ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI
ATATURK UNIVERSITY PUBLICATIONS

Research Article *Araştırma Makalesi* DOI: 10.54864/planarch.1903524

Preservation of Structural Integrity in Historic Stone Bridges: An Assessment from Architectural and Engineering Perspectives

Tarihi Taş Köprülerde Strüktürel Bütünlüğün Korunması: Mimarlık ve Mühendislik Perspektifinden Bir Değerlendirme

Barış BARAN [1]
[1]Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye

Arzu ER [2]
[2]Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Türkiye

Meryem Elif ÇELEBİ KARAKÖK [2]
[2]Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Türkiye

Received / Geliş Tarihi 06.03.2026

Revision Requested / Revizyon Talebi 11.04.2026

Last Revision / Son Revizyon 20.04.2026

Accepted / Kabul Tarihi 23.04.2026

Publication Date / Yayın Tarihi 25.04.2026

Corresponding author / Sorumlu Yazar: Barış BARAN

E-mail: bbaranarch@gmail.com

Cite this article: Baran, B., Er, A. & Çelebi Karakök, M. E. (2026). Preservation of Structural Integrity in Historic Stone Bridges: An Assessment from Architectural and Engineering Perspectives. *PLANARCH - Design and Planning Research*, 10(2), 308-316. DOI: 10.54864/planarch.1903524

Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

ABSTRACT

Historic stone bridges are structures that have remained standing for centuries by combining the equilibrium of the arch system with the strength of stone material, carrying the technical, cultural, and architectural heritage of their regions into the present day. However, these bridges face the risk of losing their structural integrity over time due to material deterioration, irregularities in arch geometry, loss of stones and joints, hydraulic effects, and foundation settlements. This study discusses how such irregularities should be addressed from the perspectives of architecture and engineering, emphasizing the importance of jointly evaluating variables such as form, material, structural system behavior, and cultural identity in decision-making processes. A literature review was conducted to compile traditional construction techniques, common damage types, regulatory principles, and intervention methods related to stone bridges. Subsequently, the Hatun Bridge in the province of Muş was selected as a case study; deteriorations observed in the arch, spandrel walls, deck, and material components were analyzed through on-site inspection, photographic documentation, and qualitative assessment. The findings indicate that deformations affecting structural safety also threaten the bridge's original architectural character. These results demonstrate that intervention decisions should not be limited to a single disciplinary approach; structural continuity, aesthetic integrity, and authentic identity can only be preserved through the combined evaluation of architecture and engineering. In this context, early detection, proper prioritization, material compatibility, and attention to system integrity are proposed as essential requirements for sustainable conservation.

Keywords: Historic bridges, restoration, sustainable conservation, structural deterioration, structural integrity, interdisciplinary.

ÖZ

Tarihi taş köprüler, kemer sisteminin dengesi ile taş malzemenin dayanımını bir araya getirerek yüzyıllardır ayakta kalan ve bulundukları bölgenin teknik, kültürel ve mimari birikimini günümüze taşıyan yapılardır. Ancak bu köprüler, zaman içinde malzeme bozulmaları, kemer geometrisindeki düzensizlikler, taş ve derz kayıpları, akarsu etkileri ve temel oturmaları gibi nedenlerle yapısal bütünlüklerini kaybetme riski taşımaktadır. Bu çalışma, söz konusu düzensizliklerin mimarlık ve mühendislik disiplinleri açısından nasıl ele alınması gerektiğini tartışmakta; karar süreçlerinde biçim, malzeme, taşıyıcı sistem davranışı ve kültürel kimlik gibi değişkenlerin birlikte değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Araştırmada literatür taraması yapılarak taş köprülerin geleneksel yapım teknikleri, yaygın hasar tipleri, mevzuat ilkeleri ve müdahale yöntemleri derlenmiştir. Ardından Muş ilindeki Hatun Köprüsü örneklem olarak seçilmiş; kemer, tempan duvarları, döşeme ve malzeme bileşenlerinde gözlenen bozulmalar yerinde inceleme, fotoğraf kayıtları ve nitel değerlendirme ile analiz edilmiştir. Bulgular, yapısal güvenliği etkileyen deformasyonların özgün mimari karakteri de tehdit ettiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, müdahale kararlarının tek bir disiplinle sınırlandırılmaması gerektiğini; strüktürel süreklilik, estetik bütünlük ve özgün kimliğin ancak mimarlık ve mühendisliğin ortak yaklaşımıyla korunabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda erken tespit, doğru önceliklendirme, malzeme uyumu ve sistem bütünlüğünün gözetilmesi sürdürülebilir koruma için temel gereklilikler olarak önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tarihi köprüler, restorasyon, sürdürülebilir koruma, yapısal bozulma, strüktürel bütünlük, disiplinler arası.

Giriş

Köprüler, iki yaka arasındaki doğal ya da yapay engelleri aşmak amacıyla inşa edilen sanat yapılarıdır. Aynı zamanda, tarih boyunca ticaret, ulaşım ve askeri amaçlarla kullanılan, uygarlıkların gelişiminde önemli rol oynamış stratejik ulaşım yapılarıdır. Tarihi köprüler ise birer ulaşım yapısı olmanın yanı sıra inşa edildiği dönemin mühendislik anlayışını, zanaatkarlık becerilerini ve yerel kimliği yansıtan önemli kültürel miras ögeleridir. Bu anlamda tarihi köprüler, somut birer tarihi belge niteliği taşımaktadır. Bu yapıların korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması hem teknik hem de etik sorumlulukları beraberinde getirmektedir.

Tarihi Taş Köprülerin Mimari ve Kültürel Önemi

Tarihi taş köprüler, mimari estetikleri ve mühendislik çözümleriyle olduğu kadar, zaman içinde farklı toplumlara hizmet etmiş olmaları bakımından da özel bir değere sahiptir. Örneğin Anadolu'da, Roma döneminde inşa edilen bir köprünün, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde de kullanılmaya devam edildiği ve farklı toplumlara hizmet ettiği bilinmektedir. Ayrıca tarihi köprüler; aynı toplum içinde yaşayan fakat farklı kültür ve inanca sahip insanları birleştiren önemli yapılardan biridir. Oliveira ve Lourenço (2004)'e göre farklı bölgeleri birbirine bağlamayı mümkün kılan köprüler, mal ve düşünce alışverişine imkân vermiş, böylece ekonomik ve kültürel gelişimin önemli bir unsurunu temsil etmişlerdir. Salamak ve Fross (2016) ise köprülerin, birleştirmenin ve ayırmanın simgesi olarak birçok kültürde yüzyıllar boyunca önemli bir sembol haline geldiğini belirtmiştir.

Günümüzde, gelişen inşa teknikleri nedeniyle yeni kâgir köprülerin yapımı azalmış; bu durum mevcut tarihi köprülerin korunmasını daha da önemli hale getirmiştir. Bu yapıların korunmalarını gerekli kılan temel unsurlar yalnızca eskilik değerleri (zaman ölçütü) ve yapısal değerleri (tarihi belge ölçütü kapsamında bir döneme özgü yapım tekniğine sahip olmaları) değil aynı zamanda taşıdıkları kültürel miras, kolektif hafıza ve kentlerle bütünleşmiş simgesel kimlikleridir. Öyle ki, Prag'daki Charles Köprüsü (1402), Mostar'daki Mostar Köprüsü (1566), Paris'teki Pont Neuf (1607), Budapeşte'deki Chain Köprüsü (1849), New York'taki Brooklyn Köprüsü (1883) ve Londra'daki Tower Köprüsü (1894) gibi köprüler; zamanla bulundukları kentle özdeşleşmiş, kentin kimliği ile bütünleşen simgesel yapılara dönüşmüştür (Bayram, 2014). Ayrıca bu köprüler uluslararası platformda savaşın, özgürlüğün ve ticaretin simgesi haline gelmişlerdir. Bu bağlamda, tarihi taş köprülerin korunması, yalnızca yapısal sürdürülebilirliğin değil, kültürel sürekliliğin de temel bir bileşeni haline gelmiştir.

Strüktürel Bütünlük Kavramı ve Koruma Bağlamındaki Yeri

Strüktürel bütünlük; bir yapının taşıyıcı elemanlarının, malzeme özelliklerinin ve yük aktarım mekanizmasının kesintisiz ve uyumlu bir şekilde çalışmasını ifade eder. Bu kavram, yapı üzerinde etki eden yüklerin öngörüldüğü biçimde temele iletilmesini ve sistemin stabilitesinin uzun vadede güvenli şekilde korunmasını gerektirir. Başka bir ifadeyle strüktürel bütünlük, bir yapının hem dayanım kapasitesinin hem de taşıyıcı sistem sürekliliğinin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini içerir.

Tarihi taş köprülerde strüktürel bütünlük, modern yapılara kıyasla daha hassas bir önem taşır. Kemer geometrisinin bozulması, taş malzemelerde kayıplar ya da derz boşalmaları gibi küçük deformasyonlar dahi tüm taşıyıcı sistemi etkileyebilir. Kemerli köprülerde, yük aktarımı basınca dayalı çalıştığından kemer formu, malzemenin yapısı, ayak ve temellerin suyla ilişkisi doğrudan yapının strüktürü ile ilişkilidir. Yanık vd. (2019)'a göre tarihi köprülerin restorasyonundaki temel amaç, köprünün tarihi dokusunu bozmadan eski dayanımını yeniden kazandırmak olmalıdır. Bu nedenle strüktürel bütünlüğün korunması, sadece köprü güvenliğinin değil, özgün mühendislik çözümünün ve mimari estetiğin de temel koşuludur. Strüktürel bütünlüğün zarar görmesi, yalnızca statik açıdan değil, yapının mimari kimliği ve kültürel değeri açısından da önemli kayıplara yol açar. Taşıyıcı sistemde meydana gelen her bozulma; oransal bütünlüğü, özgün malzeme dokusunu ve yapının genel estetiğini etkiler. Dolayısıyla strüktürel bütünlük yalnızca statik bir kavram değil, kültürel mirasın korunmasını belirleyen temel bir değerdir.

Koruma kuramı çerçevesinde strüktürel bütünlük, uluslararası belgelerde önemli bir referans noktasıdır. Venedik Tüzüğü (URL-1), Nara Özgünlük Belgesi (URL-2), Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu İçin İlkeler (URL-3) gibi ICOMOS ilkeleri ve çağdaş koruma yaklaşımlarında öne çıkan minimum müdahale, geri dönüşebilirlik, özgün malzemenin korunması gibi ilkeler doğrudan strüktürel bütünlüğün gözetilmesini esas alır.

Tarihi taş köprülerde strüktürel bütünlüğü tehdit eden birçok çevresel ve yapısal etken bulunmaktadır. Malzeme yıpranması, taş kayıpları, derz boşalmaları, nem etkisi, donma-çözülme döngüleri, akarsu yatağındaki değişiklikler, selyaran hasarları, artan trafik yükleri, bitkilenme, tuzlanma, kararma, taş hastalıkları ve düzenli bakım eksikliği bu etkenlerin başında gelir. Bu unsurların her biri, kemer üzerinde gerilme dağılımını değiştirme, ayaklarda farklı oturmalar veya malzeme dayanımını zayıflatma yoluyla sistem bütünlüğünü doğrudan etkiler. Bu nedenle bozulmaların erken tespiti ve disiplinler arası değerlendirilmesi, koruma sürecinin en kritik aşamalarından biridir.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, tarihi taş köprülerde zamanla ortaya çıkan yapısal düzensizlikleri mimarlık ve mühendislik disiplinleri açısından bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi ve bu düzensizliklere yönelik müdahale kararlarının strüktürel bütünlük üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında; kemer geometrisinin bozulması, taş ve derz kayıpları, temel oturmaları veya malzeme yıpranmaları gibi sorunların, yalnızca statik güvenliği değil aynı zamanda yapının özgün biçimini, malzeme karakterini ve kültürel kimliğini nasıl etkilediği tartışılmaktadır. Bu bağlamda çalışma, taşıyıcı sistemde ortaya çıkan düzensizliklerin doğru analiz edilmesinin uygun müdahale yöntemlerinin belirlenmesinde neden kritik bir rol oynadığını göstermeyi amaçlamaktadır. Mimarlık ve mühendislik perspektiflerinin birlikte ele alınmasıyla, hem estetik değerlerin hem de yapısal güvenliğin eş zamanlı olarak korunabileceği disiplinler arası bir değerlendirme modeli sunulması hedeflenmiştir.

Literatür Taraması

Tarihi köprüler alanında ortaya konulan çalışmalar, ağırlıklı olarak taşıyıcı sistem davranışının anlaşılması, hasar türlerinin tanımlanması ve uygun müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda yapılan araştırmalar, sayısal analizler, deneysel yöntemler ve saha gözlemlerini farklı ölçeklerde bir araya getirerek tarihi köprülerin yapısal performansının ortaya konmasına katkı sunmuştur.

Oliveira ve Lourenço (2004), Portekiz'deki iki tarihi taş yığma kemer köprünün hasar mekanizmalarını ayrıntılı inceleyerek,

özgün malzemeye ve koruma ilkelerine uyumlu, yapısal güvenliği yeniden tesis etmeyi amaçlayan kapsamlı onarım ve güçlendirme stratejileri geliştirmiştir. Bayraktar vd. (2007), Şinik Tarihi Taş Kemer Köprüsü üzerinde teorik ve operasyonel modal analizler ile sonlu eleman modelini iyileştirerek, iyileştirilmiş modelin deprem altında yer değiştirme ve gerilme tahminlerini daha gerçekçi biçimde yansıttığını ve sismik davranış değerlendirmesinde model güncellemenin kritik rolünü ortaya koymuştur. Korkmaz vd. (2013), Timisvat Taş Kemer Köprüsü'nü sonlu elemanlar yöntemiyle farklı deprem kayıtları altında analiz ederek yapının dinamik tepkisini, yönsel yer değiştirme farklarını ve kemer bölgesindeki gerilme yoğunlaşmalarını ortaya koymuş, bu bulgular üzerinden tarihi köprülerin deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde ayrıntılı sayısal modellemenin önemini vurgulamıştır. Fırat ve Eren (2015), hasarlı yığma kemerler üzerinde FRP uygulamalarının etkisini inceleyerek bu güçlendirme yönteminin kemerlerin taşıma kapasitesi ve yapısal davranışı üzerindeki iyileştirici rolünü ortaya koymuştur. Nežerka vd. (2016), yığma yapılarda kullanılan harçların mekanik performansını metakaolin ve kırılmış tuğla katkılarıyla deneysel ve sonlu eleman analizleri kullanarak incelemiş; harç basınç dayanımının yığma elemanların yük taşıma kapasitesinde belirleyici olduğunu ve uyumlu katkıların dayanıklılık ile çatlak kontrolünde kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Yanık vd. (2019), tarihi taş kemer köprülerde görülen başlıca hasar türlerini ve bunların nedenlerini sistematik biçimde inceleyerek, özgün dokuya uyumlu onarım ve modern güçlendirme teknikleriyle bu yapıların güvenli ve sürdürülebilir korunmasına yönelik kapsamlı bir yaklaşım ortaya koymuştur. Kumbasaroğlu vd. (2019), Diyarbakır'daki tarihi Dicle Köprüsü'nü sonlu elemanlar yöntemiyle modelleyerek kendi ağırlığı ve gerçek deprem kayıtları altında zaman tanım alanında analiz etmiş, elde edilen gerilme ve yer değiştirme değerlerini Türkiye'de yürürlükte olan tarihi yapılar için deprem risk yönetimi kılavuzuna göre değerlendirerek köprünün sismik performans düzeyini ortaya koymuştur. Sözen ve Çavuş (2020), Yılanlı (Leylekli) Köprüsü'nün özgün ve formu değiştirilmiş hallerini ANSYS tabanlı statik ve zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırarak estetik açıdan olumsuz olsa da form değişikliğinin köprünün rijitliğini artırarak sismik performansını iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Bagherzadeh Azar ve Sari (2023), iki tarihi taş kemer köprü üzerinde yürüttükleri kapsamlı inceleme ile bozulma nedenlerini belirlemiş, lazer tarama ve diğer hasarsız test yöntemleriyle yüksek doğrulukta belgelenen yapılar için özgün malzemeye uyumlu restorasyon ve güçlendirme stratejileri geliştirilerek modern teknolojilerin koruma çalışmalarındaki kritik rolünü ortaya koymuşlardır. Qing vd. (2023), Yongchang Köprüsü örneğinde antik üç gözlü taş kemer köprünün yapısal güvenlik durumunu geliştirilmiş AHP ve sonlu elemanlar analizine dayalı nicel bir değerlendirme yöntemiyle incelemiştir. Özkaya (2024), farklı açıklık, yükseklik ve kemer kalınlığına sahip yığma taş kemer köprülerin ANSYS tabanlı statik itme analizleriyle geometrik parametrelerinin taşıma kapasitesi üzerindeki etkilerini nicel olarak ortaya koyarak özellikle kısmen ya da tamamen yıkılmış tarihi köprülerin yeniden değerlendirilmesine yönelik hesaplamalı bir temel sunmuştur.

Literatürdeki bu çalışmalar, tarihi taş köprülerin yapısal davranışını ve müdahale yöntemlerini çoğunlukla mühendislik temelli analizler üzerinden ele almakta; mimari biçim, malzeme karakteri ve özgün kimlik ile yapısal güvenlik arasındaki ilişkiyi sınırlı düzeyde tartışmaktadır. Bu çalışma ise örnek köprü üzerinden yürütülen nitel saha incelemelerini esas alarak, yapısal düzensizliklerin hem strüktürel güvenlik hem de mimari bütünlük üzerindeki etkilerini birlikte ele almayı ve müdahale kararlarını bu çok boyutlu ilişki üzerinden değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, tarihi taş köprülerde görülen yapısal düzensizliklerin mimarlık ve mühendislik disiplinleri açısından nasıl değerlendirilebileceğini incelemek amacıyla nitel bir araştırma olarak tasarlanmıştır. İlk aşamada kapsamlı bir literatür taraması yapılarak taş köprülerin geleneksel yapım teknikleri, malzeme özellikleri, yaygın hasar türleri ve müdahale prensipleri incelenmiş; ulusal ve uluslararası koruma mevzuatları değerlendirilerek çalışmanın kuramsal altyapısı oluşturulmuştur. Ardından, mimarlık ve mühendislik perspektiflerinin müdahale kararları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir.

Vaka analizi kapsamında, materyal olarak Muş ilinde bulunan Tarihi Hatun Köprüsü seçilmiş ve yapının mevcut durumu yerinde gözlemler, ölçümler ve fotoğraf kayıtları ile analiz edilmiştir. Kemer, tempan duvarları ve döşemede gözlenen taş kayıpları, derz boşalmaları, malzeme bozulmaları ve geometrik düzensizlikler nitel olarak sınıflandırılmış ve bu bozulmaların köprünün strüktürel bütünlüğüne etkileri değerlendirilmiştir.

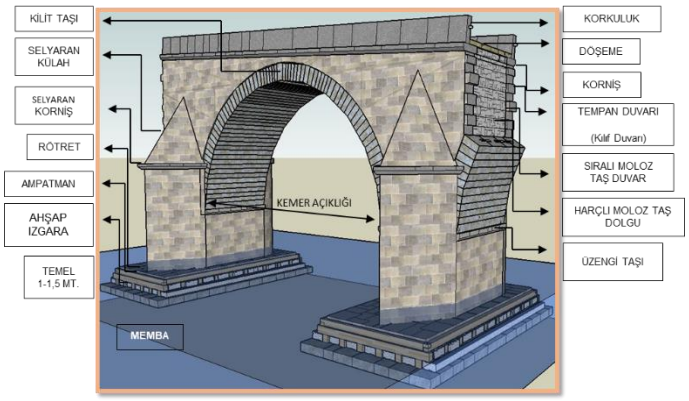
Tarihi Taş Köprü Elemanları

Tarihi taş köprüler, taşıyıcı sistemden üst yapı elemanlarına kadar birbiriyle ilişkili çok sayıda yapısal ve mimari bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, köprünün yük aktarım mekanizmasında, strüktürel sürekliliğinde ve özgün mimari karakterinin oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Kemer, kilit taşı, tempan duvarları, selyaranlar, korniş, döşeme, korkuluk, temel ve dolgu gibi elemanlar; hem statik davranışı etkileyen yapısal unsurlar hem de köprünün dönemsel tasarım anlayışını yansıtan mimari bileşenler olarak değerlendirilmelidir.

Tarihi taş köprülerin yapı elemanları, yalnızca fiziksel bileşenler olarak değil, aynı zamanda yapının davranışını belirleyen bir sistemin parçaları olarak birlikte çalışmaktadır. Kemer, ayaklar ve temel arasındaki ilişki; üst yapı elemanları, dolgu ve döşeme bileşenleriyle tamamlanarak yüklerin güvenli biçimde zemine iletilmesini sağlar. Bu bütüncül sistem içerisinde herhangi bir elemanda meydana gelen bozulma ya da müdahale, yalnızca ilgili bileşeni değil, köprünün genel strüktürel dengesini ve mimari algısını da etkileyebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilerleyen bölümlerde ele alınacak hasar türleri, geometrik düzensizlikler ve müdahale kararları, söz konusu köprü elemanları üzerinden tartışılmaktadır. Bu nedenle, kullanılan terimlerin daha açık ve anlaşılır olması amacıyla, tarihi taş köprülerde yaygın olarak karşılaşılan temel yapı elemanları aşağıdaki şematik gösterim üzerinden tanımlanmıştır (Şekil 1).

Şekil 1.
Tarihi Köprü Elemanları (Sert vd., 2009)



Tarihi Taş Köprülerde Taşıyıcı Sistem ve Yapısal Bozulmalar

Tarihi taş köprülerin taşıyıcı sistemi, büyük ölçüde basınç etkisi altında çalışan ve köprünün en karakteristik bölümü olan kemer geometrisine dayanır (Kotoulas vd., 2023). Kemer formu, yüklerin etkin bir şekilde ayaklara iletilmesini sağlayan en temel strüktürel elemandır. Kemer açıklığı, yüksekliği ve kemer kesiti gibi unsurlar, köprünün statik davranışını belirleyen kritik parametrelerdir (Pérez vd., 2018).

Köprüyü memba (suyun kaynak yönü) ve mansap cephesinden sınırlayan tempan duvarları ise köprü gövdesindeki dolguyu sınırlandıran dikey elemanlardır. Ayrıca köprüye yandan gelen etkilerin dengelenmesinde de önemli rol oynarlar. Sokolović vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, dolgu malzemesinde meydana gelen fiziksel değişimlerin tempan duvarlarında düzlem dışı davranışların oluşmasına neden olabileceği ifade edilmiştir. Araştırmada ayrıca, dolgu malzemesinin nemli çevresel koşullara ve düşük sıcaklıklara maruz kalması durumunda gözeneklerde buz oluşumu için elverişli bir ortamın oluşabileceği belirtilmektedir. Bu süreçler sonucunda tempan duvarlarının bütünlüğünün bozulması, köprü gövdesindeki dolgu malzemesinin yatay yönde hareket etmeye daha meyilli hale gelmesine neden olmakta ve buna bağlı olarak köprünün taşıyıcı sistem davranışında değişimlere yol açabilmektedir.

Köprü döşemeleri, genellikle harçlı dolgu üzerine yerleştirilen taş malzemeden oluşur. Bu alan, kemerin üzerine etki eden düşey yükleri düzenleyerek kemerin basınç hattını stabilize eder. Dolgunun bozulması ya da homojenliğini kaybetmesi, yükün kemer boyunca düzgün dağılmasını engelleyip düzensiz gerilme yoğunlaşmalarına neden olabilir. Callaway vd. (2012) çalışmasında, dolgu malzemelerinin köprü üzerindeki hareketli yükün daha etkin bir şekilde dağıtılmasına katkı sunduğunu ve kemer gövdesinin salınımını sınırlayan pasif kısıtlama sağladığını belirtmiştir.

İki veya daha fazla gözden oluşan köprülerde bulunan ve ayakların memba yönünde yer alan selyaranlar ise hidrodinamik etkileri azaltmaya yarayan elemanlardır. Selyaranlar akarsu akışının ayak çevresinde oluşturduğu çalkantı ve oyulmayı minimize ederek ayak stabilitesini artırırlar (Avşin, 2020).

Yığma kemer köprülerin statik davranışı, büyük ölçüde kullanılan malzemenin ve harcın kalitesine bağlıdır. Bu nedenle restorasyon sırasında kullanılan malzemenin yalnızca dayanımı artırması değil, aynı zamanda mevcut yapıyla uyumlu olması da önemlidir (Bagherzadeh Azar ve Sari, 2023). Kullanılan malzemelerin birbiri ile uyumsuzluğu, köprüde yıpranma ve bozulma sürecini hızlandıran en önemli faktörlerden biridir (Sert vd., 2009). Tarihi taş köprülerde kullanılan taş malzemenin özellikleri de taşıyıcı sistemin davranışını doğrudan etkiler. Taşın basınç dayanımı, gözeneklik oranı, su emme kapasitesi ve ayrışma eğilimi, yapının uzun vadeli performansını belirleyen faktörlerdir (Varró vd., 2025).

Tarihi Taş Köprülerde Zamanla Ortaya Çıkan Hasar Türleri

Taş kemer köprülerde meydana gelen hasarların büyük bir kısmı seller, depremler ve insan kaynaklı etkilerden kaynaklanmaktadır (Yanık vd., 2019). Bunun dışında uzun yıllar boyunca biriken çevresel, yapısal ve kullanım kaynaklı etkilerin sonucunda da köprüler zarar görebilmektedir (Apreutesei vd., 2006). En sık karşılaşılan hasarlardan biri, kemer veya tempan duvarlarında meydana gelen taş ve parça kayıplarıdır. Bu kayıplar, malzemenin doğal aşınması, biyolojik etkiler, donma-çözülme döngüleri veya özgün yapıya uygun olmayan müdahaleler sonucunda gelişebilir. Taş yüzeylerinde pul pul ayrılma, yüzey erozyonu, çatlamalar veya köşe kırılmaları gibi bozulmalar, hem estetik kayıplara hem de taşıyıcı elemanlarda zayıflamaya yol açar.

Zeminde oluşan oturmalar, özellikle köprü ayaklarında önemli hasarlara neden olabilmektedir. Temel altındaki zemin özelliklerinin zamanla değişmesi, akarsu oyulması, drenaj yetersizliği veya doğal afetler nedeniyle ayaklarda düşey ve yatay hareketler meydana gelebilir. Bu durum, kemerin geometrisinde bozulmaya yol açarak yük dağılımını olumsuz etkileyebilir.

Malzeme bozulmaları ve yanlış malzeme kullanımı da tarihi köprülerde sık rastlanan sorunlardan biridir. Taşın ayrışması, tuz kristalleşmesi, su emme kaynaklı çatlaklar ve biyolojik oluşumlar yapı elemanlarının dayanımını azaltır. Yanık vd. (2019), kireç bazlı taşlarla çimento kullanımı sonucunda, havadaki nemin taş malzemede yeni tuz bileşikleri oluşmasına neden olabileceğini ve taş içindeki gözeneklerde oluşan bu tuz bileşiklerinin, hacim artışı nedeniyle taşların parçalanmasına yol açabileceğini vurgulamıştır.

Derz kayıpları, taşlar arasındaki yük aktarım mekanizmasını zayıflatarak sistem bütünlüğünü tehdit eden (Varró vd., 2025) ve hemen her köprüde karşımıza çıkabilen önemli bir sorundur. Derz kaybı ilerlediğinde taşlar yanal yönde daha kolay yer değiştirmeye başlar ve bu durum, taşların bir arada çalışmasını zorlaştırır. Taşlar arasındaki harç, yapısal olarak taşların bir arada çalışmasını sağlarken, derz dolgusu yapının su geçirimsizliğini artırır. Ayrıca derzler; deprem anında, taşlar arasında enerji sönümleyici bir etkiye de sahiptirler.

Çevresel etkiler de hasar oluşumunda önemli bir rol oynar. Akarsu rejimindeki değişimler, sel olayları ve aşırı rutubet sebebiyle suyun yapı içinde birikmesi köprünün hem üst yapısında hem alt yapısında çeşitli bozulmalara yol açabilir (Hokelekli ve Yilmaz, 2019; Majtan vd., 2023). Ayrıca araç yükleri, titreşimler veya yanlış kullanım şekilleri de strüktürel hasarların hızlanmasına neden olabilmektedir (Simon ve Oberlin, 2025).

Hasarların Strüktürel Bütünlük Üzerindeki Etkileri

Tarihi taş köprülerde ortaya çıkan birçok hasar türü, taşıyıcı sistemin sürekliliğini ve yük aktarım mekanizmasını belirli ölçüde etkilemektedir. Kemer geometrisindeki bozulmalar, basınç hattının kesit içinde güvenli bölgede kalmasını engelleyerek kemerde çekme gerilmelerinin oluşmasına yol açabilir. Bu durum, kemerin taşıma kapasitesini düşürür ve ilerleyen aşamalarda çatlakların büyümesine veya göçmeye sebep olabilir. Tempan duvarlarındaki deformasyonlar ise kemer üzerindeki dolgunun yanal olarak hareket etmesine neden olabilir, bu da kemer yüzeyinde düzensiz yük birikimlerine yol açabilir.

Taş ve derz kayıpları, yapının rijitliğini doğrudan etkileyen unsurlardır. Özellikle kemerlerdeki taş kayıpları köprünün strüktürel bütünlüğünü olumsuz etkiler. Derz boşalmaları nedeniyle de taş blokları arasındaki monolitik davranış zayıflar, yük aktarımı düzensiz hale gelir ve lokal gerilme artışları oluşur. Bu tür zayıflamalar, köprü kemerlerinde açılma davranışını tetikleyebilir.

Zemindeki oturmalar ise strüktürel bütünlük açısından en kritik problemlerden biridir (Örmecioğlu, 2010). Ayakların oturduğu zeminin farklı oranlarda hareket etmesi, kemerin yük aktarımını bozar ve sistemin bir bütün olarak çalışmasını engeller. Sonuç olarak köprü, yükleri öngörüldüğü şekilde iletemez. Bu durum, taşıma kapasitesinin düşmesine ve yeni hasarların oluşmasına yol açar.

Çevresel koşullara bağlı olarak zamanla ortaya çıkan bozulma

süreçlerinde ise yapıdaki su hareketi, donma-çözülme döngüleri ve biyolojik oluşumlar; taş dokuyu zayıflatarak strüktürel bütünlük üzerinde uzun vadeli yıkıcı etkiler yaratabilir (Sarhosis vd., 2024). Bu nedenle tarihi köprülerde tespit edilen her hasarın, yalnızca lokal bir sorun olarak değil, bütün sistemi etkileyen bir süreklilik problemi olarak ele alınması gerekir.

Tarihi Taş Köprülerdeki Müdahale Kararlarının Mimarlık ve Mühendislik Perspektifinden Analizi

Tarihi taş köprülerde yapılacak müdahaleler, mimarlık ve mühendislik disiplinlerinin farklı fakat birbirini tamamlayan bakış açılarını gerektirir. Bu iki alanın öncelikleri kimi zaman farklılaşsa da tarihi bir köprünün sağlıklı bir şekilde korunabilmesi her iki yaklaşımın birlikte ele alınmasıyla mümkündür.

Mimarlık Perspektifi: Biçim, Malzeme ve Özgün Kimliğin Korunması

Tarihi taş köprülere yönelik müdahaleler, uluslararası koruma belgelerinde tanımlanan özgünlük ve bütünlüğün korunması ilkeleri doğrultusunda (URL-1, URL-2), öncelikle yapının özgün biçimini ve karakterini korumaya yönelik olmalıdır. Kemer formu, taş örgü düzeni, tempan duvar uzunluğu ve tabliye genişliği gibi mimari unsurlar, köprünün yalnızca estetik görünümünü değil, aynı zamanda kültürel kimliğini belirleyen temel bileşenlerdir. Bu nedenle mimari kararlar, yapının tarihi dönemine özgü tasarım anlayışını bozmadan, özgün oranları ve geometrisiyle uyumlu şekilde ele alınmalıdır.

Malzeme seçimi de mimari açıdan kritik önem taşır. Onarım sürecinde özgün malzeme ve dokuya olabildiğince sadık kalınmalı; kullanılacak malzemeler, özgün malzeme ile mekanik ve kimyasal dayanıklılığın yanı sıra renk ve doku özellikleri bakımından da uyumlu olmalıdır (Sert vd., 2009). Bununla birlikte taklitten kaçınılmalı ve yapılan müdahaleler, gerektiğinde uzmanlar tarafından ayırt edilebilir nitelikte olmalıdır. Malzeme uyumsuzluğu, hem estetik bütünlüğü zedeleyebilir hem de yapısal davranışta dengesizliklere yol açabilir. Bu nedenle, malzeme karakterinin doğru biçimde okunması ve özgün dokuya saygılı müdahalelerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Mimari perspektif, köprünün yalnızca teknik bir yapı değil, aynı zamanda kültürel bir anlatı olduğunun bilinciyle hareket eder. Yapının kent hafızasındaki yeri, dönemsel estetik özellikleri ve kullanıcıyla kurduğu sembolik ilişki, müdahale kararlarının tonunu belirler. Bu nedenle restorasyon sürecinde mimari kararlar, strüktürel bütünlük kadar kültürel devamlılığın da teminatı olarak değerlendirilmelidir.

Mühendislik Perspektifi: Taşıyıcı Sistem, Güvenlik ve Süreklilik Analizi

Mühendislik perspektifinde müdahalenin temel amacı, uluslararası koruma belgelerinde tanımlanan yapısal güvenlik ve strüktürün korunması ilkeleri doğrultusunda (URL-1, URL-3), köprünün taşıyıcı sistem performansını güvenli sınırlar içinde tutmaktır. Kemerin basınç hattının kesit içinde kalıp kalmadığı, ayakların stabilitesi, temel oturmaları ve yük aktarım yolları gibi kritik parametreler analiz edilir. Bu analizler sonucunda, kemerde oluşan deformasyonlar, tempan duvarlarındaki ayrılmalar veya derz kayıplarının sistem davranışını nasıl etkilediği belirlenir. Böylece gerekli yapısal güçlendirme stratejileri ortaya konulabilir.

Mühendislik müdahaleleri; taş tamamlama, çatlak onarımı, enjeksiyon uygulaması, temelin iyileştirilmesi veya kemerin stabilitesini artırmaya yönelik ek destek elemanları gibi yöntemleri içerebilir. Ancak bu yöntemlerin her biri, köprünün strüktürel sürekliliğini koruyacak biçimde, taşıyıcı sistemin orijinal çalışma prensipleriyle uyumlu olarak tasarlanmalıdır. Aksi halde müdahale, sistemi güçlendirmek yerine yeni düzensizliklere neden olabilir.

Yapının güvenliği, yalnızca mevcut yüklerin taşınması değil, gelecekte karşılaşılabilecek afet senaryoları (sel, deprem, aşırı hidrolik yükler) karşısındaki davranışının değerlendirilmesini de kapsar. Dolayısıyla mühendislik kararları, taş kütlelerin monolitik çalışmasını destekleyen, aşırı rijitleştirmeden kaçınan ve yapının uzun vadeli performansını gözeten bir yaklaşımla şekillenmelidir.

Mimarlık ve Mühendislik Kararlarının Etkileşimi: Estetik - Strüktür Dengesi

Tarihi taş köprülerin korunmasında mimarlık ve mühendislik disiplinleri birbirinden bağımsız işlememelidir; aksine, her müdahale kararı iki alanın kesişiminde değerlendirilmelidir. Uluslararası koruma belgelerinde de vurgulandığı üzere, mimari mirasları korumak ve yıpranmış strüktürleri ayakta tutabilmek için farklı disiplinlerin birlikte çalışması gerekmektedir (URL-3, URL-4). Bir mimari iyileştirmenin strüktürel davranışı değiştirme potansiyeli olduğu gibi, bir mühendislik müdahalesi de köprünün estetik ve kültürel değerini etkileyebilir. Bu nedenle estetik-strüktür dengesinin korunması, karar alma süreçlerinde öncelikli ölçüt olmalıdır.

Malzeme uyumu, disiplinler arası ortak karar mekanizmasının en belirgin örneklerinden biridir. Özgün taşın yerine kullanılacak bir tamamlayıcı taş, mimari açıdan doku ve renk uyumu sağlarken, mühendislik açısından benzer dayanım, boşluk oranı ve su emilim davranışı göstermelidir. Aksi halde malzeme farklılıkları nedeniyle gerilme düzensizlikleri oluşabilir. Bu durum hem estetik hem de strüktürel sürekliliği tehdit eder.

Müdahale sürecinde disiplinler arası iletişim, strüktürel bütünlüğün korunması açısından kritik öneme sahiptir. Mimarlık ve mühendislik kararlarının uyumlu biçimde alınması, köprünün hem özgün kimliğini korur hem de taşıyıcı sistemin güvenli çalışmasını sağlar. Böylece kültürel değerlerle teknik gereklilikler arasında sürdürülebilir bir denge kurulabilir.

Vaka Analizi: Tarihi Hatun (Hanım) Köprüsü

Bu bölümde, Muş ilinde yer alan Tarihi Hatun Köprüsü, çalışma kapsamında incelemek amacıyla seçilmiştir. Seçilen tarihi köprünün mevcut durumu; saha incelemeleri, fotoğraf kayıtları ve literatür verileri ışığında değerlendirilmiştir. Köprü elemanlarında gözlenen hasar türleri belirlenerek özgün değerleri koruyacak şekilde müdahale kararları gerekçeleriyle birlikte ortaya konulmuştur.

Vaka analizinin temel amacı, tarihi taş köprülerde karşılaşılan strüktürel düzensizlikleri belirlemek, gözlenen hasarların neden-sonuç ilişkisini irdelemek ve uygulanacak müdahalelerin yapının strüktürel bütünlüğüne etkisini somut örnekler üzerinden açıklamaktır. Böylece genel koruma ilkelerinin pratikte nasıl karşılık bulduğu, malzeme seçiminin taşıyıcı sistem davranışını nasıl etkilediği ve müdahale kararlarının mimari kimlik ile mühendislik gereklilikleri arasındaki dengeyi nasıl şekillendirdiği ortaya konmaktadır. Değerlendirme kriterleri üç temel başlık altında toplanmıştır: mevcut yapı durumu ve hasar tespitleri, müdahale kararları ve müdahale kararlarının strüktürel bütünlüğe etkileri.

Köprünün Tarihçesi ve Yapısal Özellikleri

Tarihi Hatun Köprüsü, Malazgirt-Muş karayolunda Adalar Çayı üzerinde yer almaktadır. Köprü temelleri kayalık zemin üzerine inşa edilmiştir. Selçuklu dönemi eserlerinden olan köprünün cephelerindeki izlerden anlaşılacağı üzere, Osmanlı döneminde birkaç kez onarım görmüştür. Köprünün döşeme uzunluğu 37,50 m, tabliye genişliği 6,60 m, kemer açıklığı ise 11,30 m'dir. Bu haliyle köprü, tek gözlü ve yolu düz olan köprüler grubu içerisinde değerlendirilmektedir. Köprünün korkulukları günümüze ulaşamamıştır (URL-5).

Tarihi Hatun Köprüsü'nün Mevcut Durumu ve Hasar Tespitleri

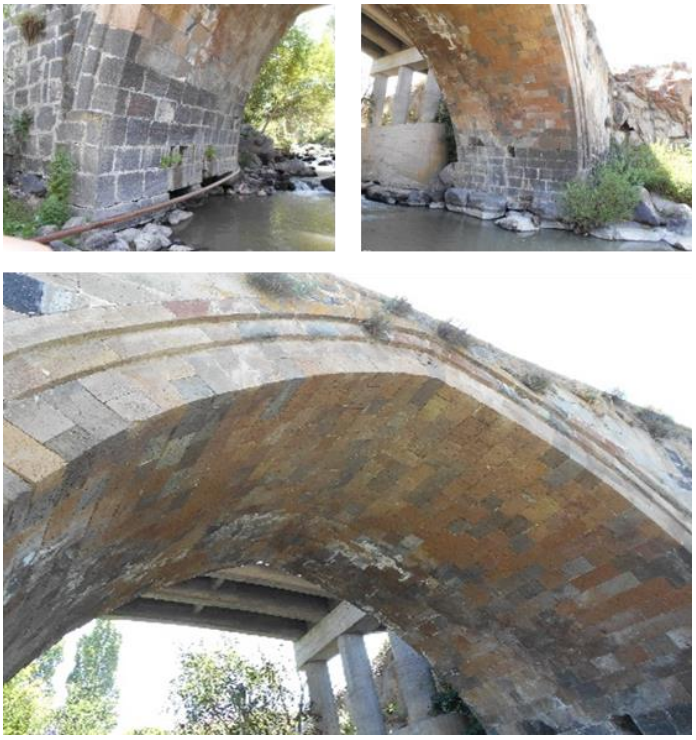
Köprüde gerçekleştirilen saha incelemeleri ve gözlemler sonucunda; memba ve mansap cephelerindeki kemer alın taşlarının ve çift sıra örülen süs kemerlerinin genel olarak iyi durumda olduğu ancak bazı taşlarda küçük parça kayıplarının bulunduğu tespit edilmiştir. Tempan duvarları incelendiğinde köprünün farklı dönemlerde onarıldığı anlaşılmaktadır. Her iki cephede de tempan duvarlarındaki mevcut taşların genel olarak iyi durumda olduğu söylenebilir ancak bazı alanlarda taş ve parça kayıpları gözlenmektedir (Şekil 2a, 2b). Mansap cephesindeki tempan duvarının sol alt kısmında yer alan bazı taşların nizami bir şekilde örülmediği ve taşlar arasında boşluklar bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 2c). Bu alanın üstünde yer alan bazı taşların, derz hizalarından birbirinden ayrıldığı da belirlenmiştir. Bunun yanı sıra belli kısımlardaki taşların, üzerine yazı yazılarak tahrip edildiği de tespit edilmiştir (Şekil 2a). Ayrıca her iki cephede de çimento esaslı olduğu düşünülen hatalı derz imalatları, derz kayıpları, bitkilenmeler ve taş yüzeylerinde kirlenmeler gözlenmektedir (Şekil 2).

Şekil 2.
Tarihi Hatun Köprüsü'nün Mansap (a) ve Memba (b) Cepheleri ile Hasarlı Tempan Duvarı (c)



Köprünün kemer karnı ve ayaklarında yapılan incelemeler sonucunda; kemer karnının genel olarak iyi durumda olduğu ancak bazı alanlarda taş ve parça kayıplarının bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca kemer karnının belirli kısımlarında tuzlanma oluşumu tespit edilmiştir. Bu durumun, köprü gövdesindeki özgün dolguyla uyumsuz dolgu malzemesi kullanımına bağlı olduğu değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra kemer karnında derz kayıpları, bitkilenmeler ve kirlenmeler gözlenmiştir. Köprü ayaklarında ise önemli miktarda taş kaybı tespit edilmiştir (Şekil 3). Ayrıca köprü ayağına oldukça yakın bir konumda bulunan boru hattı da görsel açıdan olumsuz bir etki yaratmaktadır.

Şekil 3.
Tarihi Hatun Köprüsü'nün Kemer Karnı



Köprü döşemesinde yapılan incelemede; orijinal döşeme taşlarına ait herhangi bir ize rastlanmamıştır. Döşemenin, köprünün taş dokusuna uygun olmayan bir malzeme ile kaplanması hem birbirinden farklı özelliklere sahip malzemeler arasında kimyasal uyumsuzluğa sebep olmakta hem de köprünün özgün görünümüne zarar vermektedir. Döşeme kenarlarında bulunan ve sonradan eklenen beton malzemeli harpuştaların bir kısmında da parça kayıpları olduğu görülmüştür. Ayrıca köprünün giriş ve çıkışının toprak malzeme ile kapatılması köprünün kullanımını önemli ölçüde engellemektedir. Tarihi Hatun Köprüsü'nün hemen yanına inşa edilen ve tarihi köprü ile aynı ismi taşıyan betonarme köprü ise tarihi köprünün memba cephesini büyük ölçüde kapatarak köprünün görünürlüğünü azaltmaktadır (Şekil 4).

Şekil 4.
Tarihi Hatun Köprüsü'nün Döşemesi



Tarihi Hatun Köprüsü İçin Müdahale Kararları

Tarihi köprülerin onarımında, uygulamalara temellerden başlanır; süreç sırasıyla ayaklar, kemerler, tempan duvarlar, kornişler, döşeme ve korkulukların restorasyonu ile sürdürülür. Restorasyon sürecinde köprü elemanlarında kullanılacak yeni taşlar, taşçı aletleriyle işlenerek yüz açma işlemine tabi tutulmalıdır (Sert vd., 2009).

Hatun Köprüsü'nde gerekli müdahaleler yapılmadan önce kemer askı iskeleye alınarak onarım sırasında olası bir çökme riskine karşı gerekli can ve mal güvenliği önlemleri alınmalıdır. Köprünün statik açıdan en kritik bölümlerinden olan ayaklardaki boşluklar, aslına uygun taş ve harç ile tamamlanmalıdır. Ardından kemer karnındaki boşluklar da aynı malzeme ve teknikle tamamlanmalıdır.

Tempan duvarlarında her iki cephedeki taş kayıpları için de benzer tamamlama imalatları yapılmalı ancak mansap cephesinin sol alt kısmında yer alan ve nizami bir şekilde örülmemiş olan taşların yeniden örülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, ilgili taşlar döşeme hizasına kadar numaralandırılarak sökülmeli; kullanılabilir durumda olan özgün taşlar korunmalı ve aslına uygun yeni taşlarla birlikte tempan duvarının bu bölümü tekrar örülmelidir. Tarihi köprünün yanında yer alan betonarme köprünün varlığı ve arazi koşullarının elverişsiz olması nedeniyle memba cephesi yeterli düzeyde incelenemediğinden, benzer hasarların tespit edilmesi durumunda aynı müdahale prensiplerinin bu cephe için de uygulanması önerilmektedir.

Köprü döşemesi ve korkulukları en fazla dış etkiye maruz kalan ve dolayısıyla aşınmanın yoğun olduğu köprü elemanlarıdır. Bu nedenle döşemede aşınma yüzdesi düşük olan taşlar seçilmelidir (Sert vd., 2009). Hatun Köprüsü'nün döşemesindeki mevcut kaplamanın sökülerek yerine aslına uygun harç ve taş malzemelerle yeni döşeme imalatının yapılması gerekmektedir. Döşeme kenarlarında yer alan ve köprünün özgün halinde bulunmayan beton harpuştaların yerine geçişlerde güvenliği sağlayacak boyutlarda taş korkuluk imalatı yapılmalıdır.

Köprüde sökülmesi mümkün olmayan yerlerde bulunan ve 5 cm'den büyük parça kayıpları olan taşlar, etrafındaki sağlam taşlara zarar vermeden alınarak (çürütülerek) aslına uygun yeni taşlarla değiştirilmelidir. Ardından köprü gövdesindeki olası boşlukların doldurulması için enjeksiyon uygulaması yapılmalıdır. Ancak bu uygulama kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmeli ve köprüye ilave yük bindirilmemesine özen gösterilmelidir.

Köprü genelinde görülen derz kayıpları ve hatalı derz imalatları kapsamında, mevcut derzler sökülerek özgün harç karışımıyla yeni derz imalatları uygulanmalıdır. Köprü genelinde bulunan taş yüzeylerindeki kirlenmeler ve bitkilenmeler mekanik yollarla temizlenmelidir. Ayrıca köprü ayaklarına yakın bir konumdan geçen boru hattı da başka bir alana taşınmalı ya da mevcut hat dışarıdan görünmeyecek şekilde gizlenmelidir.

Köprünün koruma alanı sınırlarında bulunan ve memba cephesini büyük oranda kapatan betonarme köprünün yıkılarak farklı bir güzergahta yeniden inşa edilmesi önerilmektedir. Bu sayede kültürel mimari miraslarımızdan olan bu yapının dışarıdan algılanabilir ve ulaşılabilir olması sağlanacaktır.

Müdahale Kararlarının Strüktürel Bütünlüğe Etkileri

Tarihi Hatun Köprüsü için önerilen müdahaleler taşıyıcı sistemin rijitlik dağılımını olumlu yönde etkileyeceği gibi köprünün estetiğine de katkı sağlayacaktır. Taş kemer köprülerdeki bütün yapı elemanları taşıyıcı sistemin bir parçasıdır. Özellikle kemer, ayaklar ve temeller bu sistemin en önemli taşıyıcı elemanlarıdır. Köprü kemerindeki ve ayaklardaki taş kayıplarının tamamlanması yük aktarımının eksiksiz biçimde temellere iletilmesini sağlayacaktır. Ayrıca 5 cm'den büyük parça kaybı bulunan taşların yenileriyle değiştirilmesi de yapı strüktürüne olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Yapılacak enjeksiyon uygulaması da köprü gövdesindeki ve ayaklardaki boşlukları doldurarak yapının daha rijit bir hale gelmesine katkı sunacaktır.

Tempan duvarları, hem köprüdeki dolguyu sınırlandıran hem de köprüye yandan gelen etkilerin dengelenmesinde rol oynayan yapı elemanlarıdır. Tempan duvarlarındaki tamamlamalar bu alanlardaki açılmaları engelleyip köprü gövdesindeki dolgunun yanal hareketini sınırlayacağından köprünün strüktürel bütünlüğüne önemli katkı sağlayacaktır.

Köprüye sonradan eklenen döşeme kaplamasının sökülerek aslına uygun biçimde yeniden yapılması, köprü gövdesine muhtemel su sızıntılarını önleyerek dolgunun hasar görmesini engelleyecek ve yapının strüktürel bütünlüğünü güçlendirecektir. Böylece, hem doğru malzeme seçimi ve uygulama yöntemi ile müdahalenin taşıyıcı sistem davranışını olumsuz yönde etkilemesi önlenmiş olacak, hem de köprünün estetik ve mimari kimliği korunacaktır.

Tarihi köprülerde sıklıkla görülen derz kayıpları köprünün dış etkenlere daha açık olmasına sebep olmaktadır. Bu boşluklardan köprü gövdesine zamanla su sızıntıları olabileceği gibi bu boşluklarda bitki köklerinin gelişmesi sonucu taşlarda çatlama ve dağılmalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple yapılacak derz imalatları küçük bir detay gibi görünse de strüktürel bütünlüğe etkisi son derece önemlidir.

Öneriler

Erken Tespit, Malzeme Uyumu ve Sistem Bütünlüğü Açısından Öneriler

Tarihi taş köprülerde hasarların erken tespit edilmesi, müdahale gereksinimlerinin doğru şekilde belirlenmesini sağlar. Bu amaçla düzenli bakım programları, periyodik gözlem çalışmaları, zemin hareketlerinin izlenmesi ve akarsu davranışlarının değerlendirilmesi gibi çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Özellikle küçük ölçekli çatlaklar, derz boşalmaları veya taş ayrışmaları erken aşamada tespit edildiğinde hem müdahalenin kapsamı daralmakta hem de yapının strüktürel bütünlüğünü tehlikeye atacak büyük deformasyonlar önlenebilmektedir.

Malzeme uyumu ise köprünün estetik ve yapısal bütünlüğü açısından temel bir kriterdir. Özgün taşın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine uygun yeni taşların seçilmesi, bağlayıcı harç bileşimlerinin geleneksel malzemelerle uyumlu biçimde hazırlanması ve tamamlama işlemlerinde uyumsuz malzemelerden kaçınılması gerekmektedir. Sistem bütünlüğü açısından bakıldığında, köprünün her bileşeninin birbiriyle ilişkili olduğu göz önünde bulundurulmalı, tekil müdahalelerin bütünsel statik davranışı bozmayacağı yöntemler tercih edilmelidir.

Sınırlılıklar ve İleri Çalışmalar için Öneriler

Bu çalışmanın başlıca sınırlılıkları arasında, incelemenin belirli sayıda örnek köprü üzerinden yürütülmesi ve geçmiş müdahalelerin ayrıntılı teknik belgelerine ulaşılamaması sayılabilir. Ayrıca köprüde güncel hasarların ayrıntılı belgelendirilmesine yönelik veri eksiklikleri, değerlendirmelerin

kapsamını daraltmıştır.

Gelecek çalışmalarda, düzenli zaman aralıklı izleme çalışmaları gibi daha sistematik bir hasar belgeleme yaklaşımının uygulanması önerilmektedir. Bunun yanı sıra, lazer tarama, fotogrametri veya basit deformasyon takip yöntemleri gibi uygulanabilir dijital tekniklerin kullanılması, müdahale kararlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artıracaktır. Ayrıca farklı iklim ve topoğrafik özelliklere sahip bölgelerdeki köprülerin karşılaştırmalı analizleri malzeme davranışlarının, çevresel etkilerin ve benzer hasar tiplerinin daha geniş bir çerçevede anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç

Tarihi taş köprüler, bulundukları coğrafyanın ulaşım sistemine hizmet eden yapılar olmanın ötesinde, kültürel kimliği taşıyan ve döneminin teknik bilgisini yansıtan özgün eserlerdir. Bu nedenle koruma yaklaşımlarının temel hedefi, yapıların hem özgün karakterini hem de yapısal güvenliğini eş zamanlı olarak sürdürülebilir kılmaktır. Strüktürel bütünlük ile mimari kimlik arasında kurulacak denge, köprülerin kültürel miras niteliklerini gelecek kuşaklara aktarabilmenin ön koşuludur.

Tarihi taş köprülerin korunması, yalnızca mühendislik hesaplarına ya da yalnızca mimari değerlere odaklanarak sürdürülebilecek bir süreç değildir. Bu yapıların özgün karakteri, estetik bütünlüğü ve teknik işlevselliği iç içe geçmiş durumdadır. Bu nedenle doğru bir koruma yaklaşımı mimarlık ve mühendislik disiplinlerinin eş zamanlı, sürekli ve dengeli iş birliğini gerektirir. Kemer geometrisinin korunması, malzeme uyumunun sağlanması, yük aktarım sistemlerinin doğru yorumlanması gibi konular ancak disiplinler arası değerlendirmelerle güvenilir sonuçlar verebilmektedir.

Bu çalışma, tarihi taş köprülerde yapısal düzensizliklerin nedenlerini, sonuçlarını ve müdahale yöntemlerini mimarlık ve mühendislik bakış açılarıyla birlikte ele alarak bütünleşik bir değerlendirme sunmaktadır. Elde edilen bulgular, koruma süreçlerinde disiplinler arası yaklaşımın, malzeme uyumunun, erken tespit mekanizmalarının ve sistem bütünlüğünü gözeten müdahalelerin belirleyici olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, tarihi taş köprülerin korunması; kültürel değerlerin, yerel kimliklerin ve teknik mirasın sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir sorumluluktur.

Etik Kurul Onay Belgesi: Yazarlar, etik kurul onay belgesine gerek olmadığını beyan etmiştir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Tasarım – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Denetleme – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Kaynaklar – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Analiz ve/ veya Yorum – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Literatür Taraması – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Yazıyı Yazan – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Eleştirel İnceleme – B.B., A.E., M.E.Ç.K.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yapay Zeka Kullanımı: Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde yapay zeka yalnızca dil düzeltmeleri amacıyla kullanılmıştır. Makalenin bilimsel içeriği, değerlendirmeleri ve sonuçları tamamen yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Ethics Committee Approval Certificate: The authors declared that an ethics committee approval certificate is not required.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Design – B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Supervision - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Resources - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Data Collection and/or Processing - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Analysis and/or Interpretation - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Literature Search - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Writing Manuscript - B.B., A.E., M.E.Ç.K.; Critical Review - B.B., A.E., M.E.Ç.K.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Use of Artificial Intelligence: During the preparation of this study, artificial intelligence was used solely for language corrections. The scientific content, evaluations, and conclusions of the article were entirely produced by the authors.

Kaynaklar

Apreutesei, V. A., Oliveira, D. V. & Lourenço, P. B. (2006). Repair and strengthening techniques for masonry arch bridges. *Intersections / Intersecții (Transportation Infrastructure Engineering)*, *3*(1), 97–105. Erişim adresi: https://intersections.ro/archive/2006/No1/No1_eng.pdf (son erişim: 27.03.2026).

Avşin, A. (2020). *Tarihi köprülerin korunmasında özgünlük ölçütünün değerlendirilmesi* (Tez No: 615193). [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

Bagherzadeh Azar, A. & Sari, A. (2023). Historical arch bridges-deterioration and restoration techniques. *Civil Engineering Journal*, *9*(7), 1680–1696. https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-07-010

Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Türker, T. & Sevim, B. (2007). *Tarihi köprülerin deprem davranışına sonlu eleman model iyileştirilmesinin etkisi*. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 16–20 Ekim, s. 29–40.

Bayram, S. (2014). Ivo Andriç'in Drina Köprüsü adlı romanı bağlamında hayatlara uzanan köprüler. *Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, *9*(9), 271–282. https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.7058

Callaway, P., Gilbert, M. & Smith, C. C. (2012). Influence of backfill on the capacity of masonry arch bridges. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering*, *165*(3), 147–157. https://doi.org/10.1680/bren.11.00038

Fırat, F. K. & Eren, A. (2015). Tarihi yığma yapılardaki hasarlı kemerler üzerinde FRP etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *30*(4), 659–670. https://doi.org/10.17341/gummfd.46980

Hokelekli, E. & Yilmaz, B. N. (2019). Effect of cohesive contact of backfill with arch and spandrel walls of a historical masonry arch bridge on seismic response. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, *63*(3), 926–937. https://doi.org/10.3311/PPci.14198

Korkmaz, K. A., Zabin, P., Çarhoğlu, A. I. & Nuhoğlu, A. (2013). Taş kemer köprülerin deprem davranışlarının değerlendirilmesi: Timisvat Köprüsü örneği. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, *2*(1), 66–75. https://izlik.org/JA62WY88SC

Kotoulas, L., Melidis, L., Giannaris, I., Stylianidis, E., Katakalos, K. & Manos, G. (2023). Structural assessment of stone-arch bridges through photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, 879–884. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-879-2023

Kumbasaroglu, A., Celik, A., Demir, O., Turan, A. I. & Yalciner, H. (2019). An assessment of the seismic performance of the historic Tigris Bridge. *Open Journal of Civil Engineering*, *9*, 230–239. https://doi.org/10.4236/ojce.2019.93016

Majtan, E., Cunningham, L. S. & Rogers, B. D. (2023). Numerical study on the

structural response of a masonry arch bridge subject to flood flow and debris impact. *Structures*, *48*, 782–797. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.12.100

Nežerka, V., Antoš, J., Litoš, J., Tesárek, P. & Zeman, J. (2016). An integrated experimental-numerical study of the performance of lime-based mortars in masonry piers under eccentric loading. *Construction and Building Materials*, *114*, 913–924. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.013

Oliveira, D. V. & Lourenço, P. B. (2004). Repair of stone masonry arch bridges. In P. Roca & E. Oñate (Eds.), *Arch Bridges (ARCH'04)* (pp. 1–8). Barcelona: CIMNE. https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/Repair%20of%20Stone%20Masonry%20Arch%20Bridges_1.pdf (son erişim: 27.03.2026).

Örmecioğlu, H. T. (2010). Tarihi yapıların yapısal güçlendirilmesinde ana ilkeler ve yaklaşımlar. *Politeknik Dergisi*, *13*(3), 233–237. https://izlik.org/JA76US73CM

Özkaya, S. G. (2024). Parametric study on the geometric properties of masonry stone bridges with an arch carrier system. *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering*, *3*(2), 95–115. https://doi.org/10.62520/fujece.1419980

Pérez, J. P. C., Sanjosé Blasco, J. J., Atkinson, A. D. J. & del Río Pérez, L. M. (2018). Assessment of the structural integrity of the Roman Bridge of Alcántara (Spain) using TLS and GPR. *Remote Sensing*, *10*(3), 387. https://doi.org/10.3390/rs10030387

Qing, C., Hui, J., Yuande, W., Yidan, H., Zhendong, M., Qi, C. & Shiyu, M. (2023). Quantitative evaluation method of structural safety status of ancient Chinese three-hole stone arch bridges—A case study of the Yongchang Bridge. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, *22*(4), 2143–2160. https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2109644

Salamak, M. & Fross, K. (2016). Bridges in urban planning and architectural culture. *Procedia Engineering*, *161*, 207–212. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.530

Sarhosis, V., Liu, B. & Gilbert, M. (2024). The 3d response of a large-scale masonry arch bridge – Part I: Performance under low and medium loading levels. *Engineering Structures*, *316*, 118496. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118496

Sert, H., Partal, E. M., Demirci, H., Akbulut, T., Avşin, A., Üste Doğan, C., Yılmaz, S., Nas, M., Kasap, F., Turan, G. S. & Korkmaz, H. İ. (2009). *Tarihi köprüler (teknik şartname, mevzuat, envanter, proje, bakım ve onarım)*. Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.

Simon, P. & Oberlin, A. (2025). Quantitative assessment of factors influencing masonry arch bridge performance. *East African Journal of Engineering*, *8*(2), 231–241. https://doi.org/10.37284/eaje.8.2.3868

Sokolović, N. M., Petrović, M., Kontić, A., Koprivica, S. & Šekularac, N. (2021). Inspection and assessment of masonry arch bridges: Ivanjica case study. *Sustainability*, *13*(23), 13363. https://doi.org/10.3390/su132313363

Sözen, Ş. & Çavuş, M. (2020). Tek açıklıklı tarihi taş köprülerde form değişikliğinin köprünün sismik davranışına etkisinin değerlendirilmesi: Niksar Yılanlı (Leylekli) Köprü örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *8*(1), 48–59. https://doi.org/10.29130/dubited.589223

URL-1. *Venedik Tüzüğü*, erişim adresi: https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf (son erişim: 17.11.2025).

URL-2. *Nara Özgünlük Belgesi*, erişim adresi: https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0756646001536913861.pdf (son erişim: 17.11.2025).

URL-3. *Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu İçin İlkeler*, erişim adresi: https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0033791001536913477.pdf (son erişim: 17.11.2025).

URL-4. Atina Tüzüğü, erişim adresi: https://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0660878001536681682.pdf (son erişim: 25.03.2026).

URL-5. Köprü11 – Hatun Köprüsü Proje Sayfası, erişim adresi: https://www.kopru11.com/index.php?s=projedetay.php?id=58 (son erişim: 09.12.2025).

Varró, R., Török, Á. & Görög, P. (2025). Historic stone masonry arch bridges: Materials and numerical modelling of failure modes. *Geoheritage*, *17*, 40. https://doi.org/10.1007/s12371-025-01085-6

Yanık, Y., Türker, T., Çoruhlu, B. & Kamber Yılmaz, G. (2019). Historical stone arch bridges' damage causes and repair techniques. *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, *2*(2), 53–60. https://izlik.org/JA64PT36HC