlular Köprüsü" olarak da bilinir (Url-28).

Köprü Osmanlı döneminde yapılmış olsa da, mimari stilleri daha önceki Selçuklu modellerine benzemektedir. Kesme taş bloklardan ve molozlardan yapılmıştır (Url-28).

Ayrıca Şekil 3.44'de onarım sonrası yapılan köprü kitabesinde köprü Dört Ulular-1 Köprüsü olarak adlandırılmış, 17. yy Osmanlı Dönemi eseri olduğu ve 2017-2018 yılları arasında Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü tarafından restore edildiği yazılmıştır.



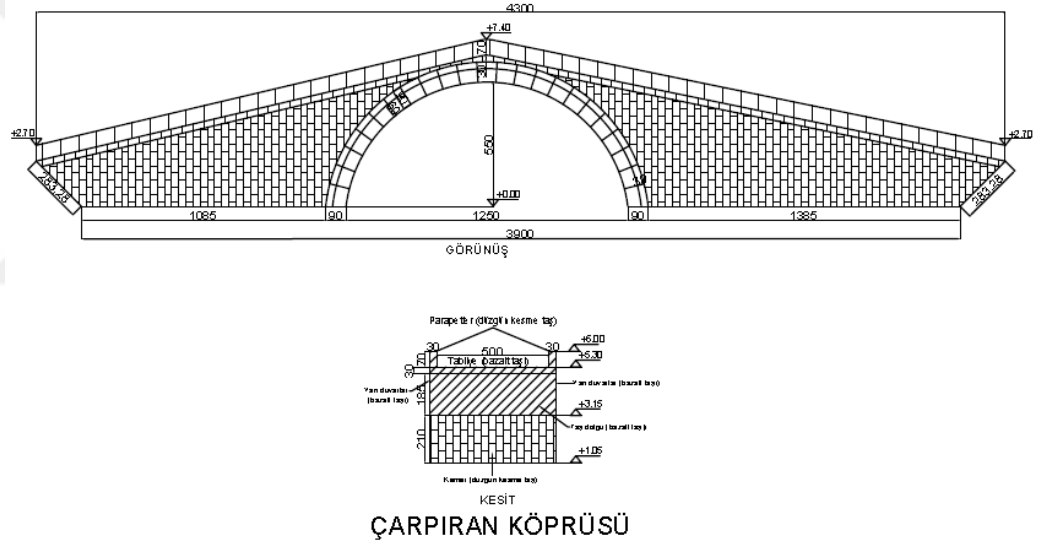
Şekil 3.43. Çarpıran Köprüsünün konumu (Url-30)

3.8.2. Köprünün geometrik ve malzeme özellikleri

Köprü; kemer, yan duvarlar, döşeme, parapet ve moloz dolgudan meydana gelmektedir. Kemer, parapetler ve alt döşemede sarı renkli kalker taşı, yan duvarlarda ve üst döşemede ise bazalt taşı (siyah renkli) kullanılmıştır. Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'da görüldüğü gibi köprünün uzunluğu 43 metre, eni 5.6 metre, kemer yüksekliği 5.5 metre, kemer açıklığı 12.5 metredir. Köprünün menba tarafının solundaki sonradan güçlendirme amaçlı yapılan teras ve köprünün giriş ve çıkışındaki hafif genişlik projede dikkate alınmamıştır.



Şekil 3.44. Çarpıran Köprüsü onarım sonrası görünüşü ve yeni kitabesi (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)



Şekil 3.45. Köprüün boy ve bir enkesi (Proje: Mehmet TANRIVERDİ)



Şekil 3.46. Çarpıran Köprüsü menba yüzü (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

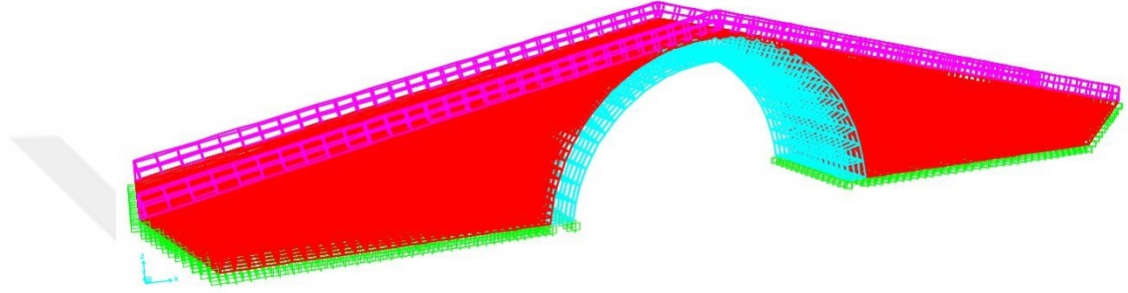


Şekil 3.47. Çarpıran Köprüsü mansap yüzü (Fotoğraf: Mehmet TANRIVERDİ)

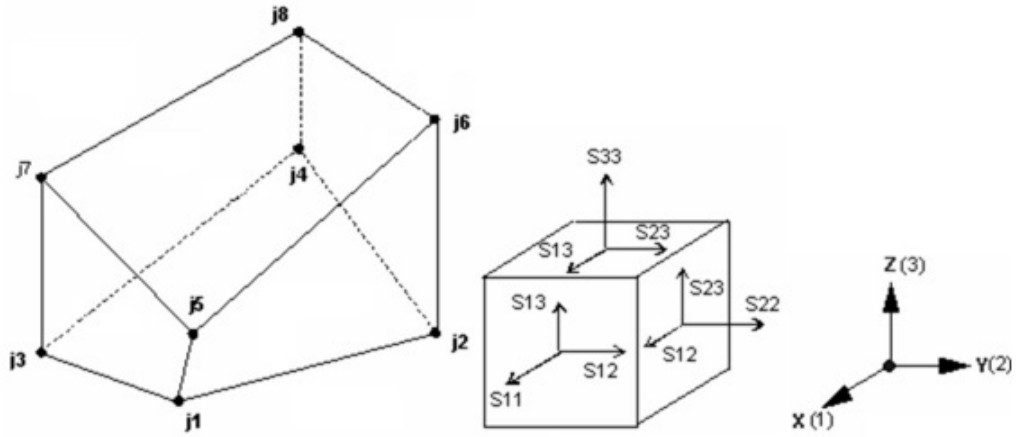
3.8.3. Yapısal analiz

Ele alınan Çarpıran Köprüsü SAP2000 (v.20.1.0) bilgisayar programı ile modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanan modelde shell elemanlar kullanılarak solid eleman oluşturulmuş duvarlar ve parapetler 25 cm, kemer ise 40cm

boyutlarında taş olacak şekilde modellenmiştir. Modelde 39932 adet düğüm noktası, 34256 adet 3-boyutlu (SOLID) eleman kullanılmıştır, (Şekil 3.48). Solid eleman üç boyutlu yapıların modellenmesinde ve analizinde kullanılan sekiz düğüm noktasına sahip bir elemandır. Solid elemanda analiz sonuçları S11, S22 ve S33 olarak gösterilir. S11 X doğrultusundaki gerilme olarak tanımlanırken, S22 Y ve S33 Z doğrultularındaki gerilmeler olarak tanımlanır(SAP2000, 2018). Solid elemanda tanımlanan gerilmeler, eksenler ve solid eleman Şekil 3.49'da verilmiştir.



Şekil 3.48. Çarpıran Köprüsünün hesap içi oluşturulan sonlu elemanlar modeli



Şekil 3.49. SAP200'de solid eleman ve solid elemandaki gerilmeler (SAP2000, 2018)

Çarpıran Köprüsünün malzemeleriyle ilgili ayrıntılı bir çalışma yapıлып, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi imkanı olmamıştır. Bundan dolayı literatürde bulunan değerlerden yararlanılmıştır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Çarpıran kemer köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri (YİDRYK, 2017)

Malzeme	Elastisitemodülü (N/mm ²)	Poisson oranı	Birim hacim Ağırlığı (kgf/m ³)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)
Duvarlar	3600	0.2	2710	80	8
Taş kemer	2250	0.2	2640	1.20	0.12
Parapet ve döşeme	2250	0.2	2640	1.20	0.12

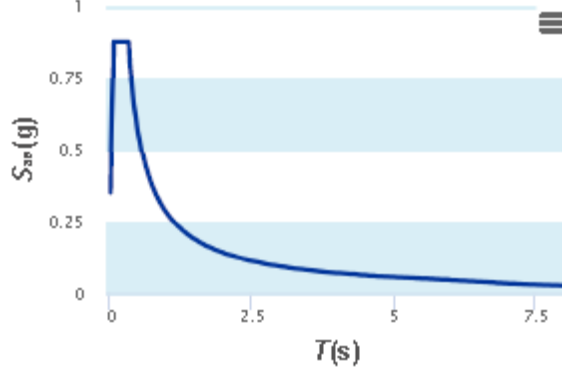
Yapının modelleme aşamalarını anlatmak gerekirse, yapının rölövesi alınarak geometrik ölçüleri belirlendi. AutoCAD programında köprünün dış sınırları çizilip SAP 2000 programına aktarıldı. Daha sonra malzeme tanımlamaları bazalt ve kalker taşa göre literatürden elde edilen veriler ışığında yapıldı. Ardından kabuk elemanlar ve solid elemanların malzeme özellikleri atanarak yapı X-Z düzleminde dış kontürlerden faydalanılarak kabuk olarak modellendi. Daha sonra shell elemanlar solid elemana *extrude* komutuyla dönüştürüldü. X-Y plan görünüşüne gelip mesnetler atanarak *loadpattern* menüsünden yük türlerine göre tanımlamalar yapıldı. Bunlar G yer çekimi yükü ve deprem yükleridir. *Loadcases* menüsünden analizde kullanılacak yükleme durumları tanımlandı. Yük kombinasyonları da tanımlandıktan sonra analiz yapılarak sonuçlar alındı.

Yapının bulunduğu yer kum-çakıl bir zemin olduğu için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiş, deprem yer hareketi düzeyi DD2 (50 yılda aşılma olasılığı %10, tekrarlanma periyodu 475 yıl) olarak alınmıştır. Analiz öncesi yapı ile ilgili bazı verilerin elde edilmesi amacıyla Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'na yapının bulunduğu koordinatlar, deprem yer hareketi düzeyi ve zemin sınıfı da girildiğinde, köprünün bulunduğu yerdeki yapılar için Şekil 3.50'deki tasarım spektrumu ortaya çıkmıştır. Hesaplarda bu spektrum kullanılmıştır (TDBYBHY, 2018).

İlk olarak köprünün kendi ağırlığı altında statik analizi yapılmıştır. Ardından yapının modlarının ve periyotlarının belirlenmesi için modal analiz yapılmıştır.

Bu yapılarda dinamik davranışların belirlenmesi için mod şekilleri önemlidir. Hesapta ilk 12 mod dikkate alınmış olup modal analiz sonucu yapının ilk 12 moduna

ait periyotlar Çizelge 3.11'de verilmiştir. Ayrıca yapıya ait ilk dört mod şekli Şekil 3.51-54'de gösterilmiştir.



Şekil 3.50. Yatay deprem etkisi için elastik tasarım spektrum eğrisi (TDBYBHY, 2018)

Çizelge 3.11. Köprü modelinin modal analiz sonucunda ilk 12 moduna ait periyotlar

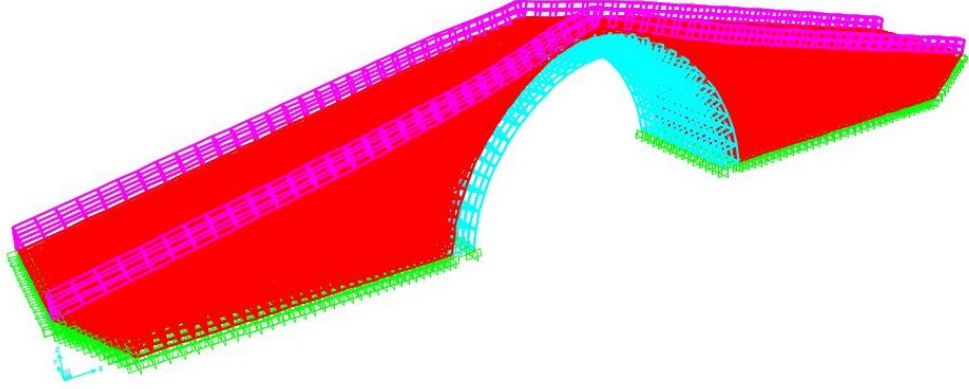
MOD	PERİYOT (s)	FREKANS
Mod 1	0.08396	11.91063
Mod 2	0.06003	16.65928
Mod 3	0.05736	17.43489
Mod 4	0.04822	20.74038
Mod 5	0.04665	21.43701
Mod 6	0.03773	26.50262
Mod 7	0.03500	28.56834
Mod 8	0.03358	29.28396
Mod 9	0.03202	31.22927
Mod 10	0.02820	35.46380
Mod 11	0.02717	36.80892
Mod 12	0.02494	40.09983

Yapının dinamik analizi için ise tepki spektrumu yöntemi kullanılmıştır.

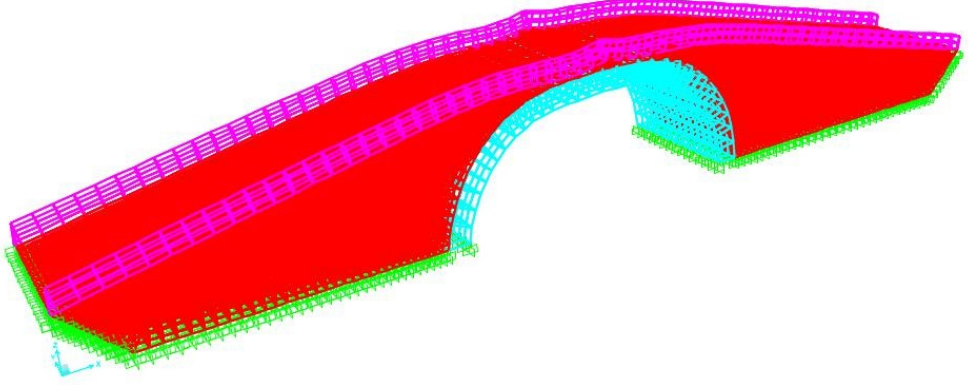
3.8.4. Analiz sonuçları

Yapının kendi ağırlığı altında meydana gelen en büyük çekme gerilmeleri kemer üstünde 0.13 MPa, basınç gerilmeleri ise kemer mesnetlerinde olup -0.36 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 3.55).

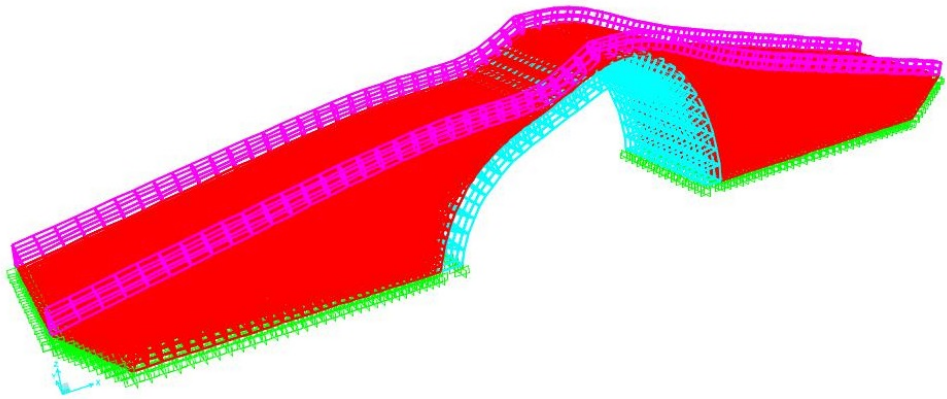
Mesnetlerdeki basınç gerilmeleri beklenen bir sonuçtur. Ancak kemer kilit taşı bölgesindeki küçük de olsa ortaya çıkmış olan çekme gerilmeleri köprünün iki taraftan eğimli yol yapısına bağlanabilir. Elde edilen en büyük gerilme değerleri Çizelge 3.10'daki dayanım değerleriyle karşılaştırıldığında hasar oluşacak bir durumun olmadığı açıkça görülmektedir.



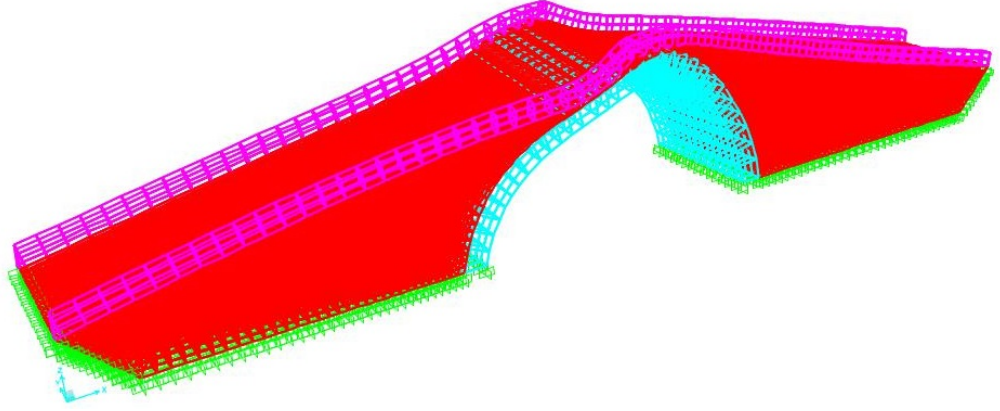
Şekil 3.51. Analiz sonuçlarından elde edilen 1. mod şekli (1. mod : 0.08396 s)



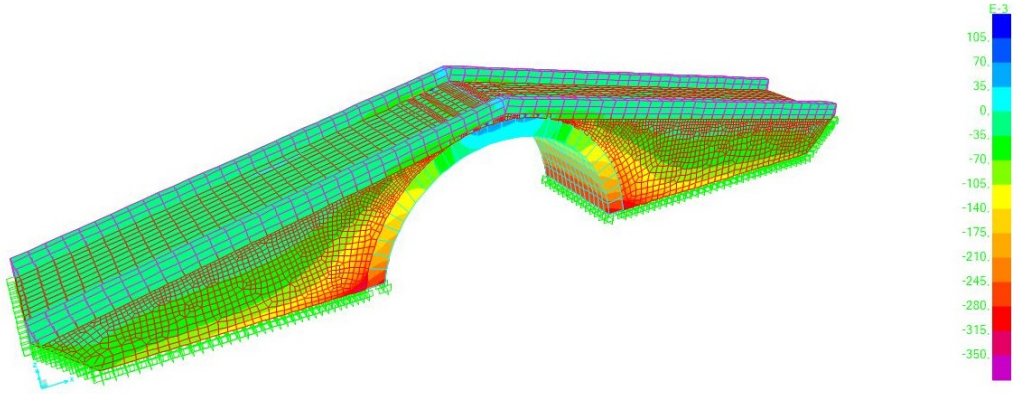
Şekil 3.52. Analiz sonuçlarından elde edilen 2. mod şekli (2. mod : 0.06003 s)



Şekil Şekil 3.53. Analiz sonuçlarından elde edilen 3. mod şekli (3. mod : 0.05736 s)

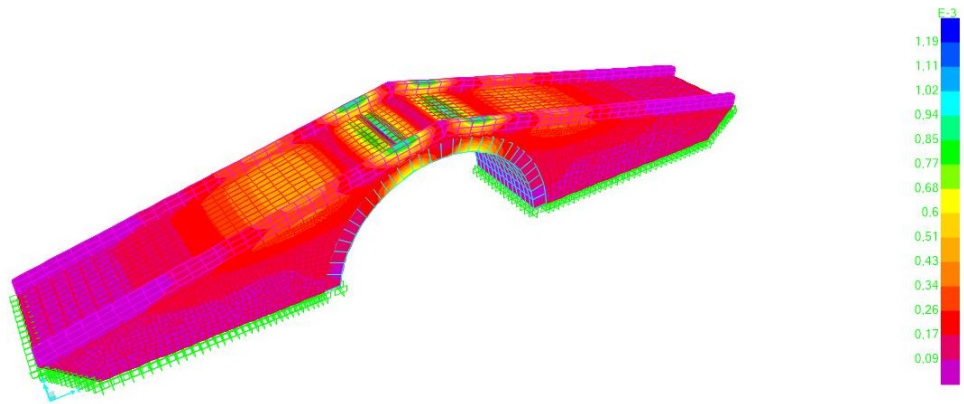


Şekil 3.54. Analiz sonuçlarından elde edilen 4. mod şekli (4. mod : 0.04822 s)

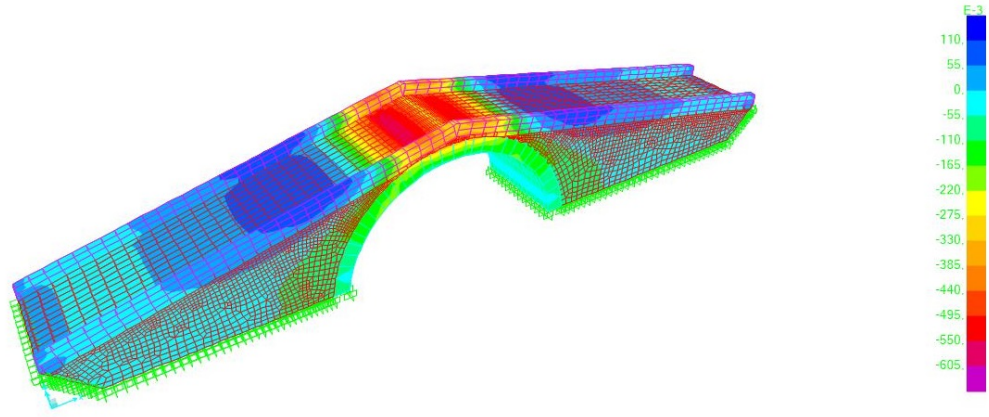


Şekil 3.55. Köprü'nün kendi ağırlığından (G) dolayı meydana gelen S33 gerilmeleri

Çarpıran Köprüsünün Şekil 3.50'deki spektrum eğrisi baz alınarak yapılan deprem hesaplarının sonuçları Şekil 3.56 ve Şekil 3.57'de verilmiştir.



Şekil 3.56. Köprüde +X yönü deprem yükünden dolayı meydana gelen S11 gerilmeleri



Şekil 3.57. Köprüde G ve +Y yönü deprem yükünden dolayı meydana gelen S11 gerilmeleri

Bu analizden de anlaşılıyor ki köprünün kemer ve duvarlarını oluşturan malzemelerin basınç dayanımları oluşan gerilme değerlerine göre daha büyük olduğundan yapıda herhangi bir göçme durumu oluşmamıştır.

Dinamik analiz sonucunda Şekil 3.56'daki S11 X yönü (E) deprem gerilmeleri meydana gelmiştir. Burada en büyük basınç gerilmesi -0.001MPa olmuştur. Öte yandan deprem yükünün ölü yüklerle birlikte uygulanmasıyla birlikte (G+E) en büyük gerilmeler yine kemer etrafında meydana gelmiştir. Burada en büyük basınç gerilmesi -0.631 MPa'dır.

Değerlendirmeler için benimsenen “Sabit yük+deprem” yüklemesi dikkate alındığında; köprüde statik yüklemeye altında 0.001MPa değerine kadar ulaşabilen çekme gerilmesi, deprem etkisi ile 0.109 MPa değerine kadar yükselmiştir. Bu değerler köprüde kullanılan taşların çekme ve basınç değerlerini aşmadığı için köprüde herhangi bir hasar meydana gelmemektedir.

İstenirse köprünün diğer analiz programlarıyla da modellenmesi ve lineer olmayan analizler ile çatlak mekanizmalarının incelenmesi çalışmaları da yapılabilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması büyük ölçüde literatür taraması bazlı yürütülerek kemer köprülerin geçmişten günümüze serüvenini ele almıştır.

Kemerin tanımı yapılarak eksenlerine ve malzemelerine göre kemerler incelenip, ilk kemer köprüler olan yığma kemer köprüler hakkında bilgiler sunulmuştur. Ardından betonarme ve çelik kemer köprüler dikkate alınmıştır.

Kemer köprülerin en önemli özellikleri olan estetik güzellikleri vurgulanmış daha sonra da avantajları ve dezavantajları sunulmaya çalışılmıştır.

Dünyanın çeşitli ülkelerinde yapımlarına devam edilen kemer köprülerin ülkemizde maalesef unutulmaya yüz tuttuğu vurgulanmıştır.

Köprü yapım tekniklerinden bir tanesi olan "konsol uzatımı" yöntemi kısaca ele alınmış ve bu yöntemle inşa edilen modern köprülere örnekler verilmiştir.

Ülkemizdeki tarihi köprülerden biri olan Çarpıran taş kemer köprüsünün kendi ağırlığı ve deprem etkileri altındaki analizi gerçekleştirilmiştir.

Bütün bu yapılanlardan sonra görülmüştür ki;

- 1) Kemer formu insanlık tarihindeki en önemli formlardan biridir,
- 2) Kemer köprüler kemer formunun verdiği avantajla yüklerini mesnetlerine basınç yoluyla ileten basit ama etkin bir köprü türüdür,
- 3) Tabiatla doğal uyum içerisinde olmaları bu köprü türünü özellikle büyük ayakları (kuleleri) olan asma ve askı çubuklu köprülerden belirgin derecede ayırmaktadır,
- 4) Kemer köprüler ile de özellikle günümüzde büyük açıklıkların geçilmesi gayet derecede mümkün olmaktadır,

- 5) Dünyanın genel olarak terk etmediği kemer köprüleri bizler de ülkemizde modern inşaat yöntemlerini kullanarak yapmaya devam etmeliyiz,
- 6) Kullanılan modern yöntemler klasik iskele-kalıp sistemi gerektirmeyen etkili ve hızlı yöntemlerdir. "Konsol Uzatımı" yöntemi bunların başında gelmektedir,
- 7) Öyle görülmektedir ki kemer köprüler, dünya var oldukça insanoğlunun ulaşım sistemleri üzerinde belirli ölçüde bir pay almaya devam edecektir.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Köprüler, geçmişte olduğu gibi gelecekte de insanların ihtiyaçları için inşa edilecektir. Günümüzde insan nüfusunun artması, mevcut yerleşim yerlerinin genişlemesi veya yeni yerleşim yerlerinin kurulması artan ulaşım ihtiyaçlarını da beraberinde getirmektedir. Yeni yollar, köprüler, alt geçitler vb. altyapılar da gelişme göstermektedir. Özellikle engebeli arazilerde, nehirlerin ve derin vadilerin geçilmesinde köprüler zorunlu yapılardır. Bu köprülerin bazıları geçmişte olduğu gibi gelecekte de kemer köprüler olacaktır.

Bu tez çalışmasında 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 kullanılmış bir formdur. Çelik gibi çekme dayanımı yüksek bir malzemenin yoğun üretiminden önceki zamanlarda 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 kendilerine 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 yapılarının terk edilmiş olması üzücü bir durumdur. Halbuki Cumhuriyetin ilanından itibaren belirli ve çok da uzak olmayan bir zamana kadar bu köprüler 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.
- 9) Günümüzün en etkili yapı analiz metotlarından biri olan sonlu elemanlar yöntemi her tür yapının analizinde olduğu gibi kemerlerin ve kemer köprülerin analizinde de etkin bir şekilde kullanılan, güvenilir bir yöntemdir.
- 10) Ülkemizin hemen her şehrinde tarihi kemer köprüler bulunmaktadır. Çeşitli medeniyetlerin bize emanet ettiği bu yapıların şehrimize birer kimlik kazandırdığı ve bütünleştiği açıktır. Bu köprülerin bazen bir bölgeye bazen de şehrin içindeki bir caddeye ismi verilmiştir. Bu yapılar özenle korunup, gelecek kuşaklara güvenle aktarılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AKCA, H. A., 2009. Çelik Kemer Köprülerin Sonlu Elemanlar Programı İle Modellenmesi.Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 77s.
- ALKAN, A., BAYKAN, O., ATALAY, A., BAYKAN, N., ve ÖZİŞ, Ü., 2011. Su Yapısı Olarak Anadolu'daki Taş Köprüler.II. Su Yapıları Sempozyumu, 16-18 Eylül, Diyarbakır, s.13-23.
- BAYRAKTAR, A., ALTUNIŞIK, A., C.,veTÜRKER, T., 2015. Su Hasarsız Deneysel Yöntemlerle Borçka Çelik Kemer Köprüsünün Restorasyon Öncesi Durum Tespiti.6. Çelik Yapılar Sempozyumu, 9-11 Aralık, Eskişehir, s.81-90.
- BEHNAMFAR, F.,and AFSHARI, M., 2013. Collapse Analysis and Strengtheningof Stone ArchBridgesAgainstEarthquake. International Journal of ArchitecturalHeritage, 7(1):1-25.
- BLASI, C.,and FORABOSCHI, P., 1994. AnalyticalApproachtoCollapse Mechanisms of CircularMasonryArch.Journal of Structural Engineering, ASCE, 120(8):2288-2309.
- BLOCK, P., DEJONG, M., and OCHSENDORF, J., 2006. As HangsTheFlexible Line: Equilibrium of MasonryArches.Nexus Network Journal, 8(2): 13-24.
- BOOTHBY, T., E., DOMALIC, D. E., and DALAL, V. A., 1998. Service Load Response of MasonryArchBridges.Journal of StructuralEngineering, ASCE, 124(1):17-23.
- BRENCICH, A.,andMORBIDUCCI, R., 2007. MasonryArches: Historical Rules and Modern Mechanics. International Journal of Architectural Heritage, 1(2):165-189.
- BURKE, M. P., 1989. Bridge Design andThe "Bridge AestheticsBibliography", Journal of StructuralEngineering, ASCE, 115(4):883-899.
- CHEN, K., NAKAMURA, S., CHEN, B., WU, Q.,and NISHIKAWA, T., 2013. ComparisonBetween Steel ArchBridgesInChinaand Japan, Journal of JSCE, 1(1):214-227.
- CLEMENTE, P.,OCCHIUZZI, A.,andRAITHEL, A., 1995. Limit Behavior of Stone ArchBridges.Journal of StructuralEngineering, ASCE, 121(7):1045-1050.
- CLEMENTE, P.,and SAITTA, F., 2017. Analysis of No-TensionMaterialArch BridgeswithFiniteCompressionStrength.Journal of Structural Engineering, ASCE, 143(1)1-10.
- CLEMENTE, P., 1998. Introductionto Dynamics of Stone Arches.Earthquake EngineeringandStructural Dynamics, 27(5):513-522.
- COLLA, C., DAS, P. C., McCANN, D., and FORDE, M. C., 1997. Sonic, ElectromagneticandImpulse Radar Investigation of Stone Masonry Bridges, NDT&E International, 30(4):249-254.
- ÇULPAN,C.,2002. Türk Taş Köprüleri, Ortaçağdan Osmanlı Devri Sonuna Kadar. Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, 403s.
- CHIOZZI, A.,MALAGU, M.,TRALLI, A., andCAZZANI, A., 2016. ArchNURBS: NURBS-BasedToolfortheStructuralSafetyAssessmentof MasonryArches in MATLAB.Journal of Computing in CivilEngineering, ASCE, 30(2):1-11.

- DRYSDALE, R., G., HAMID, A., A., and BAKER, L., R., 1994. *Masonry Structures Behavior and Design*. Prentice-Hall, Inc. 784 p.
- FANNING, P. J., and BOOTHBY, T. E., 2001. Three-Dimensional Modelling and Full-Scale Testing of Stone Arch Bridges. *Computers and Structures*, 79(29):2645-2662.
- FRUNZIO, G., and MONACO, M., 2001. 3D F.E.M. Analysis of a Roman Arch Bridge. *Historical Constructions*, P.B. Lourenço, P. Roca (Editors), Guimarães, p.591-598.
- GASPARINI, D. A., 2002. Development of Reinforced Arch Bridges in the U.S.:1894-1904. Fourth National Congress on Civil Engineering History and Heritage, 2-6 November, Washington D.C., p.321-334.
- GIL-MARTÍN, L. M., HERNÁNDEZ-MONTES, E., PALOMARES, A., and PASADAS-FERNÁNDEZ, M., 2016. The optimum shape of an arch under non-symmetric loading conditions. *Archieve of Applied Mechanics*, 86(8):1509-1520.
- HAUCK, G., F., W., 1986. Structural Design of the Pontdu Gard. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 112(1):105-120.
- HEYMAN, J., 1982. *The Masonry Arch*. Ellis Horwood Limited, England, 133p.
- HUERTA, S., 2006. Galileo was Wrong: The Geometrical Design of Masonry Arches. *Nexus Network Journal*, 8(2):25-52.
- İLTER, F., 1978. *Osmanlılara Kadar Anadolu Türk Köprüleri*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 289s.
- JANSSEN, R. E., 1943. Nature's Bridges. *The Scientific Monthly*, 57(3):210-219.
- KARNOVSKY, I., A., 2012. *Theory of Arched Structures: Strength, Stability, Vibration*, Springer Science Business Media, New York, 386p.
- KHAN, E., SULLIVAN, T. J., and KOWALSKY, M. J., 2014. Direct Displacement-Based Seismic Design of Reinforced Concrete Arch Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 19(1):44-58.
- KURT, M., 2016. Tarihi Taş Kemer Köprülerin Dinamik Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Samsun, 93s.
- KÜRKÇÜOĞLU, A., C., 1993. *Şanlıurfa Su Mimarisi*. Başbakanlık Basımevi, Ankara, 83s.
- LOO, Y.-C., and YANG, Y., 1991. Cracking and Failure Analysis of Masonry Arch Bridges, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 117(6):1641-1659.
- MARANO, G. C., TRENTADUE, F., and PETRONE, F., 2014. Optimal Arch Shape Solution Under Static Vertical Loads. *Acta Mechanica*, 225(3):79-686.
- MELBOURNE, C., 1995. *Arch Bridges*. Proceedings of the First International Conference on Arch Bridges, 3-6 September, Bolton, 708p.
- MISER, H. D., TRIMBLE, K. W. and PAIGE, S., 1923. The Rainbow Bridge, Utah, *Geographical Review*. American Geographical Society, 13(4):518-531.
- OPPENHEIM, I. J., 1992. The Masonry Arch as a Four-Link Mechanism under Base Motion. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 21(11):1005-1017.
- O'CONNOR, C., 1994. Development in Roman Stone Arch Bridges. *Endeavour*, New Series, 18(4):158-163.
- PAGE, J., 1993. *Masonry Arch Bridges (TriState of the Art Review)*. The Stationery Office/Tso, England, 134p.

- PROSKE, D.,and GELDER, P. V.,2009. Safety of Historical Stone ArchBridges. Springer-Verlag Berlin, 359p.
- RADIĆ, J.,and KUŠTER, M., 2013. AestheticsandSustainability of ArchBridges.7th International Conference on ArchBridges, 2-4 October, Trogir-Split,p.13-28.
- REZAEI, SHIRZAD, R., 2010. Beton Kemer Köprü Modellenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 96s.
- SAP2000 (v.20.1.0), 2018. IntegratedFinite Element Analysis and Design of StructuresBasic Analysis Reference Manual. Berkeley, California, ComputerandStructresInc, 585p.
- ŠAVOR Z.,and BLEIZIFFER. J., 2008. LongSpanConcreteArchBridges of Europe. II. ChineseCroatianJointColloquium, 10-14 July, BrijuniIslands, pp.171-180.
- KÜRKÇÜOĞLU, A., C., 2013. Karakoyun üzerindeki su yapıları. Şanlıurfa Kültür Sanat Tarih ve Turizm Dergisi, 6(16):12-19.
- T.C. Nafia Vekaleti, 1933. On Senede Türkiye Nafiası 1923-193., İstanbul Matbaacılık ve Neşriyat Türk Anonim Şirketi, Bölüm. 4 s.59.
- TANG, M.-C., 2014. The Art of Arches.StructureandInfrastructure Engineering, p.1-7.
- YİDRYK, 2017. Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu. Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul, 229s.
- TOKER, S.,ve ÜNAY, A. İ., 2004. Mathematical ModelingandFinite Element Analysis of MasonryArchBridges, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17(2): 129-139.
- TUCSA (Türk Yapısal Çelik Derneği), 2005. Yapısal Çelik Kullanımı, Üretim Kapasiteleri, Çeliğin Avrupa ve Türkiye İnşaat Sektöründeki Yeri. Türk Yapısal Çelik Derneği, 8(1):1-39.
- TDBYBHY 2018. Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, R.G.:30364.
- URAL, A., ORUÇ, Ş., DOĞANGÜN, A.,veTULUK, Ö. İ., 2008. Turkish HistoricalArchBridgesandTheirDeteriorationsandFailures. EngineeringFailure Analysis, 15(2):43-53.
- UÇAR, T., ŞAKAR, G., 2011. Kemerlerin Statik Analizi İçin Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24(24):35-42.
- VILNAY, O.,and CHEUNG, S.-S., 1986. Stability of MasonryArchesJournal of StructuralEngineering. ASCE, 112(10):2185-2199.
- TSUI, Y., C., 2008. A StructuralReviewof The New RiverGorge Bridge. Proceedings of Bridge.Engineering 2 Conference, 23 April, University of Bath, Bath, p.261-270.
- XIE, B., 2008. WanxianLongSpanConcreteArch Bridge OverYangtzeRiverInChina. II. ChineseCroatianJointColloquium, 10-14 July, BrijuniIslands, s. 181-188.
- Url 1 (2019). <https://www.britannica.com/technology/bridge-engineering>.
- Url 2 (2019). https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Stonecutters_Bridge
- Url 3 (2019). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%22Russian_bridge%22_in_Vladivostok.jpg
- Url 4 (2019). <https://www.flickr.com/photos/jrankney/1021123019/>.
- Url 5 (2019). <https://www.sanalsantiye.com/dunyanin-en-iliginc-mimari-eserleri/>
- Url 6 (2019). <https://tr.pinterest.com/pin/428545720778769056/>.
- Url 7 (2019). <http://happyontist.blogspot.com/2011/01/bridge-of-month.html>

- Url 8 (2019). <http://surprising-romania.blogspot.com/2011/05/black-adler-inn-baia-mare.html>
- Url 9 (2019). <http://www.selcuklumirasi.com/architecture-detail/dicle-koprusu>
- Url 10 (2019). <https://okuryazarim.com/kemer-nedir-cesitleri-nelerdir/>
- Url 11 (2019). <https://followinghadrianphotography.com/2018/03/04/alcantara-bridge/>
- Url 12 (2019). <https://evrimagaci.org/baalbek-megaliti-ve-tasinabilirligi-uzerine-7434>
- Url 13 (2019). <https://www.hpcbristol.net/visual/na01-75>
- Url 14 (2019). <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/adiyaman/gezilecekyer/cender-e-koprusu>
- Url 15 (2019), <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/erzurum/gezilecekyer/cobande-de-koprusu>
- Url 16 (2019). <http://www.edirnekulturturizm.gov.tr/TR-110704/uzunkopru.html>
- Url 17 (2019). <http://www.arioglu.net/>
- Url 18 (2019). http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/tarih/betarihi.pdf
- Url 19 (2019). https://www.tylin.com/en/projects/hover_dam_bypass_bridge
- Url 20 (2019). <http://odemisyazilari.com/index.php/2017/10/03/cumhuriyetin-ilk-betonarme-koprusu-adagide-koprusu/>
- Url 21 (2019), https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Wanxian_Bridge#/media/File:Wanxian_Yangtze_River_Bridge.JPG
- Url 22 (2019). <http://www.paramount-roll.com/photos/?p=46>
- Url 23 (2019). <http://kopriyet.blogspot.com/>
- Url 24 (2019). http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Tamina_Bridge
- Url 25 (2019). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hoover_Dam_Bypass_UC.jpg
- Url 26 (2019). <http://www.hectorbeade.com/bridge/almonte-hsr-viaduct/>
- Url 27 (2019) http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=File:Daxiaojing_Bridge20180519.jpg
- Url 28 (2019). <https://turkisharchaeonews.net/object/%C3%A7arp%C4%B1ran-bridges>
- Url 29 (2019). <http://www.urfastar.com/genel/karakopru-yikiliyor-h31385.html>
- Url 30 (2019). <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMImages/Haritalar/b9.jpg>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet TANRIVERDİ
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Bozova-01.05.1984
Telefon : 0 544 624 30 07
e-mail : mtnrvrd63@gmail.com

EĞİTİM

	Adı	Bitirme Yılı
Derece		
Lise	: M.A.Ç. Anadolu Lisesi (Fen Bölümü)	2005
Lisans	: Harran Üniversitesi (İnşaat Mühendisliği)	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2009-2010	Osman Uluç İnşaat / ŞANLIURFA	Staj
2011-2014	Asmat Yapı Denetim Ltd. Şti. / ŞANLIURFA	İnşaat Mühendisi
2014-Devam	Hava Kuvvetleri K.lığı, 8'inci Ana Jet Üs K.lığı / DİYARBAKIR	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce