

## Kentsel Sit Alanında Bulunan Kemerli Yapı Kalıntılarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi: Talas Örneği

Fatma GÜLER<sup>1\*</sup>, Ali İhsan ÇELİK<sup>2+</sup> and Leyla KADERLİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mimarlık Bölümü/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye (fatmaguler.arch@gmail.com)

<sup>2</sup> İnşaat Bölümü/ Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye (acelik@kayseri.edu.tr)

<sup>3</sup> Mimarlık Bölümü/ Mimarlık Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye (drleylakaderli@gmail.com)

\*Corresponding author: fatmaguler.arch@gmail.com

**Özet** – Kayseri'nin Talas ilçesi, yüzyıllar boyunca pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış, bu süreçte önemli kültürel izler bırakan tarihi yapılarla zenginleşmiştir. Ancak bu yapılardan bazıları, çeşitli doğal ve insan kaynaklı etkenler nedeniyle ciddi ölçüde tahrip olmuş; günümüze yalnızca beden duvarları ulaşabilmiştir. Tarihi yapıların korunması, yalnızca estetik ya da kültürel miras açısından değil, aynı zamanda taşıyıcı sistemlerinin yapısal bütünlüğü bağlamında da değerlendirilmelidir. Bu doğrultuda, restorasyon ve müdahale süreçlerinde yapının mevcut statik davranışı ve taşıma kapasitesi belirleyici rol oynamaktadır. Çevresel koşullar ve zamana bağlı yıpranma etkileri sonucunda oluşan yapısal değişimler dikkate alınarak, uygun güçlendirme ve onarım tekniklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda ele alınan çalışmada, Talas ilçesinde yer alan ve kentsel arkeolojik sit alanı içerisinde bulunan kemerli bir yapı kalıntısının taşıyıcı sistemine ilişkin yapısal analiz süreci ele alınmaktadır. Tarihi çevrenin özgün kimliğinin korunmasına katkı sağlamak amacıyla yapılan bu analizde, kemerin açıklığı ve yüksekliği gibi temel ölçütler esas alınarak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Yapıya ilişkin dijital ortofotolar referans alınarak AutoCAD ortamında üç boyutlu bir model oluşturulmuş, bu model .stl formatına dönüştürülerek ANSYS 2020 R2 yazılımına aktarılmıştır. Sayısal analiz sürecinde, kemeri oluşturan taş birimlerinin yapısal davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen simülasyon verileri, yapının deformasyon eğilimlerini ortaya koyarak, tarihi yapıların korunmasında mühendislik temelli yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çalışma, disiplinler arası yöntemlerin bir araya getirilmesiyle kültürel mirasın sürdürülebilir biçimde korunmasına yönelik örnek bir model sunmaktadır.

*Anahtar Kelimeler* – Kentsel Sit Alanları, Tarihi Kemer Yapıları, Sonlu Elemanlar Metodu, ANSYS 2020 R2

## Finite Element Method Analysis of Arched Structural Remains in an Urban Conservation Area: The Case of Talas

**Abstract** – The district of Talas in Kayseri has hosted numerous civilizations throughout history and is enriched with historical structures that bear significant cultural traces of these civilizations. However, some of these structures have been severely damaged over time due to various natural and anthropogenic factors, and today only their exterior walls have survived. The conservation of historical buildings should be addressed not only from an aesthetic or cultural heritage perspective but also in terms of the structural integrity of their load-bearing systems. In this context, the existing static behavior and load-carrying capacity of the structure play a crucial role in restoration and intervention processes. Structural changes caused by environmental conditions and time-induced deterioration must be considered in order to determine appropriate strengthening and repair techniques. In this regard, the present study focuses on the structural analysis process of the load-bearing system of a vaulted architectural remnant located within an urban archaeological site in the Talas district. The analysis was carried out with the aim of contributing to the preservation of the historical environment's authentic identity. The assessment was based on fundamental parameters such as the span and height of the arch. A three-dimensional model of the structure was created in AutoCAD using digital orthophotos as references and was then converted into .stl format and transferred to ANSYS 2020 R2 software. During the numerical analysis phase, the structural behavior of the stone units forming the arch was examined using the finite element method. The simulation results revealed the deformation tendencies of the structure, underlining the necessity of engineering-based approaches in the preservation of historical buildings. The study offers a comprehensive model for the sustainable conservation of cultural heritage through the integration of interdisciplinary methods.

*Keywords* – Urban Conservation Areas, Historical Arch Structures, Finite Element Method, ANSYS 2020 R2

### I. GİRİŞ

Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın 2009 yılına ait verilerine göre, Kayseri'de kayıtlı olan tarihi yapı sayısının 829 olduğu belirtilmektedir [1]. Çalışma kapsamında ele alınan yapı, Kayseri ili Talas ilçesinde yer alan, kentsel- kentsel arkeolojik sit alanı olarak tanımlanan bölge içerisinde

konumlanmaktadır. Talas, tarih boyunca farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış, stratejik konumu ve verimli topraklarıyla önemli bir yerleşim alanı olmuştur [2], [3], [4], [5], [6].

20. yüzyıldaki nüfus mübadelesiyle bölgenin demografik ve mekânsal yapısı köklü biçimde değişmiş, tarihi kent dokusu ise doğal afetler ve kontrolsüz müdahaleler sonucu büyük

ölçüde tahrip olmuştur. Bu nedenle Talas'ın kentsel arkeolojik sit alanı olarak ilan edilmesi, kültürel mirasın korunması açısından önemli bir gelişmedir. Ancak mevcut koruma politikalarının yetersizliği, bölgenin sürdürülebilir biçimde korunması ve yeniden işlevlendirilmesi için disiplinler arası yaklaşımların ve kapsamlı koruma stratejilerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Geçmişte birçok farklı topluluğun yaşadığı tarihî bir yerleşim alanında bulunan kemerli yapının taşıyıcı sistem elemanları, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilecektir. Kemer birimlerine ait statik performans, ANSYS Workbench yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen simülasyonlarla değerlendirilecek, elde edilen veriler doğrultusunda yapının deformasyon davranışları incelenecektir.

## II. MATERYAL VE METOT

Kentsel sit alanları, tarihi, kültürel ve mimari değere sahip kent dokularını koruma amacı taşıyan, planlı ve bütüncül yaklaşımlarla ele alınması gereken alanlardır. Bu alanlar, geçmişin izlerini taşıyan yapılarla birlikte sosyal belleğin yaşatıldığı önemli kültürel miras alanlarıdır (KTVKK). Kentsel sit alanlarının sürdürülebilir biçimde korunması, sadece fiziksel yapının değil, aynı zamanda tarihî kimliğin ve kültürel sürekliliğin gelecek kuşaklara aktarılması açısından da kritik bir rol üstlenmektedir.



Şekil 2. Kemerli Yapı [7]



Şekil 1. Kemerli Yapı Grubu [7]

Kayseri, Talas ilçesi Han Mahallesi sınırları içerisinde, Aşağı ve Yukarı Talas bölgelerini kapsayan, kuzey-güney doğrultusunda uzanan alanında konumlanan kemerli yapı grubu (Şekil 1), eğimli topografik yapısıyla dikkat çekmektedir. Batıda Çarşı Caddesi'ne cephe veren, doğuda ise yamaca yaslanan bu yapı topluluğu, yoldan yaklaşık 14 metre kot farkı ile bitişik nizamda inşa edilmiştir. Arşiv belgeleri ile mevcut yapı kalıntılarının karşılaştırılması neticesinde, özellikle ön cephelerin ciddi tahribata uğradığı, günümüze ulaşan kalıntıların ise büyük ölçüde iç mekânlara ait olduğu tespit edilmiştir. Yapının ön ve yan cephelerindeki zemin boşlukları, alt kısımlarda bodrum kat ya da kaya oyma mekânların varlığına işaret etmektedir. Yaklaşık 47 metre genişliğe sahip bu yapı grubunun alt kotunda yer alan üç bağımsız kemerden, ortada konumlanan kemer bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 3. Kemerli Yapı Kesiti [7]

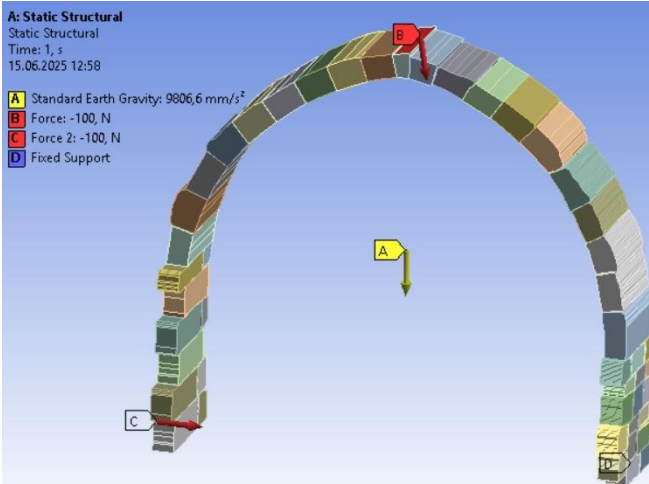
Yapı grubunun ortasında yer alan kemerin açıklığı yaklaşık 360 cm olup, kemer yüksekliği 374 cm olarak ölçülmüştür. Bu bölümün kuzey duvarında, 100 x 105 cm boyutlarında, 110 cm yüksekliğinde bir niş bulunmaktadır. Mekânın üst örtüsü, beşik tonozla kapatılmıştır. Yapının iç duvarlarında düzgün kesme taş işçiliği gözlemlenirken, dış yüzeylerde daha çok kaba yonu taş malzeme tercih edilmiştir [8] (Şekil 3).

Yapı kalıntısının taşıyıcı sistemini oluşturan kemerin analizinden elde edilen veriler; kemeri oluşturan taşların genişliği, yüksekliği ve açıklığı gibi ölçütler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapının bilinen boyutları esas alınarak, kemer açıklığının taş düzenlemeleri dijital verilerden elde edilen ortofotolar referans alınarak AutoCAD ortamında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Daha sonra bu üç boyutlu model dwg formatından stl uzantısına farklı kaydedilerek ANSYS 2020 R2 yazılımına aktarılmıştır. Kemerlerin taş dizilimi için 49 adet geometrik birim tanımlanmıştır. Kemerin üstünün toprakla örtülü olması nedeniyle, çalışmada yalnızca ön cepheden görülebilen kısmı modellenmiştir.



Şekil 4. Kemerli Yapıda Oluşan Mesh Yüzeyler

Kemer taşlarını oluşturan geometrik birimler 4 mm ölçeğinde (element size) mesh yüzeylere bölünmüştür (Şekil 4). Tarihi kemerli yapının ayak kısımları sabitlenerek (fixed support), düzey yönde (Z eksenini), yer çekimi (standart earth gravity), düşey yönde 100 N ve yatay yönde 100 N kuvvet (force) uygulanmıştır (Şekil 5). Uygulanan kuvvetlerin analizleri sonucunda Kemerli yapının deformasyon sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 5. Kemerli Yapıya Uygulanan Yükler

Yapılan analiz kapsamında, kemeri oluşturan taş birimler arasındaki harç tabakası dikkate alınmaksızın, elemanlar yalnızca temas yüzeyleri üzerinden etkileşime girecek şekilde modellenmiştir. Kemer bileşenlerinin kesme taş malzemeden oluştuğu bilgisi doğrultusunda, her birime SOLID65 tipi üç boyutlu katı eleman tanımlaması yapılmıştır. Bu eleman tipi, çatlak oluşumu ve plastik deformasyon gibi yapısal davranışları temsil etmede oldukça başarılı sonuçlar vermekte olup, özellikle taş ve beton gibi gevrek malzemelerin modellenmesinde tercih edilmektedir. SOLID65'in bu tür uygulamalarda etkin biçimde kullanıldığı, Çelik ve arkadaşlarının (2022) geopolimer beton kirişler üzerine gerçekleştirdikleri sayısal analiz çalışmasında da ortaya konulmuştur [9].

Tablo 1. Kemerli Yapının Analitik Modeli İçin Malzeme Özellikleri

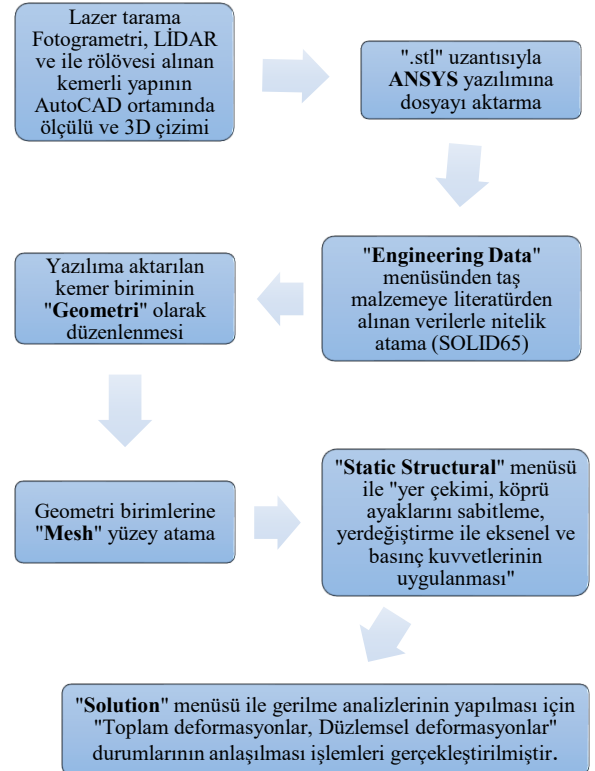
Malzeme	Elastisite modülü (N/m <sup>2</sup> )	Poisson oranı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Kemer (Talas Stone)	1.1700 MPa	0.17	2400

### III. KEMERLİ YAPININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPISAL ANALİZİ

Sonlu elemanlar metoduyla gerçekleştirilen yapısal analiz şu adımlardan oluşur;

1. Yapının geometrik biçiminin modellenmesi gerçekleştirilir.
2. Yapı bileşenlerinin elastisite modülü, yoğunluk değeri ve poisson oranı tanımlanır.
3. Strüktüre hangi kuvvetlerin uygulanacağı belirlenir.
4. Uygulanacak çözümleme yönteminin türü seçilir.

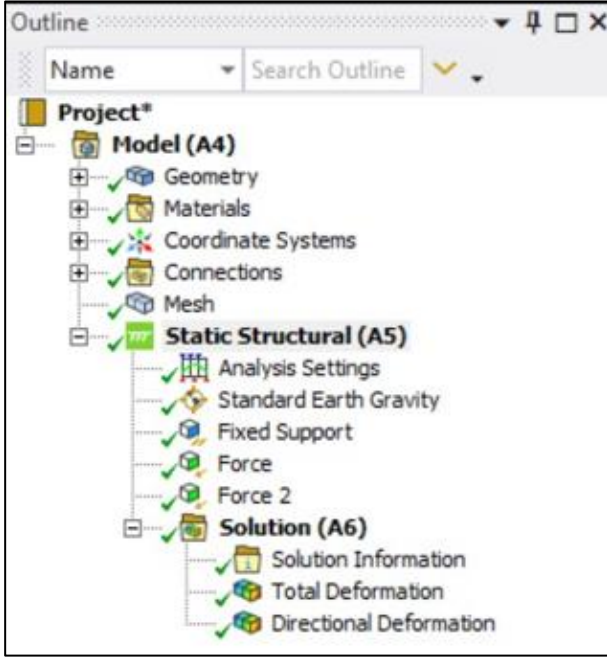
ANSYS Workbench (2020 R2) programı kullanılarak gerçekleştirilen model analizinde, yapı üzerindeki gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelerin tespit edilmesi ve yer değiştirme değerlerinin görsel olarak ortaya konulması mümkündür [10], [11]. Bu doğrultuda yapılan çalışmada, kemerli yapı, eşit basınç ve eksenel yükler altında değerlendirilmiş, oluşan deformasyonlar açısından karşılaştırılmıştır. ANSYS yazılımı aracılığıyla, yapı elemanlarına uygulanan kuvvetler sonucunda meydana gelen deformasyonlar detaylı biçimde analiz edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Analiz için izlenen işlem adımları

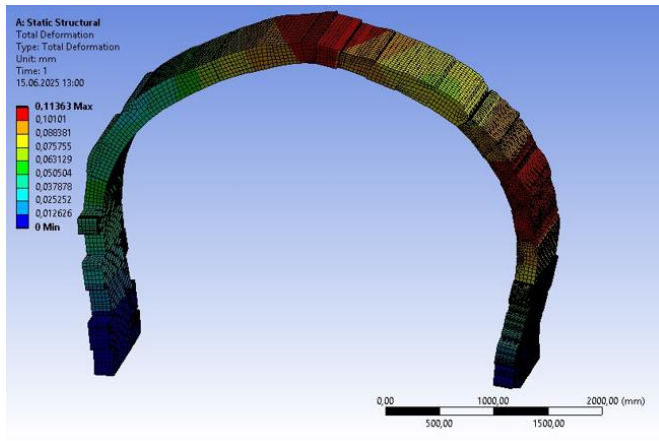
Kemer yapısının mekanik davranışlarının anlaşılabilmesi amacıyla yürütülen bu sayısal simülasyon sürecinde, yapı bileşenlerine uygulanan basınç ve eksenel kuvvetlerin

etkisiyle oluşabilecek gerilme dağılımları, yer değiştirmeler ve deformasyonları incelenmiştir. Analiz süreci kapsamında, kemer yapısının öncelikle üç boyutlu olarak modellenmiş, ardından ANSYS yazılımına aktarılmış ve simülasyonlar bu dijital ortamda gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).



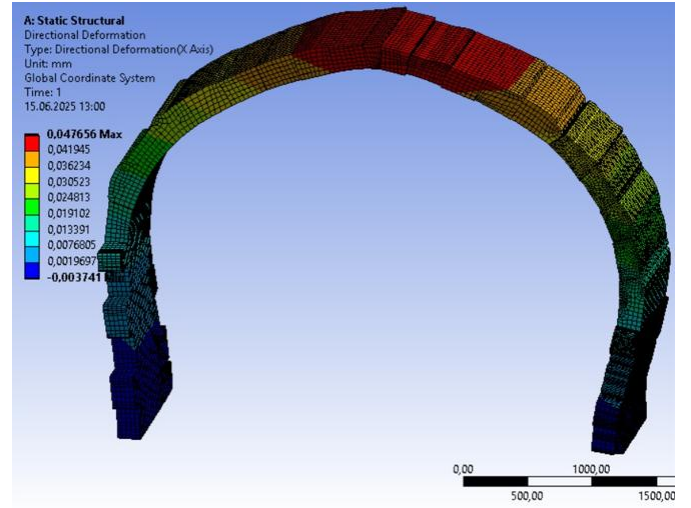
Şekil 7. ANSYS Workbench 2020 R2 Yazılımında İzlenen İşlem Adımları

Yapının dayanıklılığını anlamak için uygulanan yükler ve meydana gelen yer değiştirmeler, toplam deformasyon ve aksel deformasyon başlıkları altında incelenmiştir. Kemer birimleri, başlangıçtaki durumları esas alınarak, basınç ve aksel yüklerin ayrı ayrı uygulanmasıyla oluşturulan simülasyonlar doğrultusunda analiz edilmiştir. Ayrıca hem basınç hem de aksel yüklemelerin birlikte uygulandığı senaryolarda kemer bileşenlerin gerilme dağılımları ve deformasyon davranışları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.



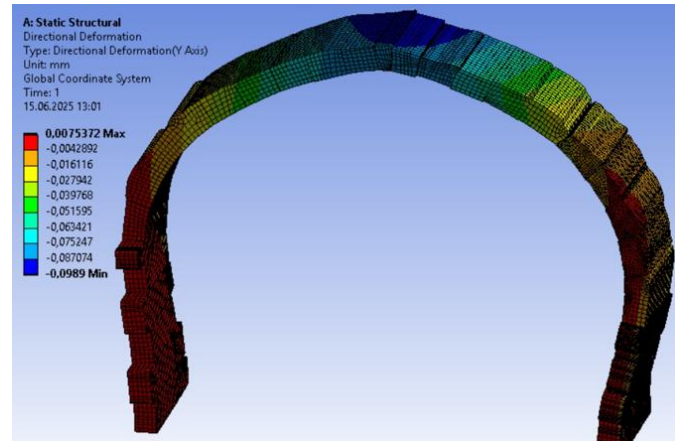
Şekil 8. Kemerli Yapının Basınç Altında Toplam Değişimi (Total Deformation)

Basınç kuvveti ve yer değiştirme uygulanan kemerli yapıda, kemerin üst orta noktasından başlayarak gerilmenin yoğunlaştığı ve ayaklara doğru azaldığı, ayrıca kemer ayaklarında gerilme açısından birbirine yakın davranışlar gözlemlendiği tespit edilmiştir. Kemer üzerinde uygulanan basınç yükü sonucunda gerilme yoğunluğunun arttığı ve bu durumun X-Z düzleminde yapısal eğilmelere yol açtığı gözlemlenmiştir (Şekil 8).



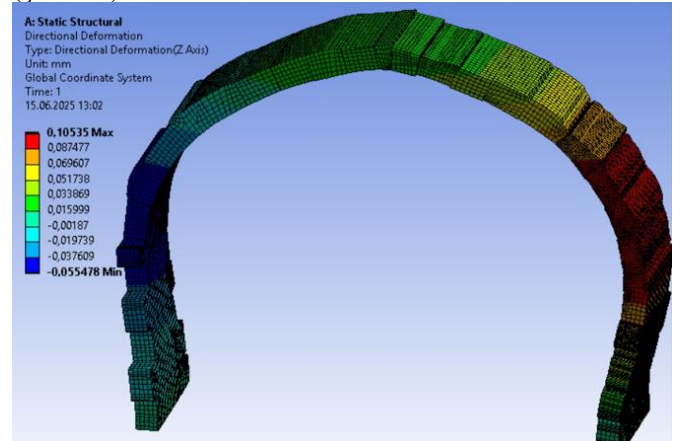
Şekil 9. Kemerli Yapının Basınç Altında X Ekseninde Deformasyonu (Directional Deformation)

X eksenine yönelik düzlemsel deformasyon analizinde, en yüksek gerilme değerlerinin (0.047656 mm) kemerin ayak kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, gerilme dağılımı açısından Y eksenindeki düzlemsel deformasyon davranışıyla benzerlik taşıdığı tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 10. Kemerli Yapının Basınç Altında Y Ekseninde Deformasyonu (Directional Deformation)

Kemer üzerinde basınç etkisi sonucunda Y ekseninde, X ekseninde olduğu gibi kemer ayaklarında yoğun gerilmelerin olduğu, ancak X ve Z eksenlerine oranla daha düşük gerilmelerin (0.0075372 mm) gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 11. Kemerli Yapının Basınç Altında Z Ekseninde Deformasyonu (Directional Deformation)

Z eksenli yönündeki düzlemsel deformasyon analizinde ise, daha yüksek gerilmelerin (0.10535 mm) olduğu tespit edilmiş; bu durumun, kemerin X eksenli doğrultusunda yapısal bozulmalara yol açarak eğilmelere sebep olduğu ortaya konmuştur (Şekil 11).

Deformasyonların yönü ve dağılımı, kemerin taşıyıcı performansını değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir. Z ekseninde en yüksek deformasyonun gözlemlenmesi, bu doğrultudaki yüklemeler ya da yapısal zayıflıkların incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu tür hareketler yapının genel statik dengesini etkileyebileceğinden, söz konusu deformasyonun nedenleri analiz edilmeli ve uygun güçlendirme stratejileri geliştirilmelidir.

Talas'taki kemerli yapıya yönelik gerçekleştirilen analizler sonucunda, yapının mevcut statik durumu ve potansiyel riskleri hakkında önemli bir ön değerlendirme sunmaktadır. Ancak, yalnızca uygulanan yükler altındaki deformasyon ve gerilme tepkileri yapının genel dayanımını tam olarak ortaya koymak için yeterli değildir. Yapının olası doğal afetler, zemin hareketleri veya ani yük artışları gibi durumlar karşısındaki davranışını anlayabilmek için, daha kapsamlı malzeme testlerine, geometrik ayrıntıların netleştirilmesine ve hem statik hem de dinamik analizlerin gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

#### IV. SONUÇ

Talas'ta, birçok farklı uygarlığın izlerini taşıyan kentsel sit alanı içerisinde bulunan tarihi kemerli yapı grubuna ait seçilmiş bir kemerli yapı elemanı, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapısal analiz amacıyla analitik olarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında, kemerin yapısal analizi gerçekleştirilmiş ve uygulanan yükler altında mekanik davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Yapısal analizler sonucunda, kemerde meydana gelebilecek yer değiştirme riskleri ile basınç ve eksenel kuvvetlerin etkisiyle oluşan yapısal hasarların belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda, kemer ayaklarında yoğun basınç gerilmelerinin biriktiğini ve özellikle yatay yükler altında Z eksenli doğrultusunda, diğer eksenel deformasyonlara kıyasla daha fazla yer değiştirme meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu durum, yapının belirli bölgelerinde malzeme dayanımının yetersiz kaldığını ve taşıyıcı sistemin özellikle yatay etkiler karşısında zayıf bir performans sergilediğini göstermektedir. Kemerin yapısal dengesindeki bu kırılganlık hem mevcut deformasyonların ilerlemesine hem de uzun vadede stabilite kaybına yol açabilecek niteliktedir. Ayrıca, analizler genel olarak yapının stabil bir durumda olduğunu göstermesine rağmen, yüksek deformasyon değerlerinin zamanla yapısal hasar riskini artırdığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle, düzenli izleme ve bakım programlarının yanı sıra yapısal sağlığın sürekli takip edilmesi önerilmektedir. Bu araştırma, tarihi yapının korunması ve sürdürülebilirliği açısından önemli bir referans niteliği taşımanın yanı sıra, ileride yapılacak çalışmalar için kapsamlı değerlendirmeler ve geliştirmeler için temel oluşturmayı hedeflemektedir.

#### KAYNAKÇA

[1] A. Ulvi ve A. Y. Yiğit, "3D Modelling of Kayseri Tekgöz Bridge", *Mersin Photogrammetry Journal*, c. 2, sy 1, ss. 29-32, 2020.

[2] H. Özsoy, "Dünden Bugüne Talas. Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü", Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 1991.

[3] H. Erkiyetlioğlu, "Kayseri tarihi: en eski zamandan Osmanlılara kadar", *İl Kültür Müdürlüğü Yayınları*, c. V, 1993.

[4] H. Cömert, *19. yüzyılda Talas*. Mazaka Yayıncılık, 2010.

[5] A. Tuzcu, *Talas 1860-1960 Geçmiş Zaman Yansımaları*. Kayseri: Talas Belediyesi Kültür Yayınları, 2017.

[6] O. Doğanay ve H. Eraslan, "SİT ALANLARI VE ARKEOLOJİK SİT POTANSİYELLERİNE YÖNELİK TESPİTLER VE ÖNERİLER".

[7] F. Güler, "Kentsel Arkeolojik Sit Alanlarının Arkeopark Olarak Değerlendirilmesi: Kayseri Talas Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2024.

[8] F. Güler ve L. Kaderli, "Sustainable Conservation Strategies of Urban Heritage Sites: Kayseri Talas Archaeopark Proposal", *Cultural Heritage and Science*, c. 6, sy 2, ss. 66-77, May. 2025, doi: 10.58598/cuhes.1622778.

[9] A. İ. Çelik, A. Özbayrak, A. Şener, ve M. C. Acar, "Numerical analysis of flexural and shear behaviors of geopolymer concrete beams", *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, c. 7, sy 2, ss. 70-80, Haz. 2022, doi: 10.47481/jscmt.1116561.

[10] M. Güler ve S. Şen, "Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler", *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, sy 1, ss. 56-66, 2016.

[11] F. Kılıç Urfalı ve A. İ. Çelik, "Tarihi Kemer Yapılarının Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi; Tekgöz Köprüsü Örneği", *7. Uluslararası Antalya Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Kongresi*, ss. 1620-1628, May. 2024.