

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 035601 (645-653)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 035601 (645-653)

DOI: 10.35414/akufemubid.1075662

Araştırma Makalesi / Research Article

## Tarihi Yapıların Restorasyonunda Taşıyıcı Duvar İmalatlarının Numerik Olarak Modellenmesi: Duvar Katmanı Analizi

**Ahmet Sertaç KARAKAŞ<sup>1\*</sup>, Tarık Serhat BOZKURT<sup>2</sup>**<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi, Rektörlük, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, İstanbul.<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.Sorumlu yazar e-posta: skarakas@istanbul.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0840-2878><sup>2</sup>e-posta:bozkurt@itu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5642-4986>

Geliş Tarihi: 18.02.2022

Kabul Tarihi: 02.06.2022

### Öz

Tarihi yapıların restorasyonunda binanın özgün formunun korunması esas olmaktadır ve tarihi kimliğinin gelecek kuşaklara sağlıklı bir şekilde aktarılması gerekmektedir. Bu kapsamda, tarihi yapılardaki özgün bina formlarının korunması ve iç mekân hacimlerinin bozulmaması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca tarihi yapıların restorasyonunda gelişen standartlar ve yeni deprem yönetmeliğinin kriterleri de göz önünde tutulması elzemdir. Bu sebeple, tarihi yapı restorasyonlarındaki gereksinimlerin karşılanabilmesi için modern tekniklerin de geliştirildiği görülmektedir. Tarihi yapılardaki restorasyon çalışmalarında doğru müdahale kararının belirlenmesi, farklı disiplinlerdeki uzmanların bir arada çalışması ile gerçekleştirilebilmektedir. Çok sayıdaki uzman görüşü doğrultusunda hazırlanan güçlendirme projeleri her binanın özel ihtiyacına ve gerekliliğine göre hazırlanmaktadır. Belirtilen sebeplerden dolayı tarihi yapılardaki güçlendirme projeleri çeşitlilik arz etmektedir. Bu kapsamda, tarihi yapıların restorasyonunda kullanılacak farklı detayların ve çözüm önerilerinin analiz edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, tarihi yapılardaki duvar güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler incelenmiş, duvar katman kalınlığının ve güçlendirme katmanı kalınlığının etkisi numerik olarak analiz edilmiştir. Değişen duvar katmanı kalınlığının gerilme dayanımı etkisi detaylandırılmıştır. Farklı taşıyıcı duvar kalınlıklarına göre yük altındaki gerilme-deformasyon ilişkileri eğri uyarılama yöntemi ile incelenmiştir. Sonuç olarak duvar kalınlığının artırılmasının basınç gerilmesi ve deformasyonlardaki değişimlere önemli katkı sunduğu görülmüştür. Hazırlanan numerik modeller, restorasyon projelerinin hazırlanması sırasında farklı disiplinlerdeki uzmanlara yardımcı olabilecektir.

### Anahtar kelimeler:

Yığma tuğla; Numerik analiz; Sonlu elemanlar metodu; Eğri uyarılama

## Numerical Modeling Of Bearing Wall Manufacturing In The Restoration Of Historic Buildings: Wall Layer Analysis

### Abstract

In the restoration of historical buildings, it is essential to preserve the original form of the building and its historical identity should be transferred to future generations in a healthy way. In this context, it is important to preserve the original building forms in historical buildings and not spoil the interior volumes. In addition, it is essential to consider the standards developed in the restoration of historical buildings and the criteria of the new earthquake regulation. For this reason, it is seen that modern techniques have been developed to meet the requirements in historical building restorations. For this reason, it is seen that modern techniques have been developed in order to meet the requirements in historical building restorations. Determining the right intervention decision in restoration works in historical buildings can be realized by the joint work of experts from different disciplines. Strengthening projects, prepared in line with the opinions of many experts, are prepared according to the specific needs and requirements of each building. Due to the reasons stated, retrofitting projects in historical buildings are diverse. Within this scope, there is a need to analyze different details and solution proposals that can be used in the restoration of historical buildings. In this study, the methods used in wall reinforcement in historical buildings were examined and the effect of wall layer thickness and reinforcement layer thickness was analyzed numerically. The tensile strength effect of varying wall layer thickness is detailed. Stress-strain relations under load according

### Keywords:

Masonry brick; Numerical analysis; Finite element method; Curve fitting

to different load-bearing wall thicknesses were investigated by curve fitting method. As a result, it was seen that increasing the wall thickness contributed significantly to the changes in compressive stress and deformations. Stress-strain relations under load according to different load-bearing wall thicknesses were investigated by curve fitting method.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

Tarihi yapıların restorasyonunda, özgün tarihi yapının kimliğine ve özelliğine zarar verilmemesi amaçlanmalıdır. Tarihi yapıların restorasyonu sürecinde özgün bina formlarının korunması ve geniş hacime sahip özgün mekanlara ait iç zenginliğin korunması gerekmektedir. Tarihi yapıların restorasyonu sürecinde gerçekleştirilecek müdahale kararları bilimsel yöntemlere ve tarihi yapıların koruma felsefesine uygun olarak belirlenmelidir. Ayrıca, güncel standart gerekliliklerinin de yerine getirilmesi ayrı bir önemli konu olarak restorasyon sürecinde karşımıza çıkmaktadır. ICOMUS (1964) tarihli Venedik tüzüğünde tarihi yapıların restorasyon süreçleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Venedik Tüzüğü'nün 10. Maddesinde *"Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşaa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamlaştırılabilir"* denilmektedir. Ülkemizde de güncel deprem yönetmeliğinin gerekleri göz önünde tutularak, tarihi yapıların koruma felsefesi doğrultusunda tarihi yapıların güçlendirme imalatları yapılabilmektedir. Tarihi yapıların güçlendirmesi sürecinde koruma kurulu tarafından onaylanan projeler dikkate alınmakta ve bu doğrultuda güçlendirme imalatları yürütülmektedir. Güçlendirme projeleri konusunda uzman inşaat mühendisleri tarafından hazırlanmaktadır ve tarihi yapılardaki müdahale kararlarını değerlendiren koruma kurulu görüşleri doğrultusunda projeler şekillendirilmektedir. Tarihi devlet yapıların güçlendirilmesi sürecinde projeyi hazırlayan firma, ilgili belediye, ilgili koruma kurulu ve güçlendirme imalatlarını yaptıran idare proje hazırlanması süreçlerinde aktif rol oynamaktadırlar. Proje süreçlerinde pek çok parametrenin göz önünde tutulması ve pek çok uzmandan görüş alınması gerekebilmektedir. Bu doğrultuda tarihi yapılardaki güçlendirme projelerinde pek çok parametre yer almakta ve güçlendirme projelerinde kullanılan

güçlendirme metotları farklılaşabilmektedir. Yığma yapılar çekme ve basınç altında sünek davranış sergilemediklerinden bu durum plastik davranış göstermeden aniden göçmelerine neden olabilir (Celep ve Kumbasar 2004, Çırak 2011). Yığma yapıların güçlendirilmesinde süneklik kazandırmak için çeşitli malzemeler takviye olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tarihi yapıların güçlendirilmesi sürecinde birçok modern teknik önerilebilmektedir. Günümüzde güncel olarak karbonfiber uygulamaları, çelik gergi sistem uygulamaları, filiz ekimi duvar güçlendirme uygulamaları ve güçlendirme katmanı uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır. Ülkemizde gerçekleştirilen tarihi yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında da modern güçlendirme imalatlarının kullanılabilirdiği ve çeşitli olabildiği anlaşılmaktadır. Karakaş vd. (2015) çalışmalarında, tarihi binanın güçlendirilmesi sürecinde durum çalışması yaparak duvar imalatlarının karbonfiber malzeme ile güçlendirildiğini belirtmiştir. Cemil vd. (2016) çalışmasında, yığma duvarlara filiz ekimi imalatlarının yapıldığı, yığma duvarlarda güçlendirme katmanının uygulandığı, volta döşemelerin üzerinde paslanmaz çelik gergi imalatlarının yapıldığı, yığma duvarların karbonfiber malzeme ile güçlendirildiği ve kapı-pencere boşluk kenarlarının çelik konstrüksiyon lamalar ile sağlamlaştırıldığı görülmektedir. Sayın vd. (2017) ve Sayın vd. (2019) çalışmalarında, tarihi yapılarda güçlendirme yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmada karbonfiber ile duvar güçlendirmesi ve paslanmaz gergilerle ise volta döşemelerde güçlendirme imalatlarının yapıldığı görülmektedir. Yığma duvar imalatlarında enjeksiyon ile boşlukların doldurulabilirdiği, yığma duvar imalatlarında filiz ekimi yapılarak üzerine güçlendirme katmanı uygulanabilirdiği, yığma duvarların karbonfiber malzeme ile sağlamlaştırılabilirdiği ve volta döşemelerin paslanmaz çelik gergiler ile güçlendirilebilirdiği anlaşılmaktadır. Yıldızlar (2021) araştırmasında, tarihi bir yapının güçlendirme imalatlarından bahsetmiş, yığma duvarda çelik



geometrik özelliğe sahip 1/3 ölçekli 700x700 mm boyutlarında duvarları sıvalı ve sıvasız olarak tasarlayarak deneye tabi tutmuşlardır. Basınç etkisi altında duvarın davranışı incelenmiş, tuğla duvar kullanılmasıyla yapının yanal rijitliği ve dolayısıyla dayanımı artmıştır. Literatürde, sıva katman kalınlığının artması ile ses yutma performansını artabildiği anlaşılmaktadır. Bu araştırmada da değişen güçlendirme katmanı kalınlığının gerilme dayanımına olan etkisi analiz edilmektedir. Değişen duvar kalınlıkları bu araştırmada numerik olarak analiz edilmektedir. Değişen duvar kalınlıkları 40 cm, 60 cm, 80 cm olarak tanımlanmış ve üç farklı kalınlıkta olacak şekilde belirlenmiştir. Üç farklı kalınlıktaki duvarın gerilme-deformasyon parametreleri sonlu elemanlar metodu uygulanarak numerik analiz yöntemiyle elde edilmiştir. Numerik modelleme programından elde edilen gerilme ve deformasyon sonuçları, değişen duvar kalınlıklarına göre analiz edilmiştir. Değişen kalınlıklar dikkate alınarak ileriye yönelik tahminlerin belirlenmesi için duvarların yük altında artan kalınlıklardaki gerilme-deformasyon davranışları eğri uyarılama yöntemi ile ele alınmıştır. Numerik model sayesinde 40 cm ile 80 cm değerleri arasındaki yığma duvarların değişen kalınlıklarının gerilme dayanımı ve deformasyon tepkileri yaklaşık olarak numerik model analizi hazırlanmadan öngörülebilecektir. Benzer şekilde, 40 cm kalınlığındaki yığma duvara farklı kalınlıklarda güçlendirme katmanı uygulamasının eklenmesi durumuna da yaklaşık olarak fikir verebilecektir. 40 cm kalınlıktaki yığma duvar ile Şekil 1'de gösterildiği gibi çift taraflı güçlendirme katmanı uygulandığı kabul edilebilir ve toplam duvar kalınlığının maksimum 80 cm olacağı varsayılabilir. Güçlendirme katmanı kalınlığı arttıkça gerilme dayanımının artış düzeyi yaklaşık olarak öngörülebilir. Hazırlanan eğri modeli sayesinde artan duvar katmanı kalınlığının ne kadar mukavemeti arttıracığı proje çalışmalarında yaklaşık olarak öngörülebilecektir. Hazırlanan modeller değişik kalınlıktaki duvarların yük altındaki davranışlarının belirlenmesinde görülen karmaşık problemlerin giderilmesi için kolaylık sağlayacağı düşünülmekte ve hazırlanacak yeni projelerde uygulayıcılara fikir vermesi bakımından katkı sunacaktır.

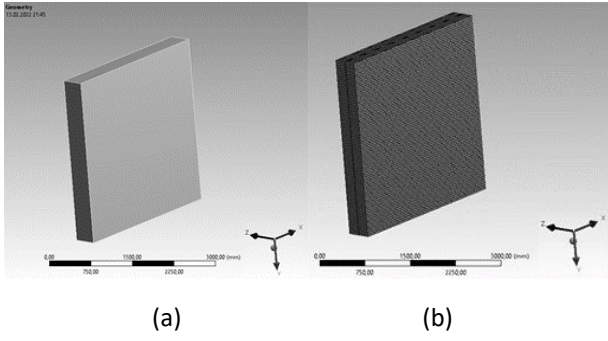
## **2. Materyal ve Metot**

Çalışmada taşıyıcı duvarlarda kullanılan harman tuğlalar dikkate alınmıştır. Zayıf duvar yüzeylerinde uygulanan güçlendirme teknikleri gösterilmiştir. Çalışma kapsamında değişik kalınlıktaki taşıyıcı duvar kalınlıklarından oluşan bir senaryo oluşturulmuştur. Duvarlar 40-80 cm değişen kalınlıklarda ve 300x300 cm ebatlarındaki bir baz model üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmada taşıyıcı duvarın yük altındaki davranışını belirlemek için sonlu elemanlar metodu uygulanarak numerik analizler gerçekleştirilmiş, duvarların değişik kalınlıklardaki gerilme ve şekil değiştirme davranışları numerik analizler yardımıyla elde edilmiştir. Ayrıca matematiksel laboratuvar programı kullanılarak eğri uyarılama yöntemiyle ölçümü gerçekleştirilmeyen farklı ara kalınlıktaki taşıyıcı duvarların yük altındaki davranışları tahmin edilmiştir. Analiz çalışmalarından fonksiyon denklemleri çıkarılarak elde edilen parametreler arasında kuvvetli bir ilişki olup olmadığı belirlenmiştir. Fonksiyon denklemleri yardımıyla farklı kalınlıktaki duvarların yük altındaki davranışlarının belirlenmesinde kolaylık sağlanmıştır.

### **2.1 Numerik Analiz Çalışmaları**

Literatürde, ANSYS programında numerik modelleme yapıldığı ve bu doğrultuda malzemelerin performans özelliklerinin incelendiği sıklıkla gözlemlenebilmektedir (Karakaş ve Öртеş 2017, Karakaş ve Öртеş 2021). Bu çalışmada da numerik model analizleri ANSYS R16.2 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı harman tuğlanın yük altında gerilme-deformasyon davranışını belirlemek için değişik kalınlıklarda (40 cm, 60 cm ve 80 cm) ve 300cm x 300cm boyutundaki taşıyıcı harman tuğla duvar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Duvara düşey doğrultuda maksimum taşıma kapasitesi dikkate alınarak 50 kgf/cm<sup>2</sup>lik düşey yük uygulaması yapılmıştır. Duvar tabanı sabitlenmiştir. Dolu tuğla duvar fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak birim hacim ağırlığı 2kg/m<sup>3</sup>, poisson oranı ise 0,2 ve elastisite modülü ise 17.000 MPa olarak seçilmiştir. Dolu Harman tuğlanın rijitlik davranışı esnek olarak kabul edilmiştir. Hassasiyeti arttırmak için düğüm

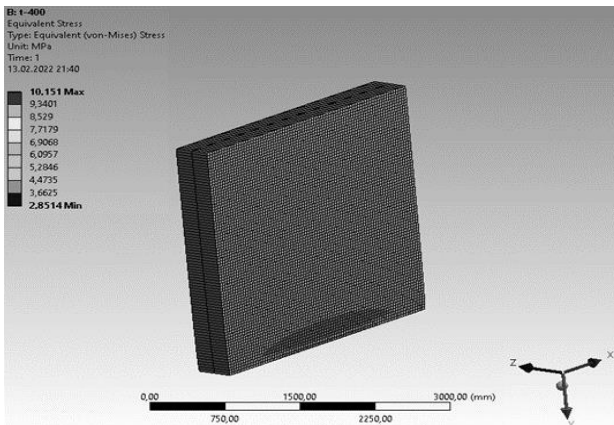
noktası 75281, eleman çubuk sayısı 13448 seçilmiştir. Duvarın geometrisi ve ağ boyutlandırması Şekil 2’de gösterilmiştir.



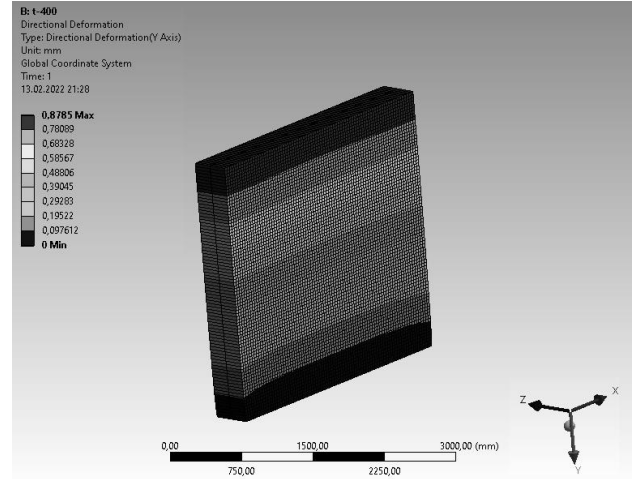
Şekil 2. Taşıyıcı harman tuğla duvar geometrisi (a) ve mesh dağılımı durumu (b)

### 3. Bulgular

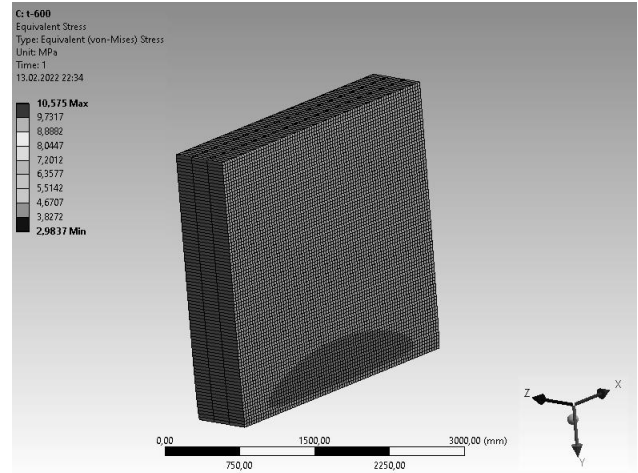
Sonlu elemanlar metodu uygulanarak yapılan numerik analizlerde; Şekil 3, Şekil 5 ve Şekil 7’de farklı kalınlıkta taşıyıcı duvarların Von Mises gerilmeleri verilmiştir. Şekil 4, Şekil 6 ve Şekil 8’de duvarların yük etkisi altında farklı kalınlıklardaki deformasyon davranışları gösterilmiştir. Şekil 3, Şekil 5 ve Şekil 7’ye göre gerilme dağılımlarında taban noktalarında artışlar gözlenmiştir. Aynı şekilde analiz sonuçları dikkate alındığında deformasyonların Şekil 4, Şekil 6 ve Şekil 8’de görüleceği üzere üst tabakalarda daha yoğun görülmüştür. Bunun nedeni bu bölgelerin ilk temas yüzeyi olduğu ve gerilmelere ilk maruz kaldığı alanda yer almasından kaynaklanmaktadır.



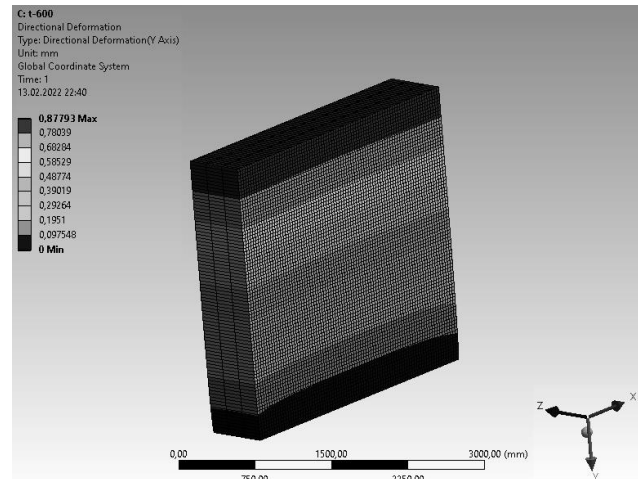
Şekil 3. Taşıyıcı harman tuğla duvar Von Mises gerilmesi (40 cm taşıyıcı harman tuğla)



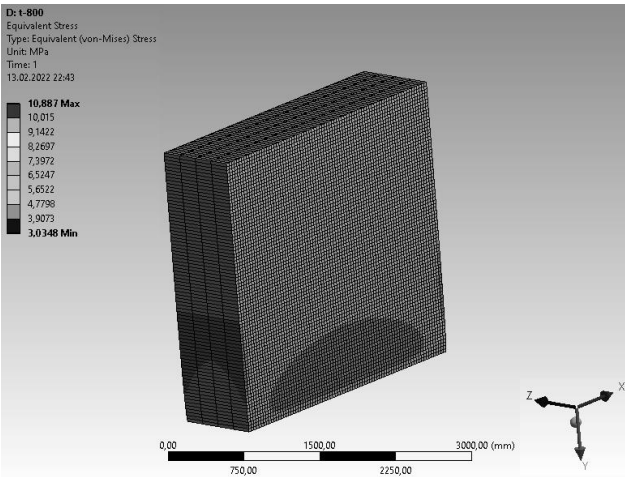
Şekil 4. Taşıyıcı harman tuğla duvar deformasyonu (40 cm taşıyıcı harman tuğla)



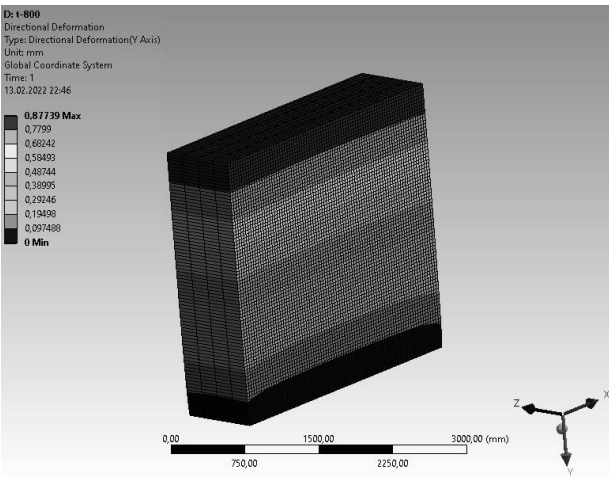
Şekil 5. Taşıyıcı harman tuğla duvar Von Mises gerilmesi (60 cm taşıyıcı harman tuğla)



Şekil 6. Taşıyıcı harman tuğla duvar deformasyonu (60 cm taşıyıcı harman tuğla)

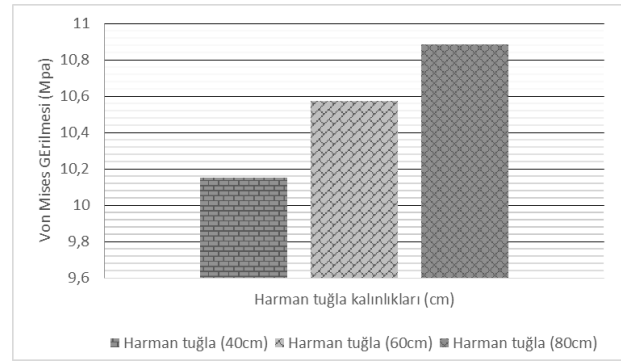


Şekil 7. Taşıyıcı harman tuğla duvar Von Mises gerilmesi (80 cm taşıyıcı harman tuğla)

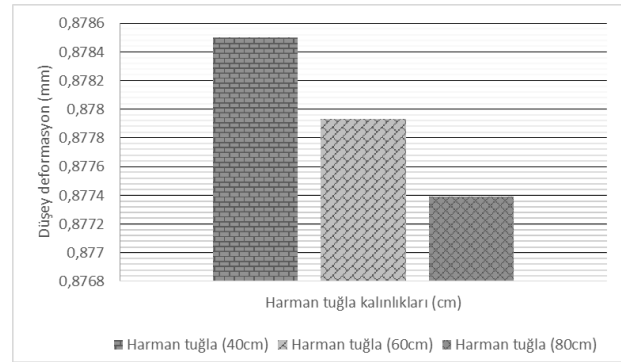


Şekil 8. Taşıyıcı harman tuğla duvar deformasyonu (80 cm taşıyıcı harman tuğla)

Şekil 9 ve Şekil 10'da farklı kalınlıktaki harman tuğlanın sabit yük etkisi altındaki sırasıyla gerilme ve deformasyon ilişkileri sunulmuştur. Şekil 9'a göre; Von Mises gerilmeleri birbirine yakın değerde olup, en fazla gerilme değerlerinin 80 cm kalınlıktaki duvarda, en düşük gerilmelerin ise 40 cm kalınlıktaki taşıyıcı yığma harman tuğla duvarda görülmüştür. Gerilmelerdeki artış, kalınlıklardaki artıştan kaynaklanan harman tuğla yapı malzemesinin ilave ağırlığından dolayı meydana gelmektedir. Şekil 10'de ise en büyük deformasyonlar en düşük kalınlık değerindeki (40cm duvar kalınlığı) duvarda görülmüştür. En küçük deformasyon değeri ise 80 cm kalınlığa sahip taşıyıcı duvarlarda ortaya çıkmıştır.

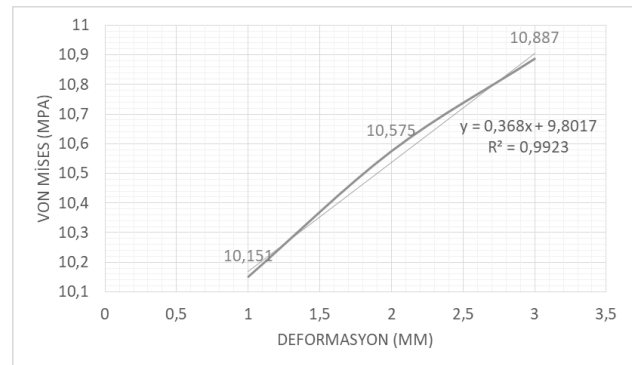


Şekil 9. Taşıyıcı harman tuğla duvardaki Von Mises gerilmeleri (40 cm, 60 cm, 80 cm)



Şekil 10. Taşıyıcı harman tuğla duvardaki deformasyon Gerilmeleri (40 cm, 60 cm, 80 cm)

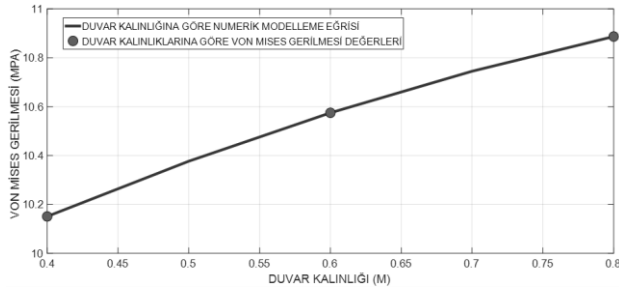
Şekil 11'de gerilme-deformasyon ilişkileri sunulmuş, analizin doğruluğu belirlemek için fonksiyon denkleme uygulanmış ve korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde; gerilme-deformasyon fonksiyon denklemine ait korelasyon katsayısı  $99,23 \times 10^{-2}$  olarak elde edilmiştir. Bu durumdan da anlaşılacağı üzere analizlerden gerilme-deformasyon ilişkileri arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Taşıyıcı yığma duvarda gerilme-deformasyon ilişkileri

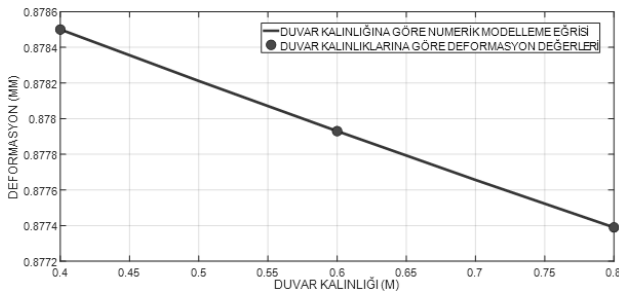
ANSYS 16.2 programında elde edilen Von Mises gerilmesi sonuçları değişen duvar kalınlıklarına göre MATLAB R2020b programına aktarılmıştır. Değişen

duvar kalınlıklarına göre Poly2 yöntemi ile eğri uyarlanma metodu kullanılarak numerik model eğrisi türetilmiştir. Değişen duvar kalınlığına göre değişen numerik model eğrisi Şekil 12’de sunulmuştur. Şekil 12’de verilen numerik model eğrisi grafiği ile 0,4 ile 0,8 metre kalınlık aralığındaki duvarların değişen ara kalınlık değerine göre gerilmeleri yaklaşık olarak tahmin edilecektir. Ayrıca değişik kalınlıktaki taşıyıcı duvarların Von Mises gerilmesi değerlerine ait numerik model eğrisinin denklemi Çizelge 1’de verilmiştir.



**Şekil 12.** Farklı duvar kalınlıklarındaki Von Mises gerilmesi eğri modeli

Von Mises gerilme analizinde yapılan benzer yöntem deformasyon analizi içinde yürütülmüştür. Değişen duvar kalınlıklarına göre sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen deformasyon parametreleri MATLAB programına aktararak matematiksel model geliştirilmiştir. Poly2 eğri uyarlama metodu seçilerek numerik eğri modellenmesi üretilmiştir. 0,4 metre ile 0,8 metre arasındaki duvar kalınlıklarının deformasyon değerleri Şekil 13’te sunulan numerik model eğrisi üzerinden yaklaşık olarak tahmin edilecektir. Eğri uyarlama yöntemiyle ara kalınlık değerlerinin deformasyon sonuçları Şekil 13’te verilen grafik yardımıyla ve Çizelge 1’de verilen denklem yardımıyla yaklaşık olarak belirlenecektir.



**Şekil 13.** Farklı duvar kalınlıklarındaki deformasyon eğri modeli

**Çizelge 1.** Farklı duvar kalınlıklarındaki Von Mises gerilmesi ve düşey deformasyon fonksiyon denklemleri

Gerilme ve deformasyon tipi	Fonksiyon denklemi
Von Mises gerilmesi (Mpa)	$P(x) = -1.4x^2 + 3.52x + 8.967$ (1)
Düşey Deformasyon (mm)	$P(x) = 0.000375x^2 - 0.003225x + 0.8797$ (2)

x: duvar kalınlığı (metre)

Farklı kalınlıktaki taşıyıcı harman tuğla duvarların Von Mises gerilmesi ve deformasyon numerik model eğrisinin güçlendirme projelerinin hazırlanması aşamasında uzman tasarımcılara kolaylık sağlayabileceği ve hızlı öngörü yapabilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Restorasyon projelerinde güncel deprem yönetmeliğinin gereklerinin göz önünde tutulması elzemdir. Ayrıca, tarihi binaların özgün yapısı ile uyumlu restorasyon projelerin hazırlanması amaçlanmaktadır. Güçlendirme çalışmaları kapsamında hazırlanan restorasyon projelerinin, tarihi yapıların özgün dönem tasarım kararlarına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, tarihi yapılardaki güçlendirme projeleri koruma kurulu görüşü ve pek çok uzman görüşü doğrultusunda hazırlanmaktadır. Restorasyon projeleri her binanın özgün yapısına ve özelliğine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Her binanın özgün yapısına uyumlu olarak güçlendirme çalışmalarının hazırlanması gerekliliği çok farklı detayda farklı projelerin üretilmesine sebep olmaktadır. Tarihi yapıların güçlendirilmesinde taşıyıcı duvarların yük taşıma kapasitesi önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır ve restorasyon çalışmalarında üretilen farklı detayların ve sistemlerin kullanılması gerekliliği statik durum analizlerini zorlaştırabilmektedir. Proje tasarım aşamasında hızlı karar verilebilmesi için ayrıca yük taşıma performansını yaklaşık olarak öngörebilmek için numerik model çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araştırmada değişen duvar katman kalınlığı özelinde araştırmalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Duvarlar değişik kalınlıklarda modellenmiş ve taşıyıcı duvarda kullanılan malzemenin özellikleri dikkate alınarak



yükler tanımlanmış ve 40cm, 60cm ve 80cm değerlerindeki değişen duvar kalınlıklarına göre analizler yapılmıştır. Taşıyıcı duvarların gerilme ve deformasyon özellikleri tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar programı ile yapılan analizlerden temin edilen parametreler sayısal hesaplama programına aktarılarak eğri uyarılama metoduyla numerik model eğrileri üretilmiştir. Numerik model eğrilerinin güçlendirme projesi hazırlanırken konusundaki uzman mühendislerle farklı kalınlıktaki duvarların yük altındaki davranışlarıyla ilgili fikir verebilecektir. Yığma yapılar depremlerin yol açtığı yatay kuvvet ve dolayısıyla yatay gerilmelerin etkisi dayanımı zorlamaktadır. Duvarlarda kullanılan harman tuğla tipi, bağlayıcı harç, derz kalınlıkları, duvar boyutları ve işçilik basınç dayanımını etkileyen parametrelerdir. Uygulama hatası, işçiliğin yetersiz olması, malzeme kalitesindeki zayıflık ve proje hataları duvar mukavemetine olumsuz yönde katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında sadece değişen yığma duvar kalınlıklarına göre analizler gerçekleştirilmiştir. Duvar kalınlığının arttırılmasının basınç gerilmesi dayanımında artış ve deformasyonlarda azalmalara neden olduğu dolayısıyla duvarın mukavemetine olumlu bir katkı sunduğu görülmüştür. Basınç dayanımı ile birlikte çekme dayanımının da ihmal edilmemesi gerekmektedir. Yığma duvar güçlendirme uygulamalarının projelendirme safhasında amacına uygun, tasarımından uygulanmasına kadar dayanımını etkileyecek parametrelere dikkat edilmelidir. Ancak tarihi yapılarda kullanılan güçlendirme analizleri çok geniş bir araştırma alanı içermektedir. Yığma duvar kalınlığının arttırılması haricinde karbon fiber, cam elyaf güçlendirme uygulamalarının, paslanmaz çelik gergi uygulamalarının, ahşap döşeme uygulamalarının veya buna benzer başka uygulamaların nümerik olarak modellenmesi ve literatüre kazandırılması faydalı olabilecektir. Mimari tasarım açısından duvar kesitlerini büyütmeden, kalın sıva uygulaması yapılmadan cam elyaf, karbon elyaf ve buna benzer uygulamalarla ince sıva kalınlıklarında daha düşük kesitli duvar imalatları ile dayanım artırılabilir.

## 5. Kaynaklar

Akçay, C., Bozkurt, T. S., Sayın, B., Yıldızlar B., 2016. Seismic retrofitting of the historical masonry, structures using numerical approach. *Construction and Building Materials*, **113**, 752-763. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.121>

Alecci. V., Fagone M., Rotunno T., Stefano, M. D., 2013. Shear strength of brick masonry alls assembled ith different types of mortar. *Construction and Building Materials*, **40**, 1038-1045.

Bozkurt T. S., Sayın B., Karakas A. S., Akçay C., 2019. Retrofitting of modern heritage masonry infilled RC buildings. *5th International Conference on Engineering and Natural Sciences, ICENS, Prag, Çek Cumhuriyeti*, **12**, 645-653.

Bozkurt, T.S., Demirkale, S.Y., 2019. Laboratory analyses and numerical simulation for sound absorption of plasters in historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, **36**, 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.09.012>

Bozkurt, T.S., Demirkale, S.Y., 2018. The laboratory analyses for the plasters prepared with river sand, aggregate and hydraulic lime binder. *Construction and Building Materials*, **190**, 691-709. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.073>

Bozkurt, T.S., Demirkale S.Y., 2020. Investigation and development of sound absorption of plasters prepared with pumice aggregate and natural hydraulic lime binder. *Applied Acoustics*, **170**, 107521. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107521>

Bozkurt, T.S., Demirkale, S.Y., 2020. The experimental research of sound absorption in plasters produced with perlite aggregate and natural hydraulic lime binder. *Acoustics Australia*, **48**, 3, 375-393. <https://doi.org/10.1007/s40857-020-00203-4>

Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayıncılık, 35-33.

Capozucca, R., 2011. Shear behaviour of historic masonry made of clay bricks. *The Open Construction and Building Technology Journal*, **5**, 89-96.

Çırak, İ.F., 2011. Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler. *Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi*, **3**, 2, 55-60.

Dündar, 2013, Farklı duvar ve harç malzemeleri ile üretilen duvarların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 86.

ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), 1964. International Charter for The Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964), *IInd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments*, Venice, 31-1.



Karakaş A. S., Bozkurt T. S., Sayın B., Akçay C., Yıldızlar B., 2015. Tarihi yapılarda restorasyon uygulamaları: Bir durum çalışması, *ISITES, 3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Valencia, Spain, 1042-1051.

Karakaş, A.S., Öртеş, F., 2017. Comparative assessment of the mechanical properties of asphalt layers under the traffic and environmental conditions. *Construction and Building Materials*, **131**, 278-290. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.049>

Karakaş, A.S., Öртеş, F., 2021. Prediction SBS mechanical alterations in multi-layer sbs-modified hot mix asphalt and soil-foundation structure. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, **16**, 3, 159-194. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2021-16.536>.

Sayın, B., Yıldızlar, B., Akçay, C., Bozkurt, T. S., 2017. General perspectives on seismic retrofitting of historical masonry structures, *Failure Analysis and Prevention*, Intech, 133. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69439>

Sayın, B., Yıldızlar, B., Akçay, C., Güneş, B., 2019. The retrofitting of historical masonry buildings with insufficient seismic resistance using conventional and non-conventional techniques. *Engineering Failure Analysis*, **97**, 454-463. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.01.031>

Sevil, T., Baran, M. ve Canbay, E., 2010. Tuğla dolgu duvarların B/A çerçevesel yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar. *International Journal of Engineering Research and Development*, **2**, 2, 7.

Yıldızlar, B., 2021. Seismic performance analysis and rehabilitation applications for a historical masonry building through field works and experimental investigations. *Structures*, **34**, 1811-1833. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.096>