



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YIĞMA YAPILARIN DUVARLARININ KESME GERİLME DAYANIMININ**  
**DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Ahmet ERÇOLAK**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz-2021**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YIĞMA YAPILARIN DUVARLARININ KESME GERİLME DAYANIMININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ahmet ERÇOLAK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

2021, 84 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN  
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ  
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Yığma yapılar Türkiye'nin mevcut konut stoğu içinde önemli yer tutmaktadır. Özellikle kırsal kesimde yığma yapı oranı çok yüksektir. Kırsal kesimdeki yığma yapılar mühendislik hizmeti görmeden yapılırken şehirlerde mühendislik tasarımı sonucu yapılmaktadır. Yığma yapıların sünek olmayan ve düşük basınç dayanımının yanında çekme dayanımının çok düşük olması nedeniyle deprem dayanımı sorunludur. Yapı duvarları deprem yükleri altında kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Yapının deprem sırasında yıkılmadan bütün halinde depremi atlatabilmesi için duvarların kesme dayanımının yeterli olması gereklidir. Bu çalışmada yığma duvarların kesme dayanımının artırılmasına yönelik uygulanan bir metodun deneysel ve analitik olarak incelenmesi yapılmıştır. Deneysel çalışma olarak 1/3 ölçekli, 150x130 cm ölçülerinde iki yüzeyi sıvanmış kuzu tuğlasından yapılan duvar numuneleri, deprem davranışını sembolize etmek için düşey ve yatay yüklemeye maruz bırakılmış ve yük etkisinde oluşan çatlaklar gözlemlenmiştir. Numunenin kırılma anındaki yük değeri ve yatay deplasman değerleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca aynı duvar ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenip aynı işlemler bilgisayar ortamında oluşturulmaya çalışılmıştır. Güçlendirilmemiş duvar numunelerinin yanı sıra güçlendirilmiş duvarlar da analiz edilmiştir. Duvar üstünde düşey olarak etkiyen gerilmenin etkisi de incelenmiştir. Yığma yapıların doğrusal olmayan analizi için farklı bir yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır. Deneysel sonuçları 3 boyutlu bina modellerinin güçlendirmesinde yarar sağlayacağı umulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Deprem etkisi, Sonlu Eleman Analizi, Yığma Yapı

## **ABSTRACT**

### **GRADUATE THESIS**

#### **SHEAR STRENGTH OF THE WALLS OF MASONRY STRUCTURES EXPERIMENTAL INVESTIGATION**

**Ahmet ERÇOLAK**

**The Graduate School of Natural and Applied Science  
of Necmettin Erbakan University  
Department of Civil Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ**

**2021, 84 Pages**

#### **Jury**

**Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN  
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ  
Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER**

Masonry structures have an important place in Turkey's current housing stock. Especially in rural areas, the rate of masonry construction is very high. While masonry structures in rural areas are built without engineering service, they are made as a result of engineering design in cities. Earthquake resistance is problematic because masonry structures are not ductile and have low compressive strength as well as very low tensile strength. Building walls are exposed to shear forces under earthquake loads. In order for the building to survive the earthquake as a whole without collapsing during the earthquake, the shear strength of the walls must be sufficient. In this study, a method applied to increase the shear strength of masonry walls was investigated experimentally and analytically. As an experimental study, wall samples of 1/3 scale, 150x130 cm dimensions, made of lamb bricks with both surfaces plastered, were subjected to vertical and horizontal loading to symbolize the earthquake behavior and cracks formed under the load were observed. The load value and horizontal displacement values of the specimen at the time of fracture were recorded. In addition, the same wall was modeled in the ABAQUS finite element program and the same processes were tried to be created in the computer environment. Reinforced walls as well as unreinforced wall samples were analyzed. The effect of vertical stress acting on the wall is also investigated. A different approach has been tried to be developed for the nonlinear analysis of masonry structures. It is hoped that the results of the experiment will be useful in the strengthening of 3D building models.

**Keywords:** Seismic Effects, Finite Element Analysis, Masonry Structures

## ÖNSÖZ

Çalışmama verdiği destek ve gösterdiği anlayıştan dolayı değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ 'a, deneylerde laboratuvarlarını bizim kullanımımıza açan, deneylerin yapılmasını sağlayan ve çalışmalarda bize özveriyle katılan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAHADIR'a , analitik çalışmada yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Yunus DERE'ye ve İnş. Yük Müh. Kısmet Merve ŞERBETÇİGİL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ahmet ERÇOLAK

KONYA-2021

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
1.GİRİŞ .....	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ .....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	14
3.1Yığma Yapılar .....	14
3.1.1. Tuğla Yığma Yapılar .....	15
3.1.2. Taş Yığma Yapılar .....	17
3.1.3. Kerpiç Yığma Yapılar .....	18
3.1.4. Briket Yığma Yapılar .....	19
3.1.5. Harç .....	20
3.2.Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Hasar Türleri .....	21
3.2.1. Deprem Davranışı .....	21
3.2.2. Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar .....	25
3.2.3. Yığma Deprem Hasar Düzeyleri .....	35
3.3. Yığma Yapıların Deprem Güçlendirmesi .....	36
3.3.1. Çimento ve Epoksi Reçine Enjeksiyonu ile Güçlendirme .....	36
3.3.2. Shot-Grid Yöntemi ile Güçlendirme .....	37
3.3.3. Çelik Elemanlar Kullanarak Güçlendirme .....	39
3.3.4. FRP ile Güçlendirme .....	39
4. ANALİZ ÇALIŞMASI .....	41
4.1. Deneysel Çalışma .....	41
4.2. Analitik Çalışma .....	51
4.2.1. ABAQUS Sonlu Elemanlar Programı .....	51
5. SONUÇLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ .....	75
KAYNAKLAR .....	76

## 1. GİRİŞ

Deprem genel olarak yer kabuğunun hareketi sonucu oluşan titreşim veya sarsıntılar olarak tanımlanabilir. Yer yüzeyindeki tektonik levhalar sabit kalmadığı, devamlı olarak çok küçük yer değiştirmeler yapmasından dolayı yer altındaki sert tabakaların sıkışabilmesiyle birlikte büyük gerilimler oluşur. Uzun zaman aralıklarına yayılan bu süreçte, bir noktada ve bir zamanda biriken enerjinin boşalarak yerin içinde dalgalar halinde yayılmasıyla sarsıntılar meydana gelmektedir.

Türkiye, yüzölçümünün %95'i aktif ve farklı deprem kuşakları üzerinde yer almaktadır. Türkiye nüfusunun %98'i ise bu deprem kuşakları üzerinde yerleşmiş bulunmaktadır. Son 100 yıla bakıldığında Türkiye'de can ve mal kaybına neden olan birden çok yıkıcı deprem meydana geldiği görülmektedir. Ülkemizde deprem gibi doğal afetler nedeniyle meydana gelen zararlar sonrası hazırlıklar yapılmaya çalışılmıştır. Bugüne kadar 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998, 2007, 2018 yıllarında deprem yönetmelikleri hazırlanmış ve son yıllarda deprem davranışı üzerine sayıları artarak devam eden bilimsel çalışmalar yapılmış ve depremle ilgili konferanslar, sempozyumlar vb. düzenlenmiştir.

1999 yılında 17 Ağustos Marmara ve 12 Kasım Düzce depremleri meydana gelmiş, bu doğal afeti yaşayan ve gören kişilerin zihinlerinde acı bir gerçek olarak yer edinmiştir. Bu yaşanmış olaylardan sonra bina yapım kuralları gözden geçirilerek "Depreme Dayanıklı Tasarım" kavramı üzerine yoğunlaşmıştır. Yeni inşa edilen yapılar özellikle betonarme ve çelik yapılar depreme dayanıklı olarak inşa edilebiliyor iken yeni yapılan yığma binalar ve mevcut durumdaki yığma binalar için bunu söylemek biraz daha zordur.

Yığma yapılar şimdiye kadar yapılmış binalar içerisinde büyük bir pay sahibidir. Türkiye'de fay hatlarının yoğun olduğu Doğu Anadolu bölgesinde ve diğer bölgelerde çoğunlukla ekonomik sebeplerden ötürü sıklıkla tercih edilmiş yığma binaların risk altında olduğu söylenebilir. Çünkü yapılan araştırmalarca, bu yığma binaların, kullanılan malzemeler bakımından, yapım teknikleri açısından ve yapan ustalar tarafından çoğunlukla depreme dayanıklı yapılamadığı bilinmektedir.

Yığma yapılar genellikle mühendislik hesaplamaları, yapı bilgi ve tecrübesine sahip olmayan, teknik ve teknolojik imkanlardan yoksun, babadan oğula veya ustadan

çırağa aktarılan geleneksel yöntemlerle ve basit malzemelerle inşa edilmişlerdir. Ayrıca inşa edilen yapılar taşıyıcı sistemi yalnız yığma duvarlardan oluşturulur ve bu duvarı oluşturan taş, tuğla, briket, harç, kerpiç vb. malzemeler, sünekliği neredeyse sıfır olan malzemelerdir. Buna bağlı olarak deformasyon kabiliyetinin sıfıra yakın olması, dolayısıyla enerji sönümleme kabiliyetinin çok düşük olması, deprem esnasında ani gevrek kırılmalara müsait olmasının yanında üstelik inşası sırasında yapılabilecek büyük ihmal ve hatalara elverişli olması zararlara davetiye çıkarmaktadır. Olası bir yıkıcı depremde oluşacak can ve mal kaybının boyutu hesap edilemeyecek kadar büyük olabilecek ve bir facia durumu ortaya çıkabilecektir. Bu nedenle yığma binaların güçlendirilmesi oldukça kayda değer bir konudur.

Yığma binalar tasarlanırken sadece taşıyıcı duvarlara gelecek düşey yüke göre tasarlandıkları vakit deprem etkisinde yanal kuvvetlere ve temel oturma hareketlerine karşı koyamamakta ve hasarlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada yığma yapılar, yığma yapıların deprem davranışı ve deprem etkisinde kalacak yığma yapıların deprem güçlendirmesi üzerinde durulmuştur. Deneysel çalışma olarak 1/3 ölçekli, 150x130 cm ölçülerinde iki yüzeyi sıvanmış kuzu tuğlasından yapılan duvar numuneleri, deprem davranışını sembolize etmek için düşey ve yatay yüklemeye maruz bırakılmış ve yük etkisinde oluşan çatlaklar gözlemlenmiştir. Numunenin kırılma anındaki yük değeri ve yatay deplasman değerleri kayıt altına alınmıştır. Ayrıca aynı duvar ABAQUS sonlu elemanlar programında modellenip aynı işlemler bilgisayar ortamında oluşturulmaya çalışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

**Aköz (2008)**, tez çalışmasında, yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur. Tarihi yığma bir yapı örnek seçilip yapının 3D sonlu modeli hazırlanarak statik ve dinamik analizi yapılmıştır. Yapının deprem güvenlik seviyesi belirlenmiş ve güçlendirme ihtiyacı ve metodu hakkında öneriler verilmiştir.

**Aldemir (2010)**, bu tez çalışmasında, tuğla duvarlı yığma yapıların deprem performansının değerlendirilmesine imkân sunan yeni bir yöntem geliştirme üzerine çalışmıştır. ANSYS simülasyon programı ile sonlu eleman analizleri kullanarak yığma yapılardaki düşey nesnelere performans limitleri ve kapasite eğrilerini elde edilmiştir. Bu yöntemle yığma yapıdaki tüm elemanların etkileri toplanarak yapının bir performans değeri ve kapasite eğrisi oluşturulmuştur.

**Aldemir, Erberik, Sucuoğlu (2011)**, yığma yapılar için performansa dayalı bir sadeleştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak, yığma duvarının sonlu eleman analizi ile taşıma kapasitesi eğrisi elde edilmiş ve hesaplama yöntemini basitleştirmek için bu model kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Yukarıdaki basit hesaplama yönteminde, farklı geometrik ve malzeme özelliklerine sahip duvarların kuvvet-yer değiştirme eğrilerini oluşturmak için yalnızca birkaç formül kullanılabilir. Bu nedenle, karmaşık ve zaman alıcı analizler olmadan, performansa dayalı bir yöntemde kullanılabilecek bir kapasite eğrisi kolayca ve güvenilir bir şekilde elde edilebilir. Son olarak bu yöntemi örnek bir vaka çözümünde kullanarak sonlu eleman analizlerine yakın sonuçlar alındığı görülmüştür. Bu sadeleştirilmiş yöntem ile kısa zamanda sonuca ulaştığı gözlemlenmiştir.

**Arıcan (2010)**, bu çalışma kapsamında, yığma yapıların deprem etkisi altındaki performansının belirlenmesi amacıyla, zaman tanım alanında dinamik bir analiz yöntemi uygulanmış ve bununla yapılan yedi yığma yapının katı modellerinde çok sayıda deprem kaydı kullanılmıştır. Bu yöntem ile yapılan analizde deplasman, temel kayma ve gerilme değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerlerin yığma yapıların tasarımında, yapımında, güçlendirme ve hasar tespitinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Yapıda en büyük yer değiştirmelerin olduğu bölgelerde en büyük gerilme değerleri, en büyük yer değiştirmelerin görüldüğü noktaların da genelde kapı,

pencere boşluklarının bulunduğu bölgeler, duvar kalınlıklarının az olduğu bölgeler ve uzun duvarlar olduğu tespit edilmiştir.

**Aşık (2018)**, tez çalışmasında, yığma yapılarda onarım ve güçlendirme teknikleri ile taşıyıcı sistemde oluşmuş hasarları giderebilme üzerinde durmuştur. Örnek çalışma olarak, Konya'daki Zenburi mescidini almıştır. SAP200 programıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, mescidin güncel durumu tespit edilmiş yapılan analiz sonucunda, gerekli olan uygun onarım ve güçlendirme önerisinde bulunulmuştur.

**Aşıkoğlu (2007)**, tez kapsamında, Kütahya ilinde bulunan tarihi Kurşunlu Camii'ni incelemiştir. Yapılan inceleme neticesinde söz konusu yapıda daha önceki depremlerden oluştuğu varsayılan kritik hasarlar gözlemlenmiştir. Bu hasarlar nedeniyle, deprem performansını artırmayı ve yapısal tümlüğü sağlamak için tarihi yığma yapıda uygulanabilecek güçlendirmeler çalışılmıştır. İki adet yapı örneği üzerinde güçlendirme yapılmış ve güçlendirme yapılmamış 3 boyutlu model oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasının gayesi, Kurşunlu Camiye yapılabilecek deprem güçlendirmesinin etkinliğini sonlu elemanlar yöntemiyle göstermektir. Caminin Çevresel Titreşim ölçümleri alınarak karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreleri belirlemek amacıyla Operasyonel Modal Analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu sayede, oluşturulan model kalibre edilmiştir. Sonuç olarak her iki model deprem tepkileri, mutlak ivmeleri, ötelenme miktarları ve hasar dağılımına bağlı olarak incelenmiştir. Güçlendirmenin deprem performansına etkisi pozitif yönde olduğu gözlemlenmiştir.

**Atashafrazeh, Bingöl ve Caf (2015)**, "Tarihi Eserlerde Yığma Duvarların Geometrik Etkisine Göre Taşıma Kapasitesinin Araştırılması ve Düşey Donatılar Kullanılarak Güçlendirilmesi" adlı bu çalışmada, uzunlukları ve yükseklikleri farklı 4 adet yığma duvarı ABAQUS sonlu elemanlar programıyla modellenmiştir. Ayrıca düşey çelik donatılarla güçlendirilen modellerde çatlak gözlemi, kopma kuvvetleri ve göçme durumu incelenmiştir. İnceleme sonucunda çeşitli hasarlar gözlemlenmiş ve bu hasarların duvar boy/yükseklik oranı 1'den küçük, büyük veya eşit olduğu durumlarda olduğu gözlemlenmiştir. Düşey çelik donatı kullanımını ile güçlendirmenin yanal yüklere karşı olumlu sonuçları görülmektedir.

**Bayraktar, Türker, Altunışık (2007)**, Bu çalışmada, analitik model iyileştirmenin yığma binaların deprem davranışları üzerine etkisi belirlenmiştir. Yarım bodrum, zemin kat ve çatı katından oluşan yığma bir bina uygulama amacıyla seçilmiştir. Gerçekleştirilen teorik ve deneysel modal analizlerin sonuçlarına göre yığma binanın analitik modeli iyileştirilmiştir. Ayrıca seçilen ivme kaydı için iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş modellerin deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, analitik model iyileştirmenin yığma binanın deprem davranışı üzerine etkisi ortaya konulmuştur.

**Bayülke (2011)**, “Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği” adlı bu çalışmada, yığma yapıların depremde belirleyici rol oynayan duvar malzemeleri, duvar dayanımı, deprem davranışı ve depreme dayanıklı tasarım ile ilgili bilgiler vermiştir. Yakın geçmiş yıllarda Türkiye şartlarında yapılmış binalarda kullanılan malzemeler, sistemler ve yapı bilgileri, yönetmelikler ve o tarihlerde meydana gelen depremlerin binalar üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur.

Sonuçta tarihi değeri olmayan kamu veya özel yapıların güçlendirmeden ziyade yıkılıp yerine, güncel teknik ve yönetmeliklere uygun, deprem kuvvetlerine daha dayanımlı betonarme yapılar yapılmasının kolay ve güvenli olduğu söylenmiştir. Fakat tarihi değeri olan yapıların korunması için alanında uzman bir inşaat mühendisinin bu işi yapması gerektiği ve buna benzer yapıları iyi bilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

**Chamaky (2014)**, bu tez çalışmasında, yığma yapıların deprem güçlendirmesi yapılırken dikkat edilmesi gerekli olan kurallardan bahsetmiş, farklı tip yığma yapıların kendisine özgün güçlendirme prensipleri üzerine çalışma yapılmıştır. Yığma yapıların deprem güçlendirilmesi için tasarım, analiz ve güçlendirme esasları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Güçlendirme ile ilgili bilgi verilip ve bazı teknikler değerlendirildikten sonra 3 tane örnek incelenmiştir. Son olarak bu örnekler üzerinden sonuçlar karşılaştırılmıştır.

**Çırak (2011)**, Bu çalışmada, yığma yapılarda oluşabilecek hasar şekilleri, geçmişte yapılan çalışmalar da irdelenerek ortaya konulmuş ve bu hususta bazı öneriler getirilmiştir.

**Dabanlı (2008)**, bu çalışmada, tarihi eserlerin güvenlik seviyeleri ve bu yapıların olası bir depremde yapı olarak değerlendirme sürecinde izlenecek yöntem ve yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Örnek çalışması olarak, İstanbul ilinde bulunan Hırka-i Şerif Camii'ni incelenmiştir. Bu yapının modelini sonlu elemanlar metoduyla oluşturarak statik ve dinamik analizlerini yapılmıştır. Analizler sonucu, söz konusu caminin yapı olarak güvenliğini ve deprem performans değerlemesi yapılmıştır. Ayrıca binanın güçlendirilmesi için bazı önerilerde bulunmuştur.

**Er Akan (2010)**, bu çalışmada, yığma yapıların yapısal davranışını ve depreme karşı dayanımını belirleyebilmek için, Anadolu'daki tarihi ahşap sütunlu camilerden biri olan Ankara Ahi Elvan Camisi'nin yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan sonlu elemanlar analiziyle caminin yapısal performansı hakkında genel bir fikir sahibi olunmuştur. Tarihi binaları analiz etmede sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar analizinde yapının gerçek davranışını ortaya çıkarabilmek için analitik modelleme kurallarına ve yöntemlerine uygun bir model hazırlanması çok önemlidir. Bu nedenle, doğru bir model oluşturabilmek için detaylı bir malzeme ve yöntem araştırması yapılmalıdır. Ahi Elvan Cami'sinin yapısal analizi, özellikle rijit taş duvarlar ile ahşap çerçeve strüktürü arasındaki yapısal etkileşimi açıklayan ilginç sonuçların bulunmasını sağlamıştır.

**Ersubaşı (2008)**, bu tez kapsamında yığma binalarda, sismik etki etkisiyle oluşmuş farklı yapı hasarları hakkında bilgiler vermiştir. Bu yapı hasarlarına karşı önlem alma maksadıyla farklı yapılara uygulanabilecek muhtelif güçlendirme yöntemlerini birbirleriyle kıyas ederek vermiştir. Bunun için 1/10 ölçekli tek katlı 4 duvardan oluşan basit bir yığma yapı odası modeli oluşturarak numuneler üretilmiştir. Bu numunelere dinamik yatay yük verebilmek için tek doğrultuda hareket edebilen basit bir platform imal edilmiştir. Elde edilen numunelere; herhangi bir güçlendirme yapılmayan (referans numune), numune üzerinde farklı miktarlarda ve farklı yerlerde CFRP güçlendirmesi uygulanarak, hasır çelik uygulaması yaparak, tel ile ard germe yaparak, numune köşelerine payanda yerleştirerek ve numuneye düşey donatılar yerleştirmek suretiyle farklı işlemler uygulanmıştır. Bu farklı özellikteki numuneler imal edilen sarsma masasında deneyleri yapılmış ve göçmeden önce maruz kaldığı en yüksek yatay ivme değerleri karşılaştırılmıştır.

**Ertekin (2020)**, bu tez çalışmasında yığma yapıların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla nümerik analiz metodu kullanılarak mevcut yedi katlı yığma bir bina MidasGen ve ProCINEM yazılımlar ile analizi yapılmıştır. Analiz sonucu olarak bahsi geçen binanın performans sınıfının göçme durumunda olduğu, düşey ve yatay yüklere karşı yeterli dayanım gösteremediği gözlemlenmiştir. Buna karşın yapı TBDY2018 e uygun bir biçimde harç enjeksiyonu, donatılı püskürtme beton ve çelik çerçeve ekleme gibi güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilmeye çalışılmıştır.

**Gedik (2008)**, bu tez çalışmasında tarihi Mehmet Ağa Camii, yığma yapıların malzeme özellikleri, elemanları, yığma yapılarda oluşan hasarlar ve bu hasarların onarım ve güçlendirilmesi hakkında özet bilgi verilerek incelenmiştir. Saha çalışmaları yapılarak yapıdaki mevcut hasarlar belirlenmiştir. Yapının modeli hazırlanarak ve yapıya gelen yükler ve 50 yılda aşılma olasılıkları %2 ve %10 olan iki farklı deprem yüklemesi ile analiz edilmiştir. Yapıda yükler altında oluşan çekme gerilmesi bölgeleri araştırılmıştır. Yapı kullanım ömrü boyunca muhtemel oluşabilecek hasarların önlenmesi için bazı onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

**Güneş (2020)**, bu tez çalışmasında deneysel olarak tuğla duvarlara plastik kompozit donatı uygulayarak yığma binalara uygulanabilecek bir güçlendirme alternatif metodu getirmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ortamında 9 adet 80cm x 80cm ebatlarında tuğla duvar numuneleri örülmüş ve bu numunelerden birisi karşılaştırma yapabilmek için üzerinde herhangi bir uygulama yapılmayıp, diğerlerinin üzerinde plastik kompozit donatının farklı şekillerde uygulanması ile güçlendirme işlemi yapılarak bu 9 numune diyagonal yükleme deneyi ile kırılmıştır. Kırılma ve deplasman değerleri bulunan bu numunelerin grafikleri çıkarılarak, plastik kompozit donatının güçlendirmede makul sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Jaihoon (2019)**, tez kapsamında, Konya'daki Tarihi Sille Ak Camii'ni incelemiştir. Caminin mevcut durumu, meydana gelen hasarlar tespit edilerek TBDY 2018'e göre SAP2000 programı vasıtasıyla statik analizi çıkarılmıştır. Analiz sonucuna göre bina duvarlarının basınç ve kayma gerilmelerine karşı dayanımı yeterlidir. Fakat kapı,

pencere gibi boşluk kenarlarında gerilme yığılmalarının olduğu ve bu bölgelerde basınç ve kayma gerilmelerine karşı dayanımında sıkıntılar görülmüştür.

**Kayırğa (2017)**, bu tez çalışmasında yığma yapıların deprem davranışının bilinebilmesi için deneysel ve analitik çalışmalar yürütmüştür.

Deneysel çalışmalar malzeme özellikleri ve yapı davranışları incelenmesi olarak iki aşamalıdır. Malzeme üzerine yapılan deneysel çalışmalarda yığma duvarı oluşturan harç, blok ve duvar parçası üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapı davranışı incelemeleri üzerine 3m x 3m x 3m ebatlarında 1/1 ölçekli, tek katlı, değişik boşlukları olan, 3 adet model oluşturulmuştur. Bu modeller tersinir yatay yüke maruz bırakılmış, deneyin her aşamasında yük ve deplasman değerleri kayıt altına alınmıştır.

Analitik çalışmalar da malzeme özellikleri ve yapı davranışları incelenmesi olarak iki aşamalıdır. Malzeme üzerine yapılan deneysel çalışmalarda yığma duvarı oluşturan harç, blok ve duvar parçası üzerinde deneyler yapılmıştır. Yapı davranışı incelemeleri, üç farklı yığma yapı planı üzerinde SAP2000 ve ANSYS gibi sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapabilen programlarla çalışılmıştır. Analiz çalışmalarında makro modelleme tekniği kullanılmıştır.

Sonuç olarak, deneylerde yapıların en fazla yükün %77'sine kadar lineer davrandığı, en fazla yükün %88 oranında hasarların başladığı ve yapının lineer davranıştan uzaklaştığı, en fazla yük sonrası oluşan çatlaklarla göçme öncesi konuma ulaşmıştır. Elde edilen veriler ışığında yığma yapıların deprem davranışı değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

**Kıpçak (2018)**, bu tez çalışmasında son yıllarda meydana gelen depremler sonrasında yığma yapılar hakkında yazılan deprem raporları ve makalelerde taşıyıcı yığma duvarların düzlem dışı deplasmanlar yaparak toptan göçmeye sebep olduğundan bahsetmektedir. Düzlem dışı hareketi anlamak ve bu istenmeyen duruma karşı duvarda güçlendirme çalışmaları yapmak için harman tuğlalarından örülmüş 7 adet farklı tipteki modeller üzerinden deneyler yapılmıştır. Oluşturulan bu modeller U ve L şeklinde yapılmış olup, standart tuğla duvar deneylerinden farklı olarak tuğlalar arasında harç kullanılmadan sadece şaşırtmalı olarak duvar örgüsü ile örülmüştür. Kapı ve pencere boşlukları da olan bu modellerde eğilme masası yardımı ile kapı ve pencere boşluklarının düzlem dışı göçmede ne gibi etkileri olduğu açıklanmıştır.

**Koç (2016)**, bu çalışmada yığma yapılarda depremler sonrası oluşmuş hasar şekilleri, geçmişte yapılan çalışmalar da incelenerek ortaya konulmaya, yığma yapı davranışının özellikle deprem yükleri altında irdelenmesine ve bu hususta bazı öneriler getirilmeye çalışılmıştır. Literatürde dağınık olarak bulunan önerilerin çoğu birleştirilerek, genelde yığma ve özelde kırsal yapı yapımında dikkat edilmesi gereken kuralların formüle edilmesi amaçlanmış, depremler sonrası hasarların ağırlıklı olarak, bu kurallardan hangisinin ihlalden dolayı oluştuğu gösterilmeye çalışılmıştır. Türkiye’de gerçekleşmiş 9 depremin yığma ve kırsal yapılar üzerindeki etkileri incelenerek aşağıda sıralanan ve literatürde yer yer bulunan, yığma yapı yapımında dikkate alınması gereken kurallar bir arada çıkarılmış ve makale metninde bu kuralların eksikliği sonucu oluşan hasarlar derlenerek fiziksel yorumları yapılmaya çalışılmıştır.

**Korkmaz (2007)**, bu tez çalışmasında Türkiye’de özellikle kırsal bölgelerde sık bulunan kırsal konutların yatay deprem yükleri etkisinde dayanımı yetersiz olduğu üzerinde durularak, bu kırsal konutların güçlendirilmesinde kullanımı kolay ve maliyeti düşük bir teknik olduğu düşünülen atık oto lastik şeritlerle ard-germe güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmaları yapabilmek için sarsma masası imal edilerek, tek odalı, 1/10 ölçekli model yapılar, traverten taşlardan üretilen tuğlalar ve killi topraktan üretilen harçla oluşturulmuştur. Oluşturulan binalar gerçeği yansıtmaması açısından çatı oluşturmak maksadıyla ahşap kirişlerin üzerine dam sazları döşenerek üstüne toprak konulmuştur. Modellerin hepsi kapı ve pencere boşlukları bırakılarak imal edilmiş ve sarsma masasında sarsılmıştır.

Referans numunesi olarak tutulan güçlendirilmemiş numunede oluşan çatlakların tamamının boşluk köşelerinden uzandığı görülmüştür. Devamında sarsma masası ivmesinin arttırılmasıyla duvar elemanları arasındaki bağlantıların gittikçe yitilmesi ve göçme durumunun gerçekleştiği belirtilmektedir. Çözüm olarak elastik malzeme ile yatay yönde, dikey yönde ve hem yatay hem dikey yönde sarılmış deney numunelerinin dayanımında artış olduğu ve daha uzun bir sürede çatlakların oluştuğu belirtilmiştir. Deprem davranış bakımından deneyler üzerindeki yük ve ötelenme değerleri ölçülmeyip sadece sarsma masasında göçme durumunda kaydedilen ivmeler referans alınmıştır.

**Kömürcü, Gedikli, (2017)**, bu çalışmada yığma duvar tasarımında kullanılan mikro ve makro modeller arasındaki farklılıklar ve benzerlikler sonlu eleman yöntemiyle çalışan ANSYS yazılımı kullanılarak ve yığma kayma duvarları analiz edilerek araştırılmıştır. Bu amaçla boşluksuz ve donatısız bir yığma duvar modellenmiş ve bu duvarın düzlem içi davranışı araştırılmıştır. Sonuç olarak yığma duvarların modellenmesinde kullanılan mikro ve makro tekniklerin birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları vardır. Makro modellemenin modelleme aşamasında daha pratik olduğu fakat bu yöntem sonucunda yığma duvarda oluşan çatlaklar, mikro modellemedeki gibi tuğla ve harç arasında oluşan ayırık çatlak olarak gözlemlenemeyip, harç ve tuğla ayırt edilmeksizin oluşan sürekli çatlaklar olarak meydana gelir. Bu sebeple makro modelleme tekniğinin büyük ölçekli yapılar için tercih edilebilir olduğu mikro modelleme tekniğinin ise yığma yapılarıdaki yerel hasar oluşumlarının incelenmesinde daha uygun bir yöntem olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

**Küçükbaşak (2019)**, bu çalışmada Burdur ilinde Bucak ilçesinde üretilen farklı üç çeşit tuğla çeşidini üzerine deneysel ve analitik yönden incelemiştir. Yapılan deneylerle tuğlaların fiziksel (Birim Hacim Ağırlık, Özgül ağırlık) ve mekanik (basınç dayanımı) değerleri bulunmuştur. Kayma gerilmeleri modele göre hesaplanarak, Weka analizi yapılmıştır.

**Mohammadı (2019)**, bu tez kapsamında deprem bölgesinde yer alan 3 katlı bir yığma binanın modeli ETABS programı vasıtasıyla çıkarılarak deprem dayanımı üzerine çalışılmıştır. Modellenen binanın dış duvarları yığma, iç duvarları betonarme kolon ve kirişlere oturmaktadır ve yapıda bazı duvar süreksizlikleri de vardır.

Yapının mevcut halinin analitik olarak analizi yapılmış ve yapının kayma gerilmelerinin altında genel anlamda kritik durumda olduğu görülmüştür. Tercih edilen güçlendirme yöntemleri yine analitik olarak analiz edildiğinde statik değerlerin kabul edilebilir sınırlara düşürüldüğü görülmüştür.

**Orulkaya (2019)**, bu çalışmada 2 katlı yığma bir yapının 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre SAP2000 programı kullanılarak deprem kuvvetleri altındaki performansları belirlemeye çalışmıştır. Yapı mevcut hali ile deprem dayanımı yetersiz iken, püskürtme beton uygulaması uygulandıktan sonra yeterli güvenliğe ulaştığı görülmüştür.

**Öztaş (2009)**, bu tez kapsamında yığma binaların, yapıldıkları yapı malzemelerinden kaynaklanan sismik etki, zemin oturmaları ve yapı kullanım ömrü boyunca oluşan kusurlardan diğer betonarme ve çelik yapılara nazaran daha çok etkilendiğinden söz edilmiştir. Geleneksel olarak inşa edilen yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında mimari boşluklarda çekme gerilmelerinden kaynaklanan çatlaklar gözlemlenir. Bu çatlak derinliği ve boyutunun sınırlandırılması, can ve mal kaybına sebebiyet verici hasarların oluşmaması için ele alınan örnek bir bina bilgisayar ortamında statik analizi yapılmıştır. Analiz sonrasında ele alınan binaya betonarme duvarlar eklenip, yeni bir daha analiz yapılmıştır. Buna ek olarak aynı binada bu sefer betonarme duvarlar yerine yığma duvarın tüm yüzünü kaplayacak şekilde iki taraflı GFRP (Cam lifli polimerle güçlendirme) uygulaması yapılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonrasında mevcut binanın yatay ötelenme değeri her iki güçlendirme durumuna göre daha fazladır. Benzer şekilde GFRP ile betonarme duvarlı güçlendirme karşılaştırıldığında ise betonarme duvarlı güçlendirilmiş modelin %50 daha az ötelenmiş olduğu görülmüştür. Moment taşıma gücü olarak da betonarme duvarlı modellemenin daha üstün olduğu gözlemlenmiştir.

**Saberi (1998)**, yığma yapıların deprem esnasında gösterdiği davranışı yarı-statik deney yöntemiyle tespit etmeye çalışmıştır. Deneylerde yapının zayıf noktaları olarak kabul edilen kapı ve pencere boşluğunun bulunduğu duvarlar numune olarak kullanılmıştır. Deney sonuçları bu numunelere göre elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

**Turan (2020)**, tez kapsamında, yeni deprem yönetmeliğinin (TBDY (2018)), eski yönetmeliğe göre (*DBYBHY (2007)*) tasarım yaklaşımı, düşey deprem etkisi, yapıların lokasyonuna bağlı ivme katsayıları gibi konularda güncelleme getirdiğinden ve bu değişikliklerin yığma bina tasarımı üzerindeki etkisi üzerine çalışma yapmıştır. 2 katlı bir yığma yapı SAP2000 programında *DBYBHY (2007)* göre tasarlanmış ve sonra TBDY (2018) yönetmelik şartlarına göre analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda TBDY (2018)'e göre yapı elemanlarının çoğunda yeterli dayanım şartı sağlanamamıştır. Aynı yapı nonlinear analize tabi tutulduğunda TBDY (2018) ve FEMA356 için can güvenliği performans sınırı içerisinde kaldığı görülmüştür.

**Ural (2007)**, çalışmasında, yığma türü yapıların analizlerinde kullanılan Detaylı mikro modellemeler, Basitleştirilmiş mikro modellemeler ve Makro modellemeler hakkında açıklık getirmiştir. Bu çalışmada basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılarak, 4 adet yığma yapı modelinin LUSAS (2006) programı yardımıyla deprem performansları değerlendirilmiştir. Modeller üzerinde sırasıyla Lineer Statik, Modal ve Tepki Spektrumu analizleri yapılarak modeller arasında en uygun yığma model seçilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre düşey hatılların yığma yapıların deprem performanslarında önemli bir yere sahip olduğu, özellikle düşey hatılların yığma duvarların herhangi bir sebeple yanal ötelenmelerinde önemli miktarda azalmalara neden olmuştur.

**Uzdil (2020)**, bu tez çalışmasında yığma yapıların deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla nümerik analiz metodu kullanılarak mevcut Beyazıt semtinde konumlanan İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası Midas Gen ve Pro\_CINEM yazılımlar ile analizi yapılmıştır. Analiz sonucu olarak bahsi geçen binanın performans sınıfının göçme durumunda olduğu, düşey ve yatay yüklere karşı yeterli dayanım gösteremediği gözlemlenmiştir. Buna karşın yapı TBDY2018 e uygun bir biçimde harç enjeksiyonu, donatılı püskürtme beton ve çelik çerçeve ekleme gibi güçlendirme önerilerinde bulunmuştur.

**Uzun (2017)**, çalışmasında, çok katlı yığma bir yapının mevcut halinin ETABS programında modeli oluşturularak yapılan analizde yeterli deprem dayanımı gösterememesi sebebiyle model üzerinde binaya 4 köşesinde betonarme perde duvar eklenmesi suretiyle yapılan güçlendirmesini analitik olarak incelemiştir.

**Yalnız (2020)**, bu çalışma kapsamında, yığma yapılarda deprem etkisinde oluşan hasarların ve bu hasarların oluşma nedenlerinin tespit edilebilmesi için çalışmaya referans model oluşturacak basit bir yığma yapıyı ETABS programında modelleyerek, bu yöntemden elde edilen bilgiler ışığında Tarihi Konya Lisesi Binası üzerine çalışmıştır. Söz konusu okul binasında bilgisayar ortamında girilen düşey ve yatay deprem yüklerinden oluşan gerilmeler değerleri ile yönetmelik kıstaslarına bağlı kalarak alınan kesme ve basınç emniyet gerilme değerleri kıyas edilerek her bir duvar elemanı

için çalışılmıştır. Çalışma sonucunda beklenildiği gibi pencere çevresinde ve pencere aralarında kalan yığma duvarlar yanıl kuvvetlere karşı zayıf kalmaktadır.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yığma yapıların özelliklerinden, yığma yapıların deprem davranışı, yığma yapılarda gözlenen hasar tiplerinden ve deprem etkisinde kalacak yığma yapıların deprem güçlendirmesi üzerinde durulmuştur.

#### 3.1. Yığma Yapılar

Yığma yapı, tuğla, taş, kerpiç, briket gibi doğal veya suni yapı malzemelerinin üst üste konularak ve aralarına bağlayıcı özellikte harç konularak duvar örgüsü oluşturulan bir yapı çeşididir. Bu yapı çeşidinde düşey yükler (zati yük, çatı yükü, bir üst duvar ağırlığı vb.) duvarlar vasıtasıyla zemine aktarılarak bina taşınır. Ayrıca duvarlar bina içerisinde farklı doğrultularda ve mesafelere yerleştirildikleri için yapının iç hacimlerini oluşturur, bölmeleri birbirinden ayırır.



Şekil 3.1: Konya Aksinne Mahallesiinde Örnek Bir Yığma Yapı

Kırsal bölgelerde çoğunlukla tek katlı, şehir merkezlerinde daha ziyade çok katlı yığma binalar görülebilir. Çatı olarak; köy gibi yerleşim yerlerinde toprak dam, taşıyıcı ahşap makas üzerine kiremit, şehir merkezlerinde ise çoğunlukla plak olabilmektedir (Korkmaz, 2007).

Yığma yapılar;

-Yangına dayanıklılığı,

-Kolay üretilmesi,

-Ekonomik olması,

-Hızlı imal edilebilmesi,

-Isı ve ses yalıtım yüksek olması gibi üstünlükleri nedeniyle tercih edilme sebebidir.

Ancak yığma yapıların süneklik özelliklerinin iyi olmamasından dolayı çekme ve kayma gerilmeleri altında hasarlar oluşmakta ve yapının taşıyıcı sistemi yük taşıyamayacak durumda kalabilmektedir (Yalnız, 2020).

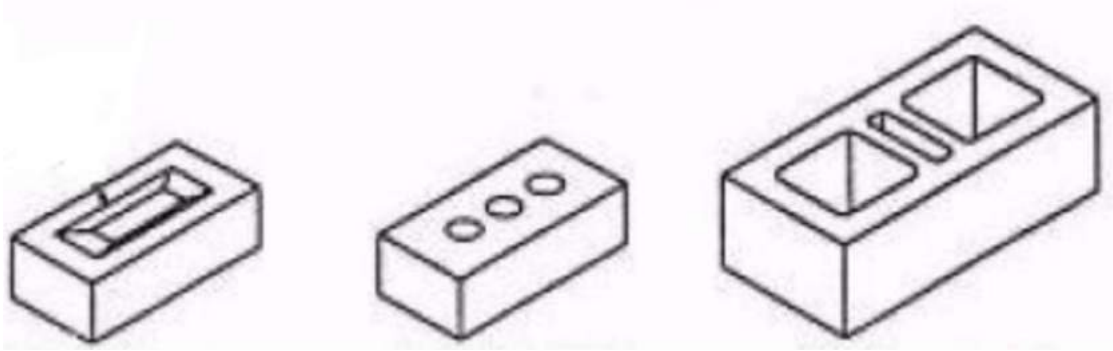
Yığma yapılar; tuğla yığma, taş yığma, briket yığma ve kerpiç yığma yapım sistemleri olarak dört grupta incelenmiştir.

### **3.1.1. Tuğla Yığma Yapılar**

Tuğla, ana malzemesi olan kil, kum, kül ve su ile birlikte yoğurularak çamur haline getirilip şekiller verilerek yüksek pişirme fırınlarında pişirilmesi sonucu oluşan doğal olmayan bir yapı malzemesidir. Tarihi bulgulara bakılacak olursa tuğlanın çok eski zamanlardan beri kullanıldığı görülür. Tuğlalar eski zamanlarda fırınlar yerine güneş altında bırakılarak pişirmeye çalışılıyordu. Pişirme sıcaklığın yanında, porozite, kurutma yöntemi ve kullanılan tuğla malzemeleri, tuğla dayanımında belirleyici faktörlerdendir (Gedik, 2008). Yığma yapı duvarlarında genellikle halk arasında ot tuğlası denilen (harman) tuğlası veya boşluklu yığma tuğlası kullanılır. Boşluklu tuğlalarda yükün düşey yönde taşınması istenildiğinde deliklerin düşey olması daha iyidir.



Şekil 3.2: Yığma Tuğla Duvarı (URL1)



Şekil 3.3: Tuğla Türleri. a) Dolu tuğla b) Delikli tuğla c) Boşluklu tuğla (Yalnız, 2020)

Tuğla çekme dayanımı düşük, basınç dayanımı yüksek bir yapı malzemesidir. Poisson oranı  $\mu = 0,15 - 0,2$  arasındadır. Tuğlanın mukavemet değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir (Gedik, 2008).

Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
5000-10000	2,7-5,0	10-30	10-20

Tablo 3.1. Tuğlaların Mukavemet Değerleri (Gedik, 2008)

Yığma duvar yapımında düşey ve yatay hatıllar kullanılmaktadır. Ahşap veya betonarme olarak yapılan hatıllar deprem dayanımına katkı sağlarlar. Yığma yapılarda kat döşemesi betonarme olduğu durumlarda hatıllar kirişler gibi döşeme betonu ile beraber dökülmektedir. Yatay hatıllar pencere ve kapı üstlerinde, düşey hatıllar duvar köşelerinde olabilir. Bu elemanlar duvarların depremde birbirinden kopmamasını sağlar (Korkmaz, 2007).

### 3.1.2. Taş Yığma Yapılar

Doğada çokça bulunan veya taş ocaklarından çıkarılan doğal taşlar, yer kabuğu altında bulunan magma tabakasının akıcılığını yitirerek zamanla katılaşması sonucu oluşur. Homojen bir yapıya sahip olan doğal taşlar çevre etkilerine karşı oldukça dayanıklı bir yapıya sahiptir (Chamaky, 2014).

Taşlar en eski duvar malzemelerindedir. Dayanıklılığının yüksek oluşu ve doğada kolayca bulunabildiğinden tarihi yapılarda sıkça kullanılmıştır. Fakat çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok düşüktür (Gedik, 2008).

Çekme gerilmelerine karşı dayanıksız olan taş duvarlarda sıcaklık değişiklikleri, donma ve çözülme etkilerin sonucunda çekme gerilmelerine bağlı taş yüzeyinde çatlaklar oluşabilir. (Dabanlı, 2008).

Türkiye’de çoğunlukla Doğu Anadolu bölgesinde rastlanılan bu yapılar, bölgesel doğal taşlardan faydalanılarak yapılır. Moloz taş veya taşların düzgün geometriye getirilmesiyle oluşturulan kesme taş sıklıkla kullanılan tiplerdir. Moloz taş duvarlar, ortada küçük taşların çamurla birleştirilerek her iki yanına büyük taşların örülmesi ile oluşan kalın duvarlardır. Taşların birbirine çok iyi bağlanmadığı bu duvarlarda dayanım düşük kalmaktadır (Korkmaz, 2007).



Şekil 3.4: Taş Duvarlı Yapı (Korkmaz, 2007)

Kesme taş duvarlar keski ve el aletleri ile şekillendirildikten sonra kullanılmaktadır. Düzgün kesilmiş iri taşlar duvarın dış yüzünü meydana getirmektedir. Bazen iç yüzünde ise daha ufak taşlar kullanılmaktadır. Çimento ya da kireç harcı bağlayıcı olarak kullanılır. Ahşap veya betonarme hatıl kullanılarak deprem dayanımı artırılabilir. Kesme taş duvarlar moloz duvarlara göre daha iyi yapısal dayanıma ve deprem davranışına sahiptir (Korkmaz, 2007).

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	15000-70000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç Taşı	18-65	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-45000

Tablo 3.2: Taşların Mukavemet Değerleri (Aşık, 2018)

### 3.1.3. Kerpiç Yığma Yapılar

Kerpiç, taş, tuğla ve briket elde etmenin güç olduğu, ekonomisi gelişmemiş, iklimin kurak geçtiği ve sel tehlikesi olmayan bölgelerde yapılan, maliyeti düşük, ısı yalıtımı yüksek bir yapı malzemesidir.

Kışın don etkisinden korunmak amacıyla alt duvarlar taş, üst duvarlar kerpiç olarak yapılan yığma bina örneklerine sıkça karşılaşılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Altı Taş Üstü Kerpiç Duvarlı Yığma Yapı (URL2)

Genellikle duvarı örecek kişi tarafından üretilen kerpiç bloklar, çamur ile birleştirilir (Şekil 3.6). Kerpiç malzemesinin karakteristik özellikleri, yük taşıma kapasiteleri, basınç ve çekme dayanımları düşük, rutubete karşı hassas olmasıdır. Duvarların dayanımı ahşap hatilla artırılabilir (Korkmaz, 2007).



Görünüş



Kerpiç duvar görünüşü

Şekil 3.6: Kerpiç Duvarlı Yığma Yapı (Korkmaz, 2007)

Kerpiç bilinen en eski tuğla türüdür. Toprak, saman, su ve gübrenin karıştırılarak harç edilmesiyle oluşturulur. İklim şartlarından kolay etkilendiği için kerpiç dış yüzeyine çamur katmanı yapılıdır (Jaihoon, 2019).

#### 3.1.4. Briket Yığma Yapılar

Briket, kum ve çimentonun birleştirilmesiyle elde edilmiş, boşluk oranı düşük, harç ya da bu harcı da içeren birtakım agregadan mamul düşük dayanımlı betonun kalıba dökülerek oluşturulan sıkıştırılmış bloklardır. Tuğladan farklı olarak üretim aşamasında fırınlanmaz. Boşluklu ve boşluksuz türleri bulunarak, boşluklu briketlerde kullanım amacına göre delikler sürekli ve süreksiz olarak çeşitlidir. Sadece yığma binalar değil, diğer binalarda, özellikle betonarme binaların dış cephe duvarlarında kullanılmaktadır. Çimento harcı kullanılarak örülen briket duvarlarda betonarme yatay ve düşey hatlı kullanılması duvar bütünlüğü açısından sağlıklı olmaktadır. Şekil 3.7 'de briket duvar örneği görülmektedir.



Şekil 3.7: Briket Duvarlı Yığma Yapı (Yalnız, 2020)

### 3.1.5. Harç

Harcın ortaya çıkmasında, topraktan yapılmış tuğla ve kerpiç malzemeler önemli rol oynamıştır. İkel zamanda insanoğlu harç olarak çamuru kullanmıştır. Romalılar zamanında çamurdan sonra kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları kum-kireç karışımına puzolan ya da pişmiş kil diye adlandırılan bir tür volkanik tüf eklenmesiyle bir bağlayıcı elde edilmiştir. Bu bağlayıcı su ile reaksiyonu sonucu sert bir yapı oluşturmakta ve mukavemet kazanmaktaydı. Horasan harcı olarak bilinen bağlayıcı madde Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde sıklıkla kullanılmıştır (Jaihoon, 2019).

Çimentonun bulunuşuna kadar yapılarda kireç kullanılmıştır. Kireç harçlarının hazırlanmasında kan, yumurta, peynir, gübre, arap zamkı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein gibi hızlandırıcı etkisi olan organik ve inorganik maddeler kirecin fiziksel özelliklerini iyileştirmek için harç içine ilave edilmiştir (Aşık, 2018).



Şekil 3.8: Duvar Harcı Örneği (URL3.)

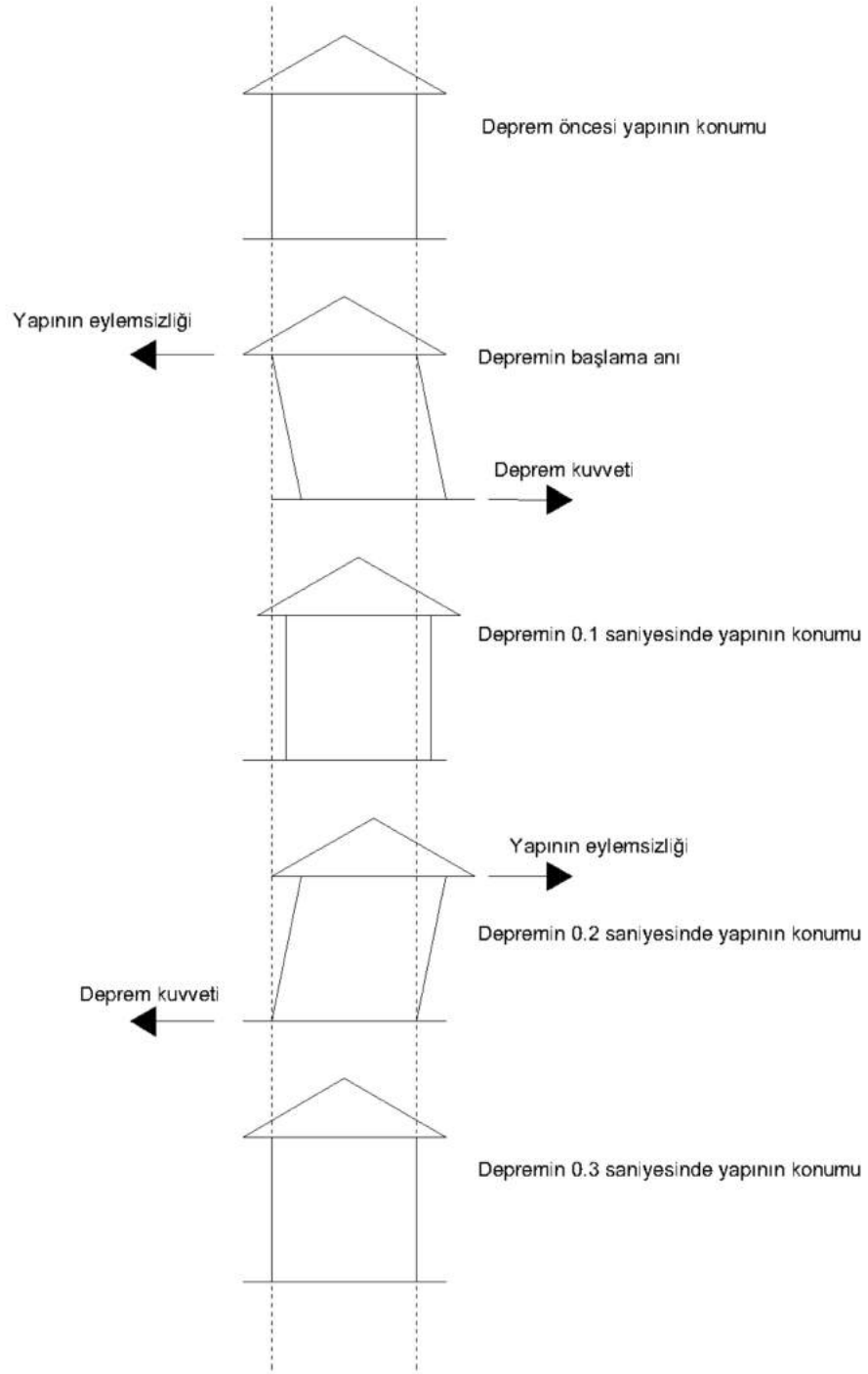
Duvar örgüsü oluşturmada kullanılan yapı bloklarını (taş, tuğla, briket, vb.) birbirine bağlamak amacıyla dolgu malzemesi, mineral esaslı bağlayıcı ve su karışımının hamur hale getirilmiş, katılaşabilen bir form almış haline harç denir. Çoğunlukla içinde bulunan bağlayıcının özelliğine göre sınıflandırılırlar. Harç ile yapı blokları birbirine bağlanıp bir bütünlük oluşturur. Bu sayede bir bütün halinde davranış gösteren yapı elemanlarına gelen yük kolaylıkla dağılmasına katkı sağlanır. Ayrıca, yapıyı dışarıda zorlu hava şartlarından korumaktadır.

Harcın yapı bloklarına göre dayanımı daha düşüktür. Kireç harcın basınç emniyet gerilmesi,  $\sigma = 0,2 - 0,6$  MPa iken horasan harcın basınç emniyet gerilmesi,  $\sigma = 1,5 \sim 3$  MPa seviyelerindedir (Dabanlı, 2008).

## 3.2. Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Hasar Türleri

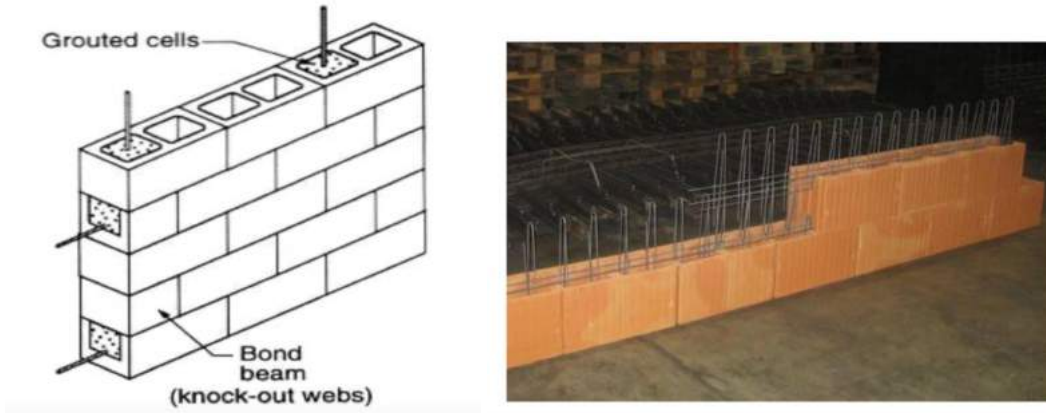
### 3.2.1. Deprem Davranışı

Yığma yapıya etkiyen yer hareketi sonucu yığma duvarlar eylemsizlik kanununa göre hareketin tersi yönünde oluşan bir iç kuvvete uğrarlar. Yapının eylemsizliğini korumak istemesi yönünde bu iç kuvvete karşı gelip hareket etmek istememesine atalet kuvveti denir. Şekil 3.9 'da bir yığma yapının deprem etkisi altında nasıl davranış gösterdiği kabaca gösterilmiştir (Yalnız, 2020).



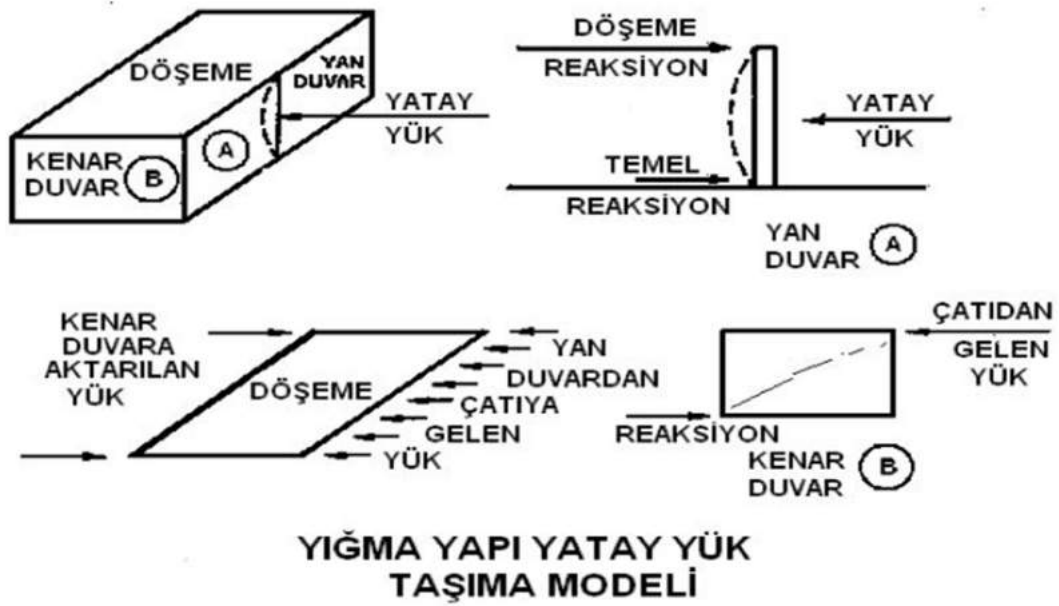
Şekil 3.9: Deprem etkisindeki yığma bina deprem davranışı (Yalnız, 2020)

Yığma yapılara gelen yatay ve düşey yükler düşey olarak inşa edilen yığma duvarlar tarafından karşılanır. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar, donatılı veya donatısız olarak üretilebilirler.



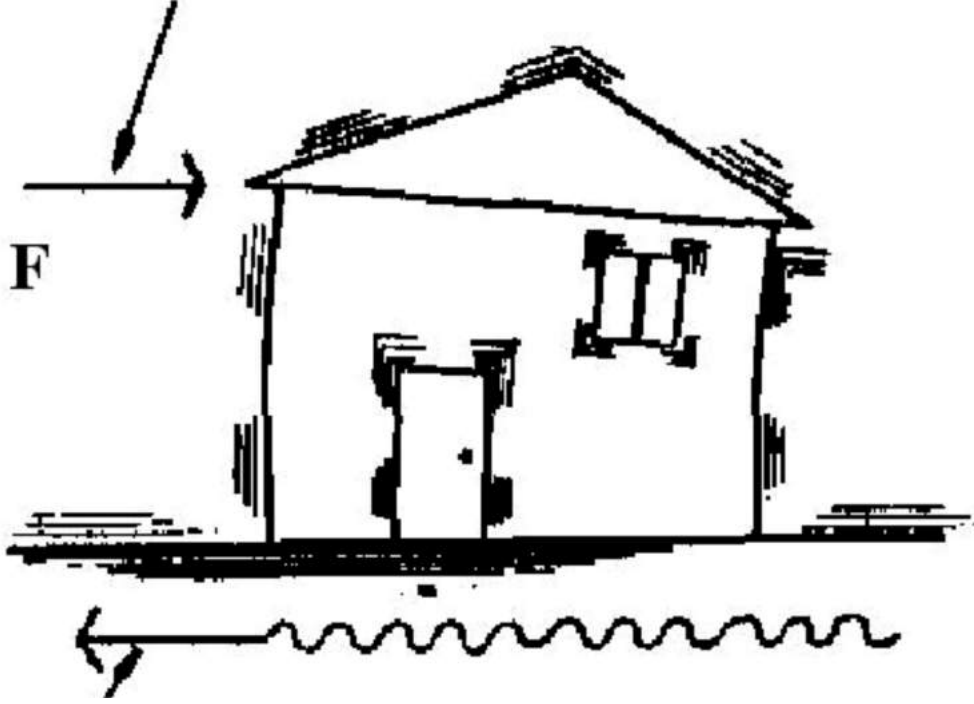
Şekil 3.10: Donatılı yığma duvar örnekleri (Uzdil, 2020)

Tuğla gibi yığma yapılarda kullanılan elemanlar gevrek malzemelerdir ve çekme gerilmelerine karşı dayanımları çok düşüktür. Yığma yapılarda düşey yüklerde taşıyıcılık yönünden herhangi bir problem oluşmayabilir. Fakat duvarda büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğu vakit, malzemenin bu karakteristik özelliği yapıda bazı kısıtlamalar getirir.



Şekil 3.11: Rijit kat döşemeli ya da çatılı yığma yapı yatay yük dağılım modeli (Bayülke, 2011)

Yatay deprem yükleri altında döşemeler rijit olarak çalışırsa, deprem kuvvetlerini yığma duvarlara aktarır. Döşeme rijit diyafram olarak çalışmıyorsa duvarlar bağımsız olarak hareket edebilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.12: Deprem etkisindeki yığma binada oluşan kuvvetler (Korkmaz, 2007)

Yığma yapılar doğal titreşim periyotları  $(0.05-0.07) \times \text{kat sayısını}$  gibi düşünülürse 4 Katlı bir tuğla yığma yapının periyodu 0.25 sn kadardır. Yığma yapılar çok rijit yapılar olup kritik sönüm oranı %1-2 kadardır. Fakat yapı duvarları çatladıktan sonra periyotları uzar ve sönüm oranları yükselir. Merkez üstü uzakta olan depremler yığma yapıları pek etkilemese de kısa periyotları nedeni ile depremin merkezine yakın bölgelerde en büyük yer ivmesi, uç ivmesi gibi bir ivme ile zorlanacaklardır (Bayülke, 2011).

Ancak yığma yapılar üzerinde oluşacak tüm yükleri yığma duvarlar karşılamaktadır. Duvarların tamamının taşıyıcı olarak yapılması onları çok rijit bir hale getirir. Bu sebeple yığma yapılar deprem esnasında sünek bir davranış göstermeden, yeterince yer değiştiremeden hasarlanırlar (Uzun, 2017).

Çerçevesiz yapılar göre yığma yapılar daha rijit oldukları için daha fazla yanal yüke maruzdurlar. Deprem esnasında yerin ileri geri rastgele hareketi yapıda eylemsizlik etkisi oluşturmaktadır. Daha önce yalnız düşey yükleri taşıyan duvar, deprem nedeniyle oluşan yatay yüklere maruz kalacaktır. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin ortak karakteristik özelliği; basınç zorlamalarına karşı orta ya da yüksek, çekme zorlamalarına karşı ise düşük seviyede dayanım gösterebiliyor olmasıdır (Korkmaz, 2007).

Ancak sismik (deprem) davranış açısından, yığma yapıların betonarme yapılara göre avantajları da vardır. Yatay yükler altında taşıyıcı yığma duvarlar yatay olarak yüklendiğinde perde duvar özelliği taşır ve mafsal özellik gösteren kritik noktalar olmaz. Sonuç olarak, duvardaki yük eşit olarak dağıtılır ve duvar belirli alanları etkilemek yerine tüm yüke tepki verir (Saber, 1998).

Yığma yapıda kayma gerilimine dayanıklı malzeme, bağlayıcı olarak kullanılan harçtır. Yığma binada oluşan kesme gerilmesi harcın dayanabileceği aralığı aşarsa, yığma bina duvarlarında çatlaklar bulunacaktır (Arıcan, 2010).

### 3.2.2. Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar

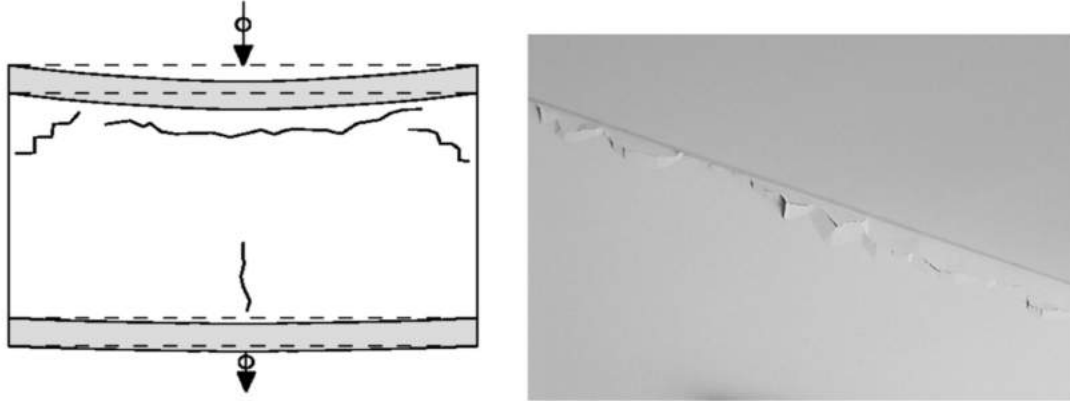
Yığma yapıların birçoğu deprem gibi ön görülemeyen doğal afetler nedeniyle zarar görse de bununla birlikte yorulma ve mukavemet kaybı, trafik, rüzgâr yükleri ve sıcaklık, zemin oturması gibi nedenlerle de yüksek risk altındadır (Lourenco, 2002). Yığma yapı hasarları, genellikle duvarda çatlaklar, temelde oturmalar ve kullanılan malzemenin bozulması veya şekil değiştirmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.13'de yığma yapılarda oluşabilecek tipik hasarlar görülmektedir.



Şekil 3.13: Yığma duvarda hasar biçimleri (Sucuoğlu, 1997)

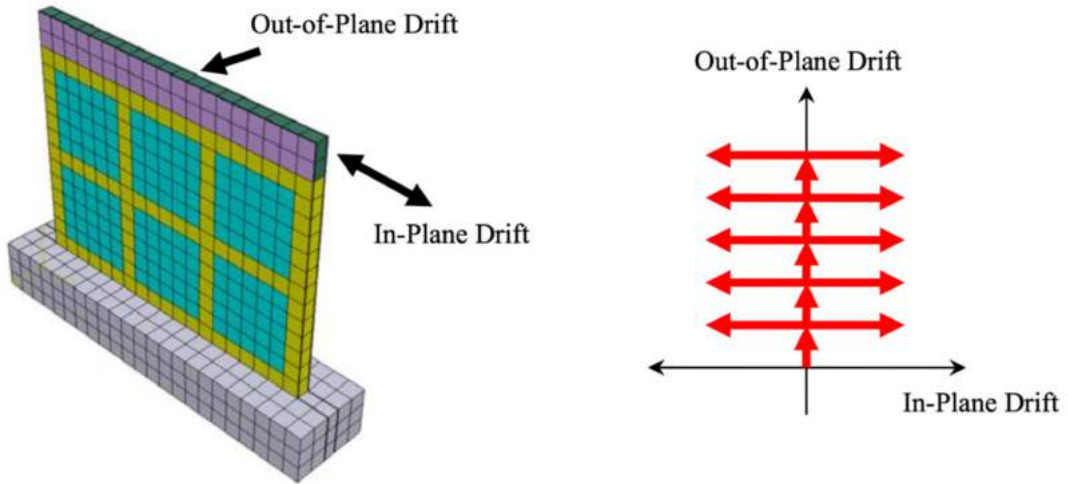
Yığma binalarda düşey yük değerindeki değişim, yapı elemanlarında hasarlara neden olabilmektedir. Taşıyıcı duvarlara etkiyen düşey gerilme malzeme dayanımını aşması durumunda önce basınç kuvvetine paralel olarak çatlaklar oluşur. Devamında gerilme

değerini artırılırsa ezilme ve sonra parça kopması meydana gelir (Şekil 3.14) (TYDRYK, 2017).



Şekil 3.14: Yığma yapılarda tabliyenin aşırı sehim nedeniyle oluşan çatlaklar (Thomaz ve diğ.,2014).

Yığma yapılar, betonarme yapılara göre deprem dayanımı daha az olan yapılardır. Betonarme binalarda gördüğümüz perde duvarlar gibi davranan yığma duvarlar, esas olarak düzlem içi dayanıma sahiptir. Deprem kuvvetlerini kendi düzlemi içinde sürekli olarak iletme şeklinde çalışmaktadır.

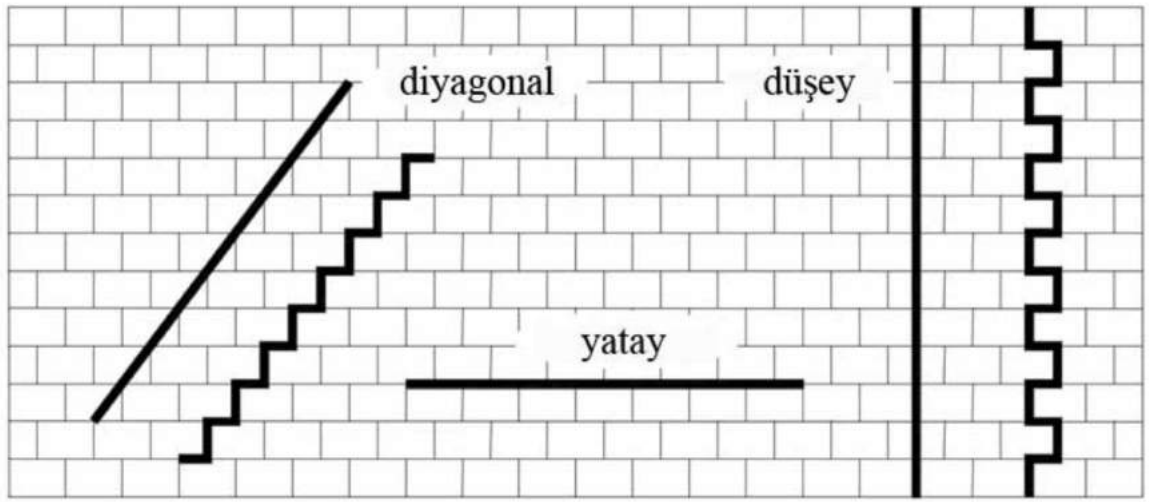


Şekil 3.15: Yığma duvarda düzlem içi ve düzlem dışı (Minaie, 2009)



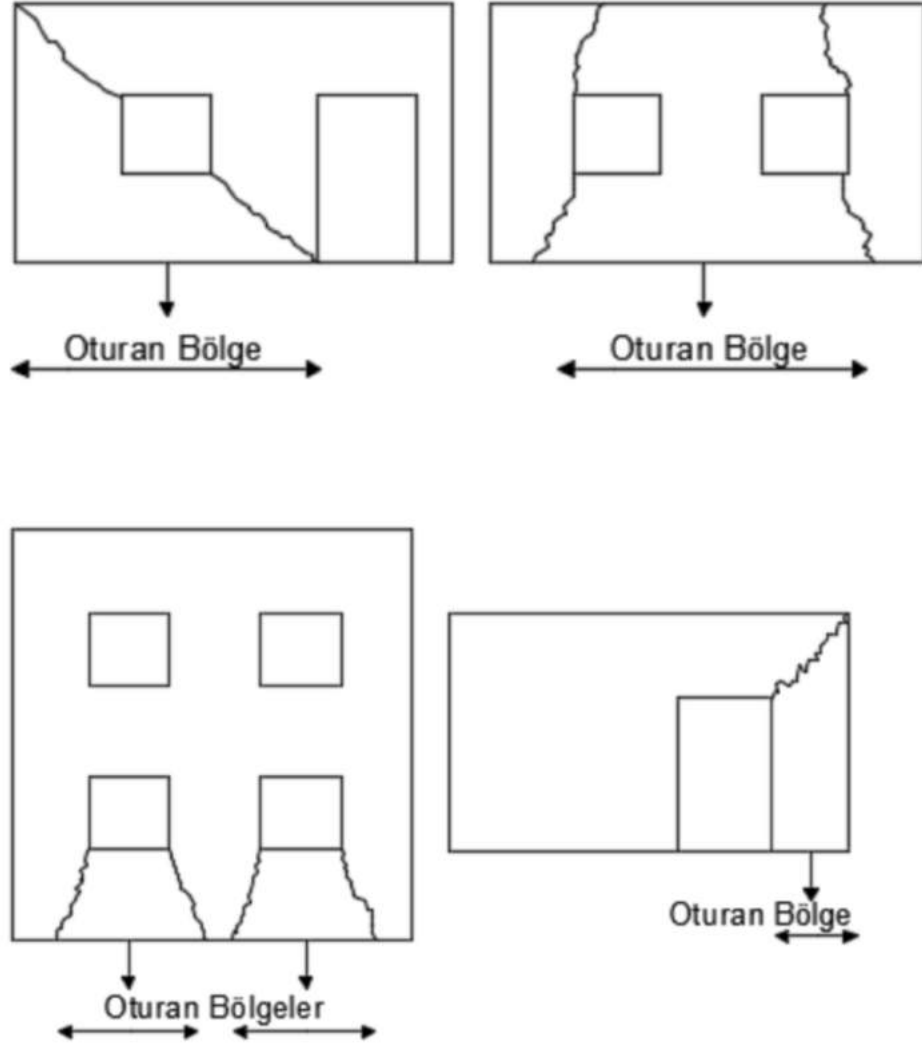
Şekil 3.16: Yığma yapılarda düzlem içi ve düzlem dışı oluşan hasarlar (Lin, 2013)

Düzlem içi yüklemenin bir sonucu olarak, kesme kuvvetinin neden olduğu gerilmeler nedeniyle çapraz çatlaklar oluşur. Çatlaklar genellikle merdiven benzeri bir desende, tuğlalar arasındaki zayıf harç tabakalarının yolunu takip eder (Şekil 3.17)



Şekil 3.17: Yığma duvarda oluşabilecek çatlaklar (Uzdil, 2020)

Duvara verilen diğer bir hasar şekli, zemindeki farklılık veya duvardaki dikey yük nedeniyle, duvarın uyumunun farklı olması ve duvar boyunca farklı oturmaların büyük olmasıdır. Duvar hasarına neden olan farklı oturmalar genellikle duvar düzleminde oluşan eğimli çatlaklarla kendini gösterir. Çatlak yönü belirlenerek oturma yönünün ne tarafta olduğu kolaylıkla belirlenebilir (Sesigür, 2007).

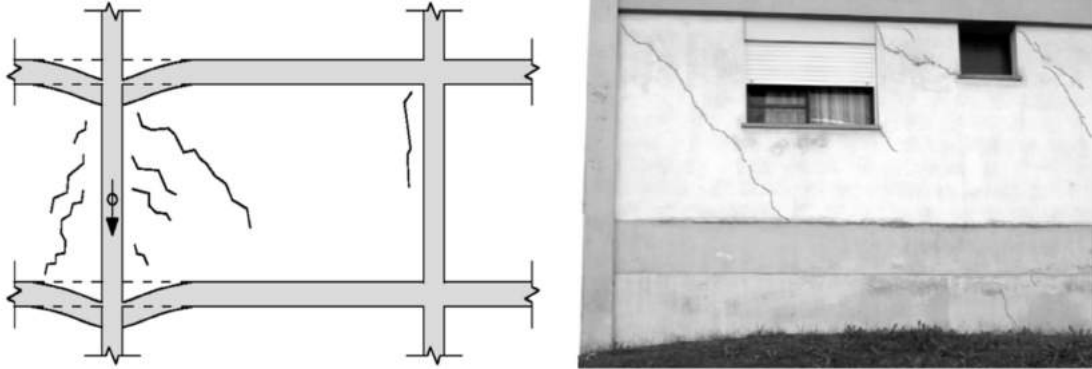


Şekil 3.18 Yığıma yapıda oturmada kaynaklı oluşan çatlak şekilleri (Uzdil, 2020).

Yığıma duvarlar temel oturmalarına karşı da çok hassastırlar. Temeldeki oturmalar duvarlarda çatlaklara neden olmaktadır (Şekil 3.18). Yığıma yapılarda, duvarda oluşan her tür çatlak taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Farklı oturma tiplerine göre çatlaklar farklılık göstermektedir (Çırak, 2011).



Şekil 3.19 Yığma yapıda oturmadan kaynaklı oluşan duvar hasarları (Çırak, 2011).



Şekil 3.20 Yığma yapıda oturma nedeniyle oluşan hasarlar (Thomaz ve diğ., 2014).

Yığma yapılar, çekme gerilmelerine karşı yeterli dayanım gösterememekte ve güç tükenmesini bu gerilmeler kontrol etmektedir. Dolayısıyla, depremden meydana gelen yatay kuvvetler duvarları kesme kuvveti yönünden etkilemekte ve duvar yüzeyinde genellikle X şeklinde çatlak, kırılma meydana gelmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Yığma duvarlarda oluşan kesme çatlağı (Doğangün, 2008).

Yapı yapıldıktan sonra deprem kuvvetleri sebebiyle oluşan bu kesme çatlakların oluşmaması için duvarda donatı kullanılabilir. Fakat bu tür yığma yapı duvarlarında donatı kullanımı özellikle kırsal yerleşim bölgelerinde pek yapılmamaktadır (Celep, 2004).

Depremden dolayı yığma binalarda duvarda çatlama veya göçme olabilir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Sismik etkide oluşan çatlamlar (Capozucca, 2008).



Şekil 3.23 Sismik etkide oluşan ayrışmalar (Çırak, 2011).

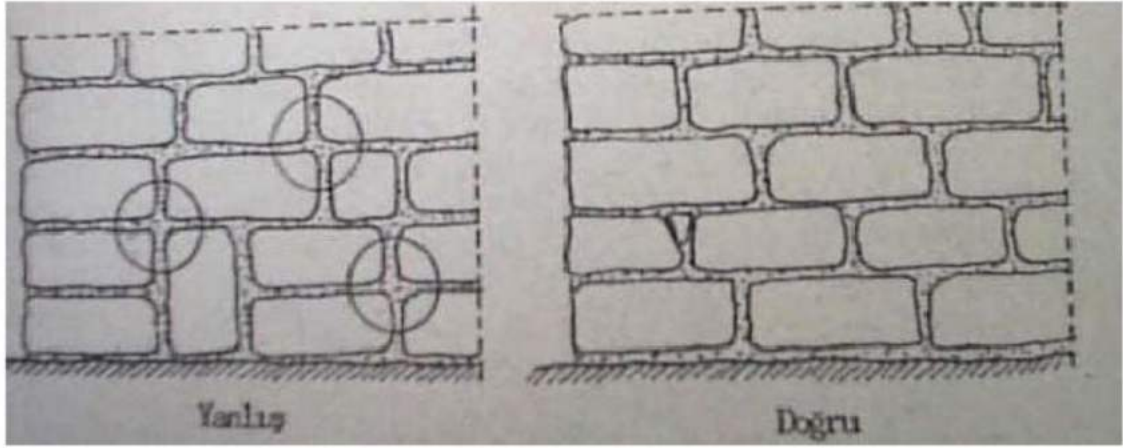
Farklı yöndeki duvarların kesişim/birleşim yerlerinin yeterli dayanım gösterememesi bu bölgede hasar oluşturabilir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Yığma yapılarda birleşim hasarları (Bayraktar, 2007).

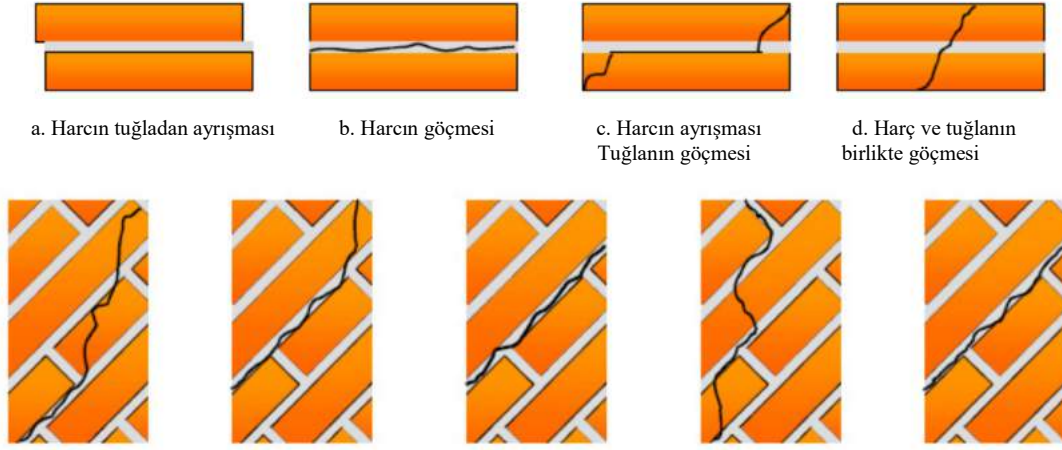
Bu hasarlar duvarda kullanılan malzemelerin yapısına da bağlıdır. Tuğla ve dolu briket, hafif beton briket ve bunların duvar şekillendirici bağlayıcıları (harçlar gibi) homojen yapıda değildir. Aynısı doğal taştan yapılmış duvarlar için de geçerlidir. Doğal taştan yapılmış moloz taş bir duvarda derzler rastgeledir. Yığma duvarın üst kısmı yeterli rijitliğe sahip değilse, lento bağlantısı yapılmamışsa, düzlemlerine dik yönde de zarar

görürler. Duvarlar, kapılar, pencere hatlı ve yatay bağlantı (döşeme kirişi dahil) bu tekniğe uygun olarak yapılmadığı takdirde, çoğunlukla zarar görürler. Yapay taş duvarların basınç dayanımı, tuğla ve harcın basınç dayanımı ölçülebilir parametrelere bağlıdır. Ancak, örneğin, işçilik, derz kalınlığı, duvar boyutu vb. duvar dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir (Çırak, 2011).



Şekil 3.25 Yığma yapılarda derzlerin önemi (Çırak, 2011).

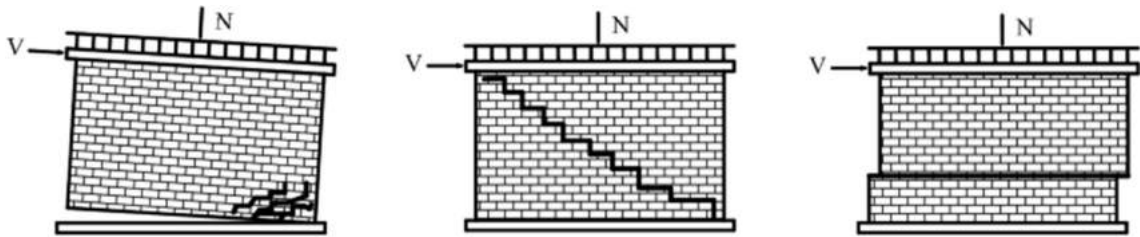
Genel olarak, yığma yapılar için kullanılan duvar malzemelerinin çekme dayanımı ve harcın kesme dayanımı düşüktür. Hasarın en önemli nedeni, depremin neden olduğu duvarda oluşan kayma gerilmesinin malzemede çekme gerilmesi oluşturması ve dolayısıyla duvarda görülen çatlama, ayrılma ve dağılmadır. Şekil 3.26, kesme gerilmesi ve çekme gerilmesi nedeniyle tuğla ve harçtan oluşan bir yığma duvarda meydana gelebilecek göçme türlerini göstermektedir. İlk resimde tuğla ve harç birbirinden ayrılmış, ikinci resimde harç göçer, üçüncü resimde ise harcın parçalanmasına tuğlanın göçmesi eşlik eder, son resimde harç ve tuğla göçmüştür. Aşağıdaki şekilde, bu göçmüş formların duvarda birlikte görüldüğü çeşitli durumlar gösterilmektedir.



Şekil 3.26: Tuğla duvarda göçme biçimleri

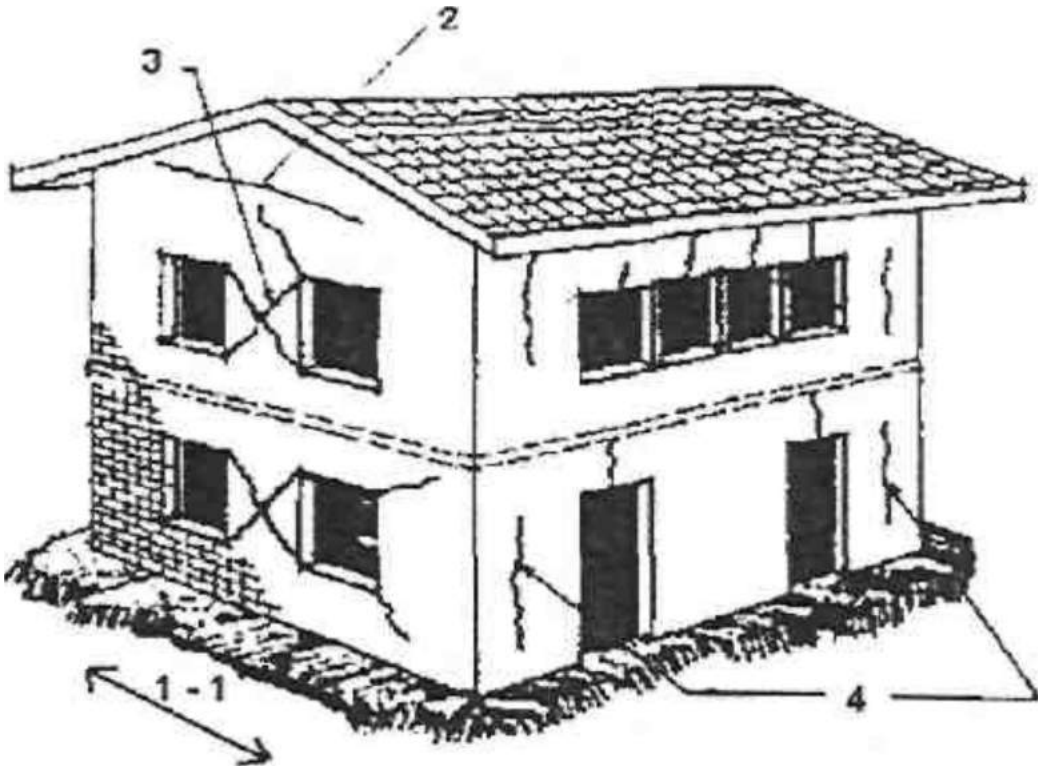
Yığma yapı ağır ve rijittir. Bu da büyük sismik kuvvetlere neden olabilir. Yığma yapının çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı, yapının belirgin bir plastik deformasyon olmaksızın aniden çökmesine neden olur. Duvar ile harçlar arasındaki zayıf bağlantı (örneğin duvarlar arası bağlantı) yapının zayıf kısmının kolayca yıkılmasına ve hasara neden olabilmektedir. Büyük pencere ve kapı açıklıkları ve plan görünümünde duvar düzenlemesinin simetrik yapılmaması, ek gerilim yığılmalarına neden olacak ve dolayısıyla hasarı artıracaktır. İlaveten yapı süresince yapılan yapı kusurları da hasar nedenleri bakımından önemlidir (Celep, 2004).

Taşıyıcı duvarlarda görülen en yaygın hasarlardan biri çatlakların oluşmasıdır. Yapıdaki çatlakların nedenlerinin bilinmesi, doğru onarım ve güçlendirme kararları vermede çok önemlidir. Çatlağın konumu ve yapı üzerindeki dağılımı, gerilme dağılımı ve çatlak oluşumunun nedenleri hakkında fikir verecektir. Yapıda çatlaklar gözlemlenebiliyorsa, çatlakların yerlerini belirten bir plan çıkarılması tavsiye edilir. Şekil 3.27 da kesme ve eğilme ile oluşan çatlaklar görülmektedir.



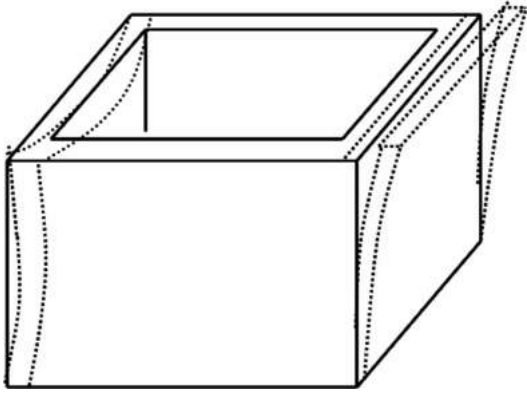
Şekil 3.27 Yığma duvarda kesme ve eğilme etkisiyle oluşan çatlaklar (Liu, 2020)

Çatlak tamir edilmeden önce çatlağın yeni bir çatlak mı yoksa eski bir çatlak mı olduğu tespit edilmelidir. Yeni çatlaklar daha net ve daha keskin kenarlara sahipken, eski çatlaklar daha kirli ve yuvarlak kenarlara sahiptir. Bundan sonra çatlak oluşumunun devam edip etmediği belirlenmelidir. Hareketli yük ve sıcaklık değişikliklerine bağlı olarak çatlak genişliği artabilir veya azalabilir. Bu nedenle çatlak genişliği en az bir yıllık belirli bir zaman aralığında ve günün belirli saatlerinde ölçülmelidir. Çatlak oluşturmaya devam eden binada, çatlakların nedeni ortadan kaldırılmalıdır (Sesigür, 2007).

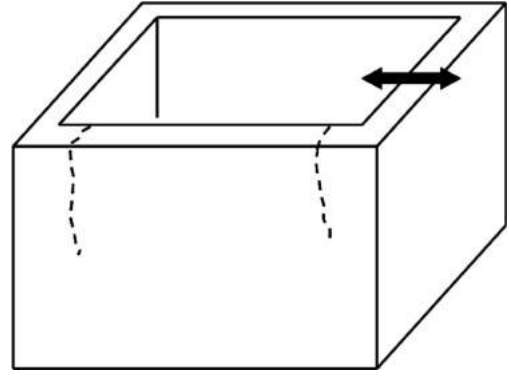


Şekil 3.28: Deprem etkisindeki yığma binada meydana gelen hasarlar (URL4.)

Yığma bina depremin merkez üssüne yakın bir noktada ise duvarlarda düşey çatlaklar gözlenebilir. Ayrıca alt ve üst noktalarından iyi mesnetlendirilmemiş duvarların düzlem dışı yıkıldığı da gözlenmiştir.

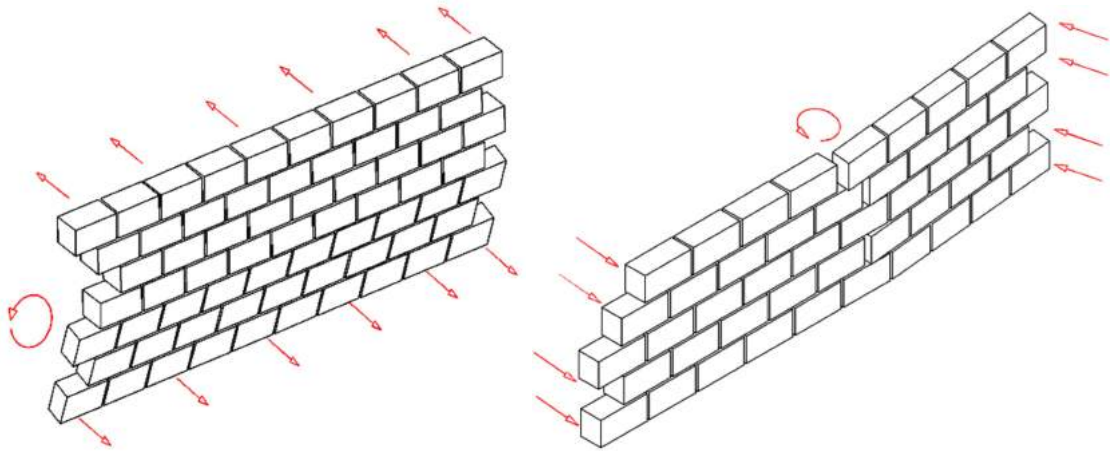


Şekil 3.29: Düzlemdışı devrilme (Korkmaz, 2007)  
çatlak



Şekil 3.30: Düzlemdışı yüklemde düşey çatlak (Korkmaz, 2007)

Eksen dışı duvar dönüşü bir başka önemli hasar şeklidir. Çatlaklar gibi, yığma duvarının dönüşü de binanın taşıyıcı sisteminin hareket yönüne dair net ipuçları sağlar. Duvarda bu tür rotasyonlar isteniyorsa fotogrametrik yöntemlerle belirlenmelidir. Unutulmaması gereken bir diğer nokta da dönme bazen üretim hatalarından kaynaklanmaktadır (Sesigür, 2007). Şekil 3.31’de yığma duvarın yatay ve dikey eksen etrafında nasıl döndüğü gösterilmektedir.



Şekil 3.31: Yığma duvarın yatay ve düşey eksen etrafında dönmesi (Aköz, 2008)

### 3.2.3. Yığma Yapılarda Deprem Hasar Düzeyleri

**1. Hasarsız Yapılar:** Yapıda çatlak bulunmamaktadır. Çatlaklar varsa da kılcal boyutta 1 mm veya daha ince olabilir. Çatlak derinliği sadece sıva kalınlığı kadardır.

**2. Az Hasarlı Yapılar:** Duvarda genişliği 1.0-10.0 mm aralığında X şeklinde olan ve derinliği duvar içine kadar uzanan çatlakları olan yapılardır.

**3. Orta Hasarlı Yapılar:** Duvarlarda genişliği 10-25 mm, X şeklinde kesme çatlakları vardır. Duvarın düzlemi ve boyutları değişmemiştir.

**4. Ağır Hasarlı Yapılar:** Duvarlarda genişliği 25 mm'yi geçen çatlaklar mevcuttur. Duvar düzlemleri düşeyden sapsmış, duvar köşeleri ayrılmıştır. Duvarlarda düşey yüklerden şişmeler olmuş, duvarlar kısmen ayrılmıştır. Duvarların düşeyden ayrılması 1/50 oranından fazladır.

**5. Yıkılmış Yapılar:** Yapıda taşıyıcı duvarların yıkılması, döşemelerin birbiri üzerine çökmesi halinde yığma yapı yıkılmış sayılır.

### 3.3 Yığma Yapıların Deprem Güçlendirilmesi

Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yığma yapıların can ve mal kaybını önlemek için güçlendirilmeleri gerekir. Yığma yapıların güçlendirilmesinde çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu güçlendirme yöntemlerinden bazıları ekonomik, temin etmesi kolay, geleneksel malzemeler kullanılarak yapılır. Bir kısmı da geleneksel yöntemlerin cevap veremediği özel durumlarda maliyeti yüksek, yeni teknoloji ve yeni malzemeler kullanılarak yapılır. Güçlendirme işlemlerinde bazı müdahaleler birkaç elemanın onarımı şeklinde olabilirken bazılarında yapı bütün olarak güçlendirilir (Aköz, 2008).

Güçlendirme yöntemleri her yapı için ayrı düşünülmelidir. Ayrıca güçlendirme deprem sonrası veya öncesi hasar önlemede kullanılacaksa çoğunlukla görülen deprem hareketinden sonra yığma duvarlarda hasarlar olduğu için duvarların güçlendirmesi öncelik kazanmaktadır.

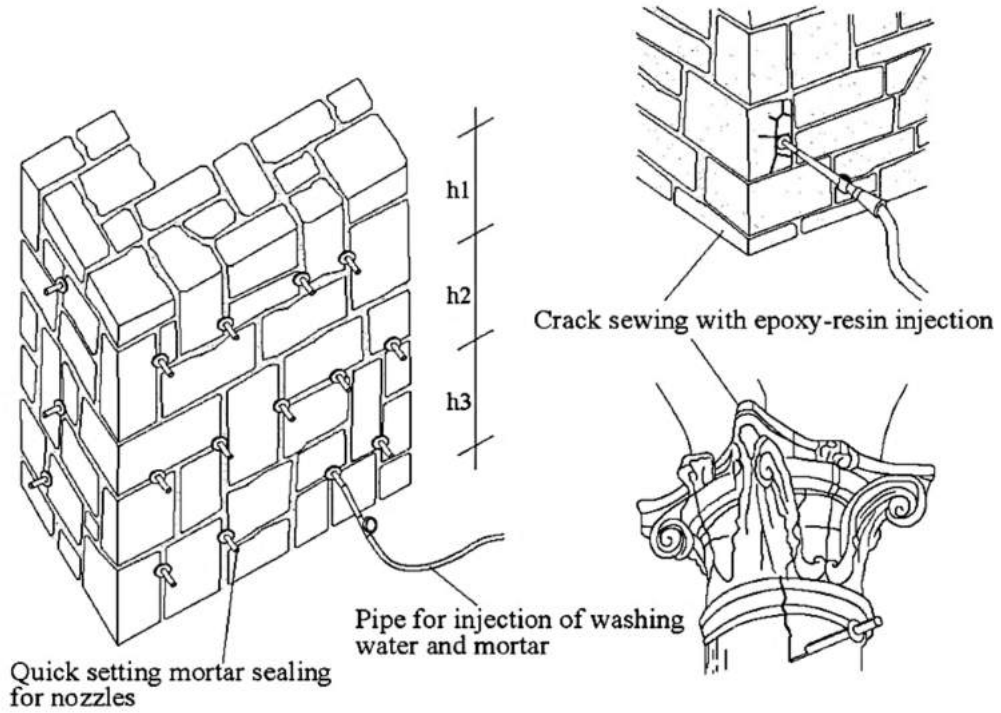
Güçlendirme işleminde hedeflenen temel amaç:

- Yapıya gelen dış yüklerin yapıya olumsuz etkisini azaltmak,
- Deprem kuvvetine veya diğer oluşan kuvvetlere karşı yapı elemanlarının her birinin yük taşıma kapasitelerini artırmak,
- Yapının bütünlüğü korumaktır (Wang ve diğ. 2018).

#### 3.3.1. Çimento ve Epoksi Reçine Enjeksiyonu ile Güçlendirme

Yığma yapı duvarlarında oluşmuş çatlaklar içerisine ince borular yerleştirilir. Borular yerleştirildikten sonra duvar yüzeyi ince bir sıva tabakasıyla kaplanır. Çatlak

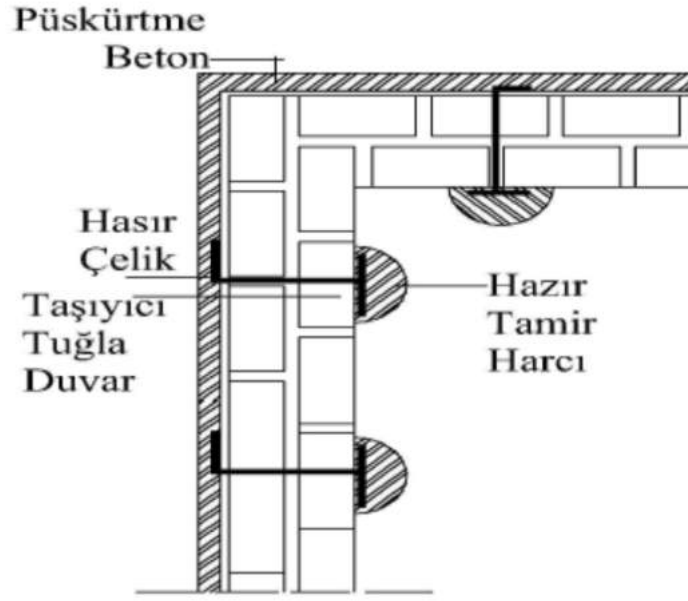
derinliği boyunca bu deliklerden alt sıradan başlanarak sırayla alçak basınçlı enjeksiyon yapılır. Daha sonra enjeksiyon yapılan borular çıkartılıp açık kalan delikler de çimento bazlı dolgu malzemesi veya epoksi reçine ile doldurulur. Bu yöntemde priz alırken hacmi artan, yüksek mukavemetli, asit, su, alkali ve diğer maddelere karşı dayanıklı, aderans oluşturabilen ve yüksek dirençli çimento veya epoksi kullanılarak daha sağlam bir duvar elde edilmiş olur.



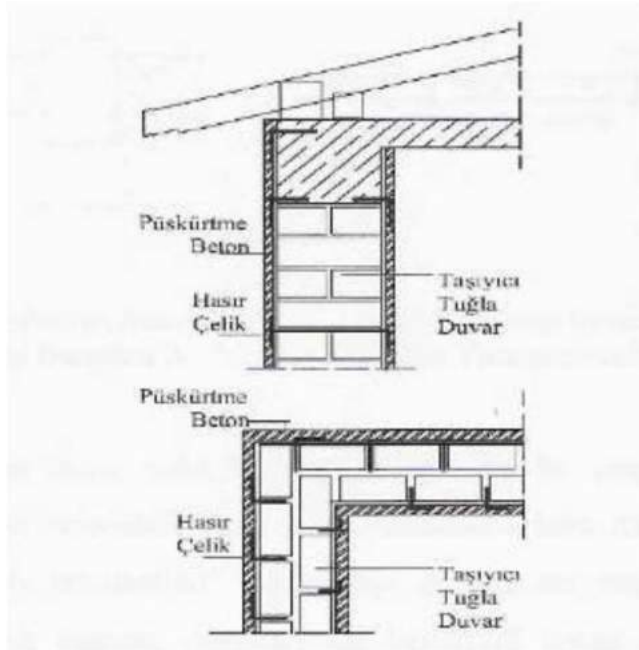
Şekil 3.32: Duvar ve çatlaklara enjeksiyon (Basilio, 2007).

### 3.3.2. Shot-Grid Yöntemi ile Güçlendirme

Bu yöntem yığma yapılarda sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Uygulama aşamasında güçlendirme yapılacak duvar yüzeyindeki sıvalar kazılır, duvara epoksi için yer yer delikler açılır. Açılan deliklere epoksi doldurulur ve ankraj çubukları yerleştirilir. Bu ankraj çubuklarına bağlanmak suretiyle hasır çelik donatılar duvar yüzeyi boyunca yerleştirilerek duvar yüzeyi beton püskürtülerek hasır çelik donatılarla aderans sağlanır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: Shot-Grid yöntemi ile güçlendirme uygulaması (Bayülke, 1980)



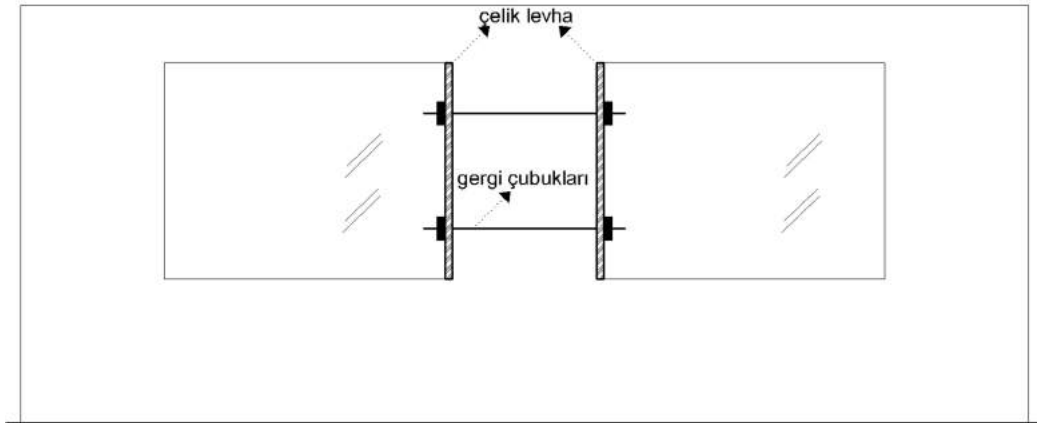
Şekil 3.34: Shot-Grid yönteminin duvarın iki yüzüne yapılması (Özsaraç, 2008)

Ancak güçlendirmenin Şekil 3.34’de görüldüğü gibi duvarın iki yüzüne yapılması tercih edilmelidir. Püskürtmeyi yapacak kişinin tecrübeli olması püskürtme mesafesini iyi ayarlaması uygulamanın sağlıklı olması açısından önemlidir. Püskürtme yüzeye dik ve 1

– 1,5 m uzaklıktan yapılmalıdır. Uzaklığın artırılması betonun yüzeye yapışmasını azaltacaktır. Tabancanın çok yakın tutulması ise duvardan sıçrayarak yere düşen beton miktarını artırarak malzeme zayıflığının artmasına eğer mesafe fazla olursa da basınç etkisini yitirerek yüzeye iyi yapışmayacak ve porozitesi yüksek bir beton elde edilmesine neden olacaktır. Bu da ileride betonda çatlaklara yol açacaktır. Püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra beton yüzeyine 2,5 cm kalınlığında yüzey pürüzünü düzeltmek için sıva yapılmalıdır (Özsaraç, 2008).

### 3.3.3. Çelik Elemanlar Kullanarak Güçlendirme

Yığma duvarlar kuşaklanarak veya duvarın her yüzünde çatıya veya döşeme diyaframlarına çelik levha monte edilerek ya da duvar kalınlığı fazla ise köşelerine köşebent bağlanıp kısa doğrultuda lamalar ile birleştirilerek güçlendirme yapılır. Duvarlarda oluşan çatlakların büyümesini önlemek için duvar düzlemi doğrultusunda çelik elemanlar çelik gergi çubukları ile bağlanarak çatlakları dik kesen donatılar yerleştirilir. Bu güçlendirme yöntemi ile yığma duvarlarda pencere boşlukları arasındaki duvarın güçlendirilmesi amacıyla yerleştirilmiş çelikler örneği Şekil 3.35’de verilmiştir (Özsaraç, 2008).

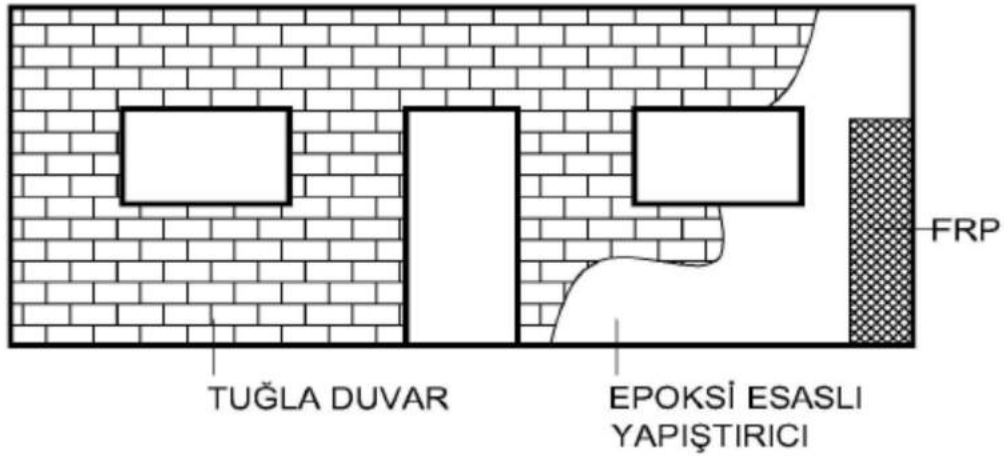


Şekil 3.35: Çelik levhalar ile güçlendirme (Özsaraç, 2008)

### 3.3.4. FRP ile Güçlendirme

Fiber Takviyeli Polimer (FRP) karbon, cam ve aramid lifleri ile güçlendirilmiş reçine karışımıdır. Son zamanlarda yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaya

başlanmıştır. Hafiftir ve çeliğe göre çok yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Korozyona uğramaz ve kolay uygulanabilir. FRP lifler doğrultusunda yönü değiştirilerek istenilen yönde mukavemeti artırma özelliği olan uzun ömürlü bir malzemedir. Üretim zorluğundan dolayı bu malzemenin maliyeti yüksektir. Bu nedenle kırsal yığma yapıların değil, tarihi yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Uygulaması yapılırken duvar yüzeyindeki sıva kaldırılır ve yüzey pürüzsüzleştirilir. İhtiyaç halinde astar uygulaması yapılır. Bu işlemten sonra düşünülen genişlikteki FRP kumaş ve levha, epoksi reçine yapıştırıcı ile elyaf yönünde güçlendirilecek alana yapıştırılır. Bu teknik, yapı kullanımdayken, yapının boşaltılması ve asılması gibi ön hazırlıklara gerek kalmadan uygulanabilmektedir. Bu yöntem Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36: Çelik levhalar ile güçlendirme (Özsaraç, 2008)

## 4. ANALİZ ÇALIŞMASI

### 4.1. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma aşamasında yığma binada taşıyıcı duvarları temsil eden yığma duvar numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 150 cm uzunluğunda, 130 cm yüksekliğinde ve 10 cm kalınlığındadır (Şekil 4.1). Toplam 4 adet numune üretilmiştir. Duvar numuneleri “U” şeklinde çelik profillerinin içinde üretilmiştir (Şekil 4.2)



Şekil 4.1: Yığma duvar deney numuneleri



Şekil 4.2: Üretilen tuğla duvar deney numuneleri

Bu profiller tuğla duvar numunelerinin taşınmasında ve yükleme çerçevesinde sabitlenmesinde kullanılmıştır. Numunelerin taşınması sırasında tabanda bulunan çelik profilin aynısı numunenin üst kısmında da yerleştirilmiş ve iki profil her iki uçtan yivli tijler ile birleştirilmiştir (Şekil 4.3). Numune yükleme sistemine yerleştirildikten sonra üstteki profil kaldırılmıştır.



Şekil 4.3: Her iki ucu yivli tijli deney numuneleri



Şekil 4.4: Üretilen tuğla duvar deney numuneleri

Yükleme siteminde Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Meslek Yüksek Okulunda bulunan kapalı çelik çerçeve sistemi kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bu deney düzeneğinde yatay yüklemeye için 20 ton kapasitesinde hidrolik silindir ve yük ölçüm hücresi (loadcell) kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.5: Çelik yüklemeye ve deney çerçevesi



Şekil 4.6: Yatay yük düzeneği

Numunenin yatay yük altında rijit cisim ötelenmesine maruz kalmaması ve üst katlardan tuğla duvara aktarılan düşey yükü temsil etmesi için tuğla duvara düşey yükleme de uygulanmıştır (Şekil 4.7). Düşey yük 5 ton kapasiteli hidrolik silindir ve loadcell ile

tatbik edilmiştir. Yüknün tuğla duvarın üst yüzeyine eşit dağılması için rijit bir çelik profil kullanılmıştır. Ayrıca loadcell ile rijit profil arasında mafsallı konulmuştur (Şekil 4.8). Hidrolik silindir ise yatayda hareket etmeye serbest şekilde yükleme çerçevesine mesnetlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.7: Düşey yükleme



Şekil 4.8: Mafsal detayları



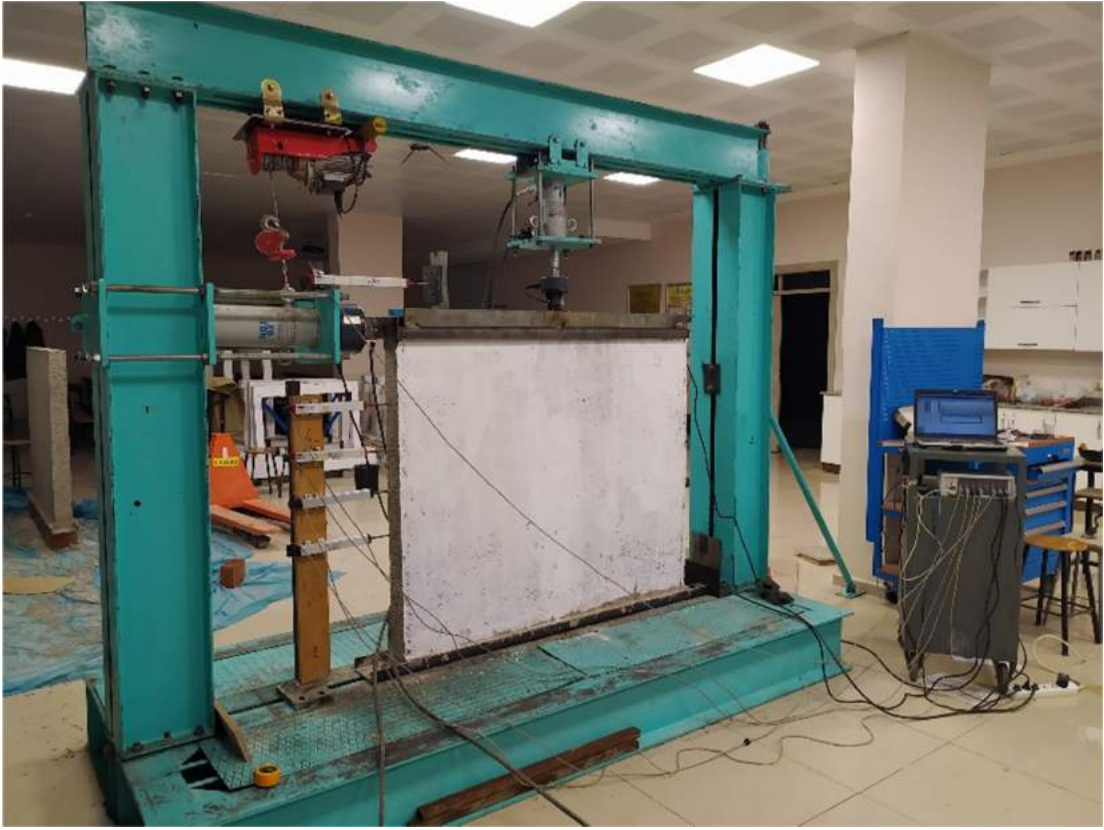
Şekil 4.9: Yükleme sistem detayları

Deney numunesi tuğla duvar deney düzeneğine yerleştirildikten sonra (Şekil 4.10) yatay deplasmanları ölçmek için potansiyometrik cetveller yerleştirilmiştir (Şekil 4.11). Numunenin üst noktasından itibaren tabana kadar 5 adet ve en alt tabanda da 1 adet olmak üzere 6 adet deplasman ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.12). Yatay yük ve düşey yük ölçümleri ile beraber 8 adet ölçüm yapılmıştır. Veri toplama sistemi deplasman ve yükleri deney sırasında bilgisayara aktarmakta ve ekranda grafik ve sayısal olarak göstermektedir. Deney sırasında yatay yük-tepe deplasman grafiği izlenmiştir. Deney başlamadan önce düşeyde numune üstüne 0.3MPa düşey gerilme uygulanmıştır. Yatay yük sıfırdan başlayarak artırılmıştır.



Şekil 4.10 Deney numunesi düzeneğe yerleştirilmesi

Şekil 4.11 Potansiyometrik cetveller



Şekil 4.12: Yatay ve düşey yükleme görünüşleri

Deneyin ilk aşamasında üst tarafta bulunan çelik profil numune üstünde kayarak hareket etmiş ve deney durdurulmuştur. Çelik profil sökülerek iç yüzeyine sürtünme sağlaması için donatılar kaynatılmıştır. Ayrıca yükleme ucunda da 20 cm uzunluğunda bir profil parçası kaynatılarak kayma engellenmiştir (Şekil 4.13).

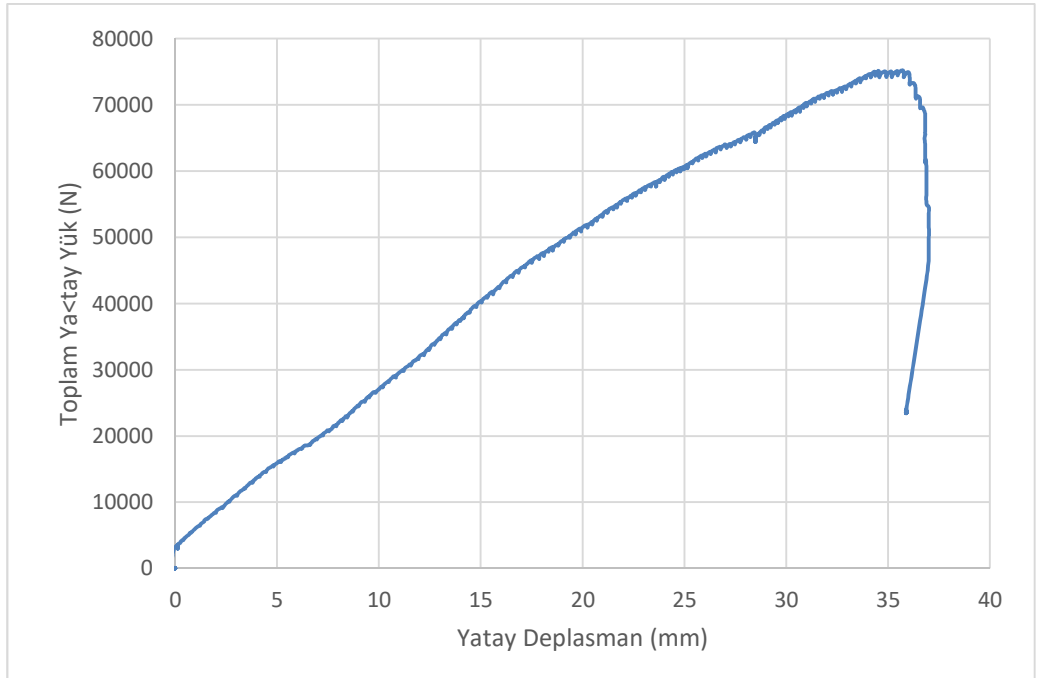


Şekil 4.13: Yükleme sisteminde yapılan değişiklik

Deney düzeneğinde ve yüklemesinde yapılan değişikliklerden sonra deneye devam edilmiştir. Düşey yük 0.3 MPa gerilme oluşacak şekilde sabitlenmiş ve yatay yüklemeye artırılarak devam edilmiştir. Deney sırasında gevrek bir şekilde eğik çatlak oluşmuştur (Şekil 4.14.). Deneye ait yatay yük tepe deplasmanı eğrisi Şekil 4.15 de verilmiştir.



Şekil 4.14: Deney sonu hasar durumu



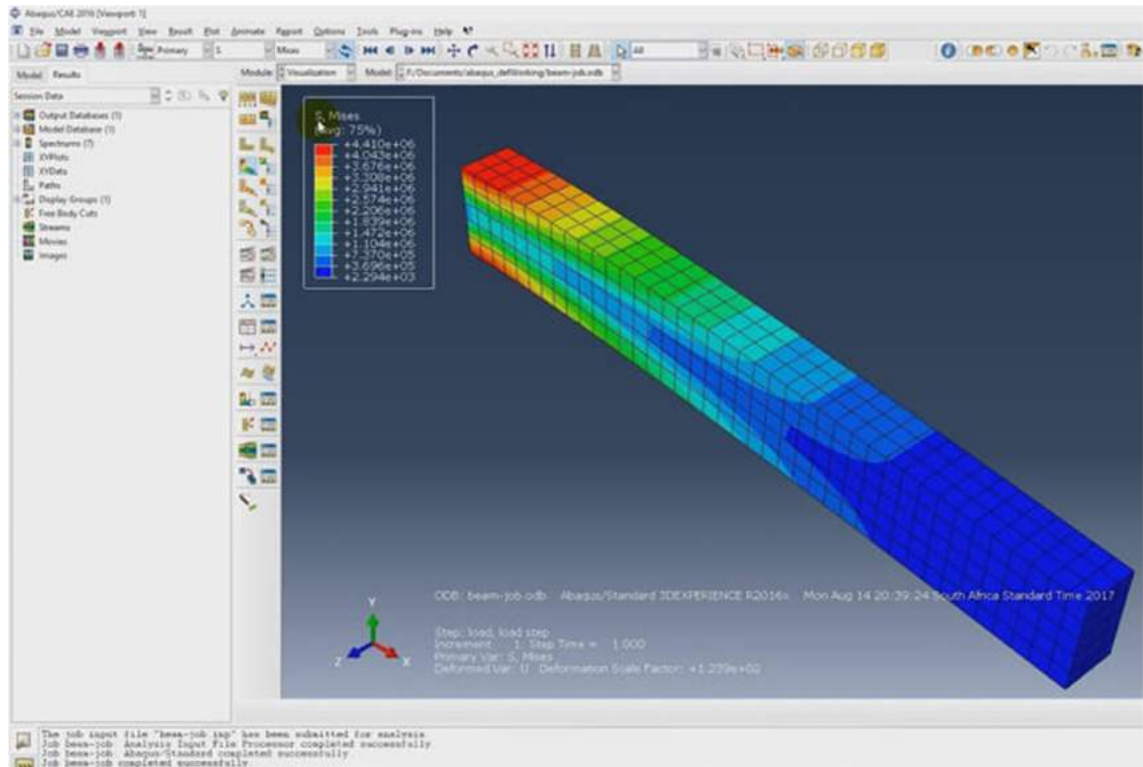
Şekil 4.15: Deney sonu elde edilen yatay yük-tepe deplasman eğrisi

## 4.2. Analitik Çalışma

Analitik çalışmada, deneysel çalışma aşamasında üretilen numunelerin 3 boyutlu modellenmesi amaçlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir.

### 4.2.1. ABAQUS Sonlu Elemanlar Programı

Bu bölümde ABAQUS yazılımı hakkında bilgilere yer verilmiştir. Programın modelleme ve analiz aşamalarından kısaca bahsedilmektedir.



Şekil 4.16: ABAQUS Programı Arayüzü

ABAQUS gerçeğe çok yakın modeller oluşturma olanağı sunarak detaylı çözümler yapmayı sağlayan bir sonlu elemanlar analiz FEA (Finite Element Analysis) yazılımıdır. İçerisinde bulunan farklı malzeme modelleri ve sonlu eleman tipleri sayesinde çözülmesi zor olan lineer ve non-lineer tasarımları analiz etmeye olanak tanımaktadır. ABAQUS programının Abaqus/Standard, ABAQUS/Explicit, ABAQUS/CFD, ABAQUS/Electromagnetic ve ABAQUS/CAE olmak üzere 5 ana yazılımı bulunmaktadır (URL5).

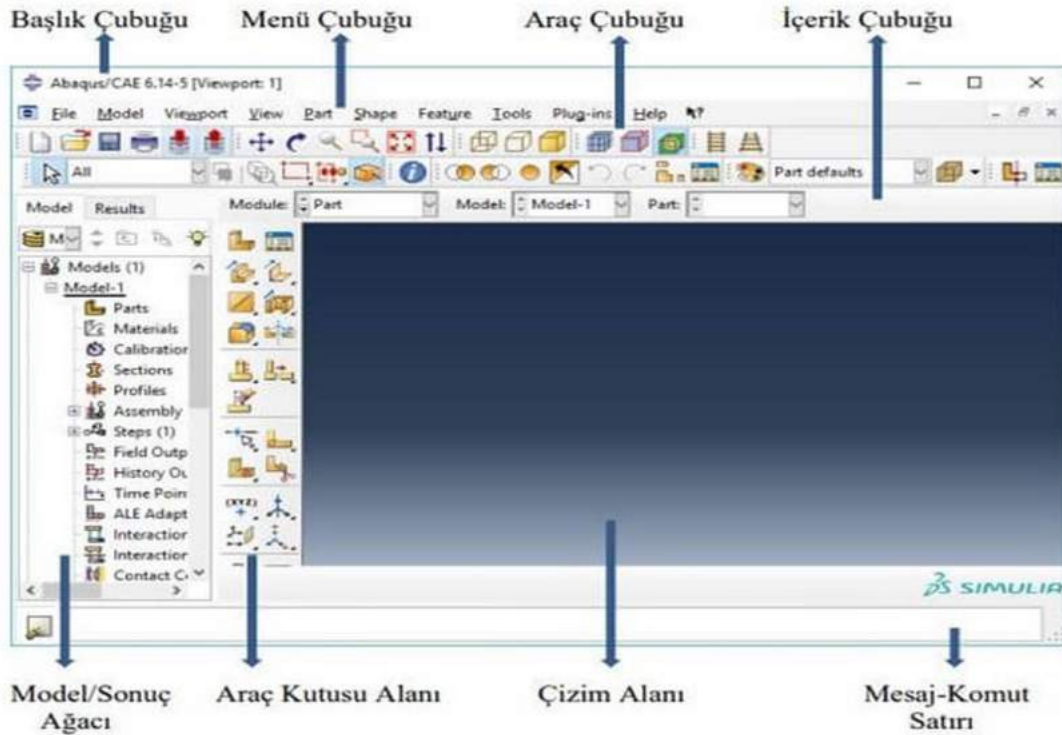
ABAQUS/Standard statik ve dinamik analizler yapabilen kapalı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Çözömlerinde gelişmiş malzeme ve eleman özelliklerinden faydalanmaktadır (URL5).

ABAQUS/Explicit zamana bağılı analizleri yapabilen açık bir sonlu eleman yazılımıdır. Geometri, malzeme ve sınır şartlarından kaynaklanan lineer olmayan etkiler analizlere dahil edilebilmektedir. Düşürme testleri, çarpışma testleri ve devinim problemlerinin çözümü için kullanılabilir (URL5).

ABAQUS/CFD ile ileri aşamada akışkanlar dinamiği analizleri yapılabilir. Doğrusal olmayan ısı-akış ve yapısal-akış uygulamalarında kullanıldığında oldukça gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir (URL5).

ABAQUS/Electromagnetic ileri seviyede hesaplamalı elektromanyetik problemlerin çözümünü sağlamaktadır (URL5).

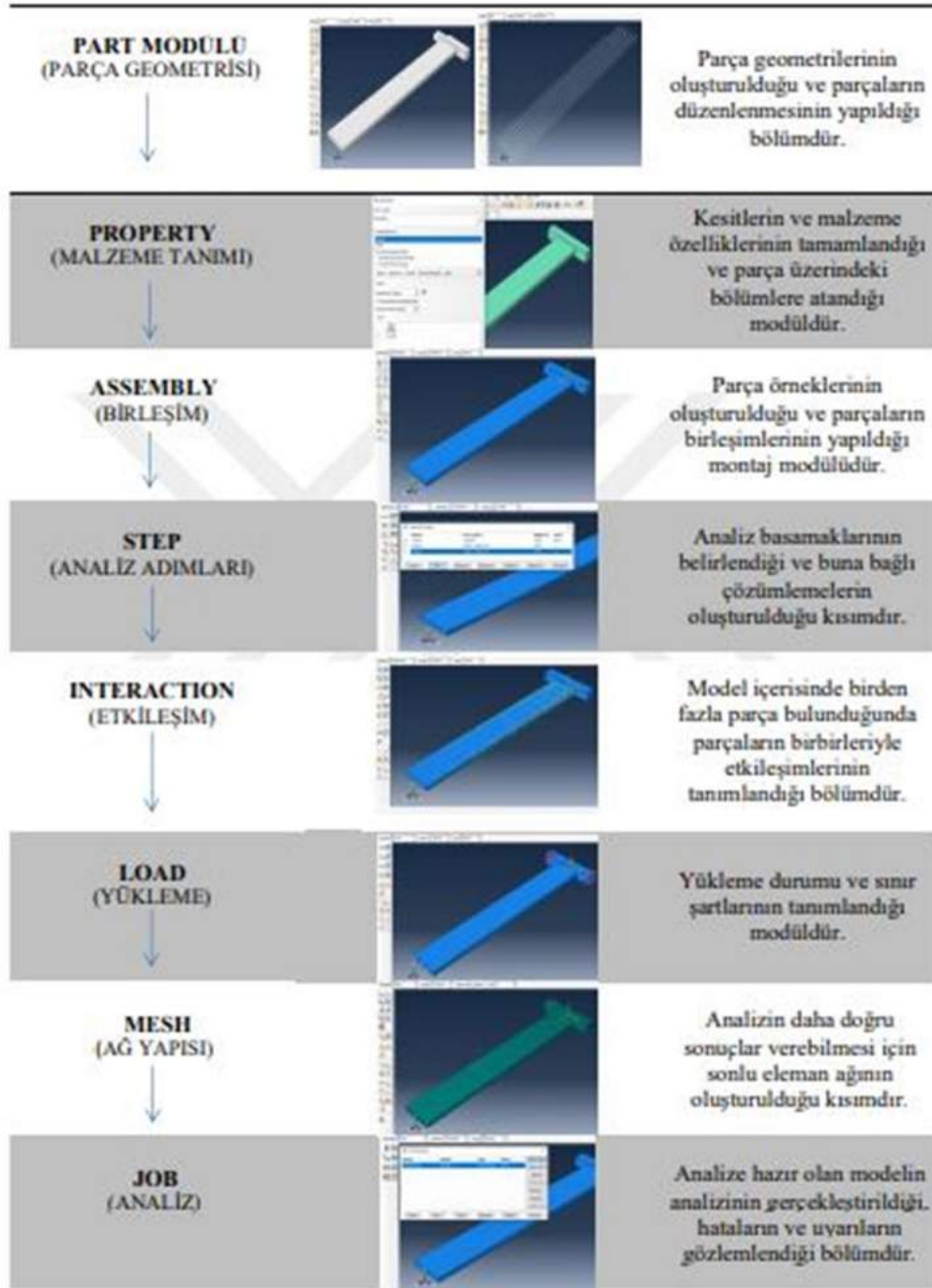
ABAQUS/CAE yukarıda belirtilen çözümleri kapsayan bir arayüze sahiptir. ABAQUS programı büyük çözüm dosyalarının analizinde kullanılabilir. Kullanıcılarına farklı programlarda oluşturulmuş modelleri düzenleme imkânı sağlamak ve analizlerini gerçekleştirmektedir (URL5).



Şekil 4.17: ABAQUS Ana Penceresi

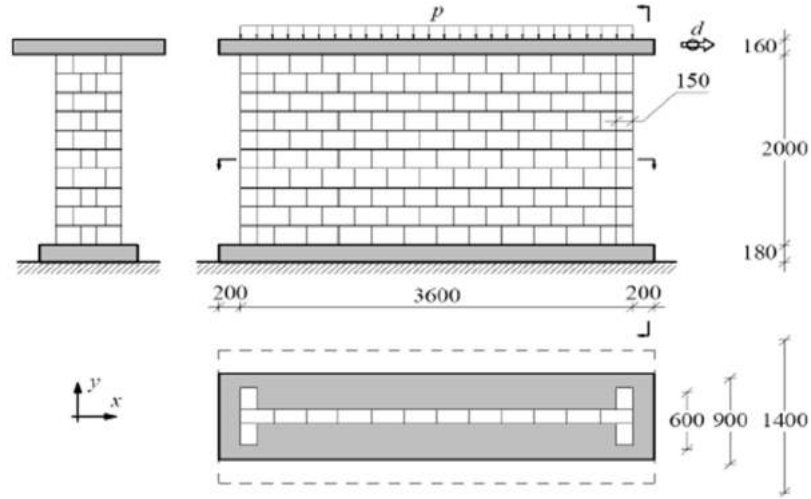
Model oluşturulurken ABAQUS programında mevcut olan modüller kullanılmaktadır. Modelleme ve analiz için kullanılan modüller;

- Part
- Property
- Assembly
- Step
- Interaction
- Load
- Mesh
- Job modülüdür.



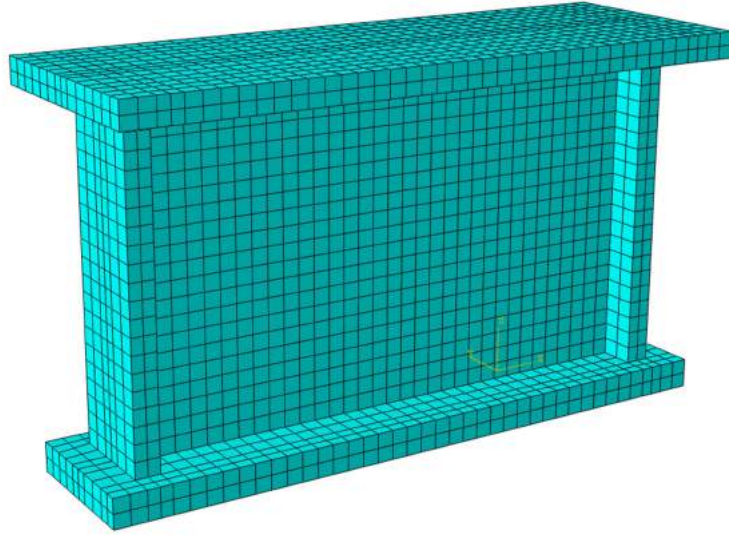
Şekil 4.18: ABAQUS Modülleri (Tülen, 2020)

Analitik çalışmada, deneysel çalışma aşamasında üretilen numunelerin 3 boyutlu modellenmesi amaçlanmıştır. Doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tuğla duvar malzemesinin doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyon ilişkisine ihtiyaç vardır. Şerbetçigil 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada bu malzeme modelini geliştirmiştir. Alper Aldemir 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada benzer şekilde bir algoritma yürütmüştür. Literatürde bulunan bir deneysel çalışma ANSYS programında modellenmiş ve deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modellenen deney “ETH Zurich Wall” deneyidir. 3,6 m uzunluğunda, 2 m yüksekliğinde olan bu deney numunesinin geometrik detayları Şekil 4.19 ‘da verilmiştir.



Şekil 4.19: ETH Zurich Duvarı Modeli (Şerbetçigil, 2021)

Numuneye düşey yönde 0.6 MPa gerilme uygulanmıştır. Şerbetçigil (2021), Zürih test numunesinin 3 boyutlu modelini ABAQUS programında hazırlamıştır. ABAQUS 'ta oluşturulan 3 boyutlu model sonlu elemanlara ayrılmış (mesh), sınır koşulları tanımlanmıştır (Şekil 4.20).

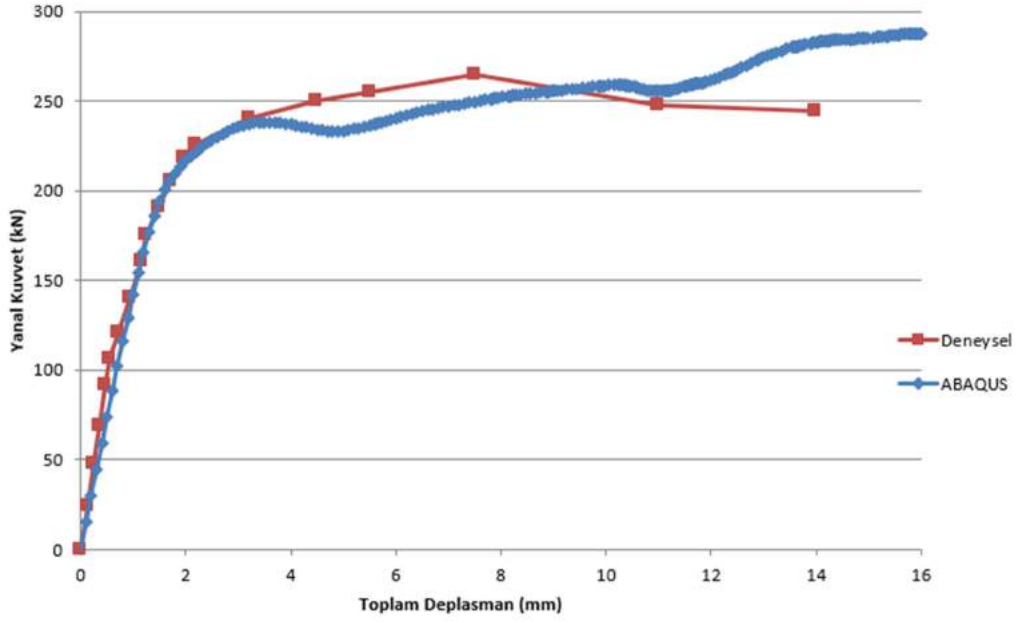


Şekil 4.20: Zürih deney numunesinin sonlu elemanlara ayrılmış durumu (Şerbetçigil, 2021)

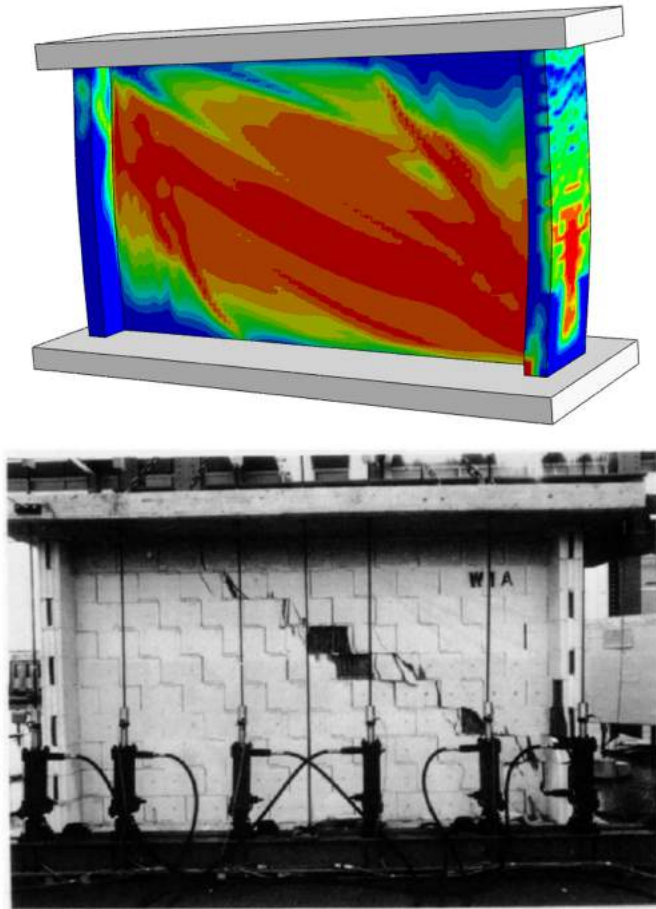
Numune tabandan ankastre olarak mesnetlenmiştir. Üst başlıktan 0.6 MPa düşey yükleme uygulanmıştır. Yatayda üst noktadan itme uygulanarak, tabanda meydana gelen toplam kesme kuvveti hesap edilmiştir. Numune üstünde bulunan bir noktanın yatay deplasmanına karşılık toplam taban kesme kuvveti grafiği elde edilmiştir.

Malzeme modeli olarak ilk aşamada doğrusal olmayan bir gerilme-birim deformasyon eğrisi tanımlanmıştır. İlk analizden sonra elde edilen toplam taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı eğrisi, deneysel çalışma ile karşılaştırılarak malzeme modeli modifiye edilmiştir.

Şekil 4.21’de deneysel ve analitik yatay kuvvet-tepe deplasmanı eğrileri verilmiştir. Şekil 4.22’de ise analitik çözüm sonucu elde edilen çekme hasarı dağılımı ve Zürih deneyi sonunda numunede tespit edilen hasarı gösteren resim karşılaştırılmıştır.

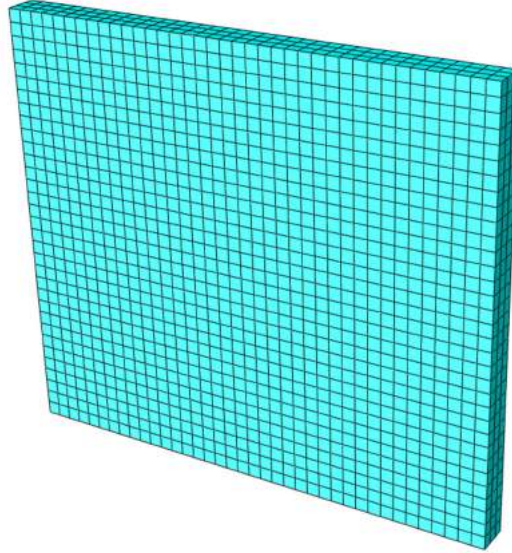


Şekil 4.20: Deneysel ve analitik yatay kuvvet-tepe deplasmanı eğrileri karşılaştırılması (Şerbetçigil, 2021)



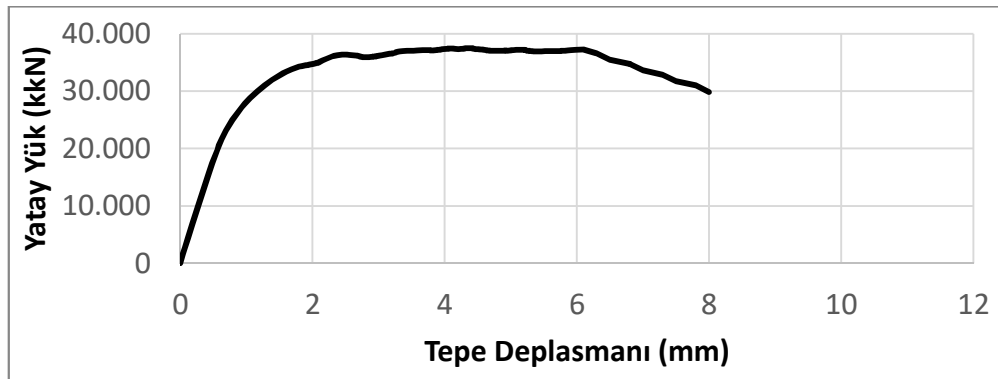
Şekil 4.22: ABAQUS analiz sonucunda elde edilen çekme hasar dağılımı ve Zürich testi duvar numunesi deney sonu görüntüsü (Şerbetçigil, 2021)

Bu çalışma kapsamında deneysel çalışmada denenen tuğla duvar numunesi, ABAQUS ortamında modellenmiştir (Şekil 4.23). 3 boyutlu model, duvarda meydana gelen çatlamları ve doğrusal olmayan malzeme özelliklerine göre analizler gerçekleştirilmiştir.



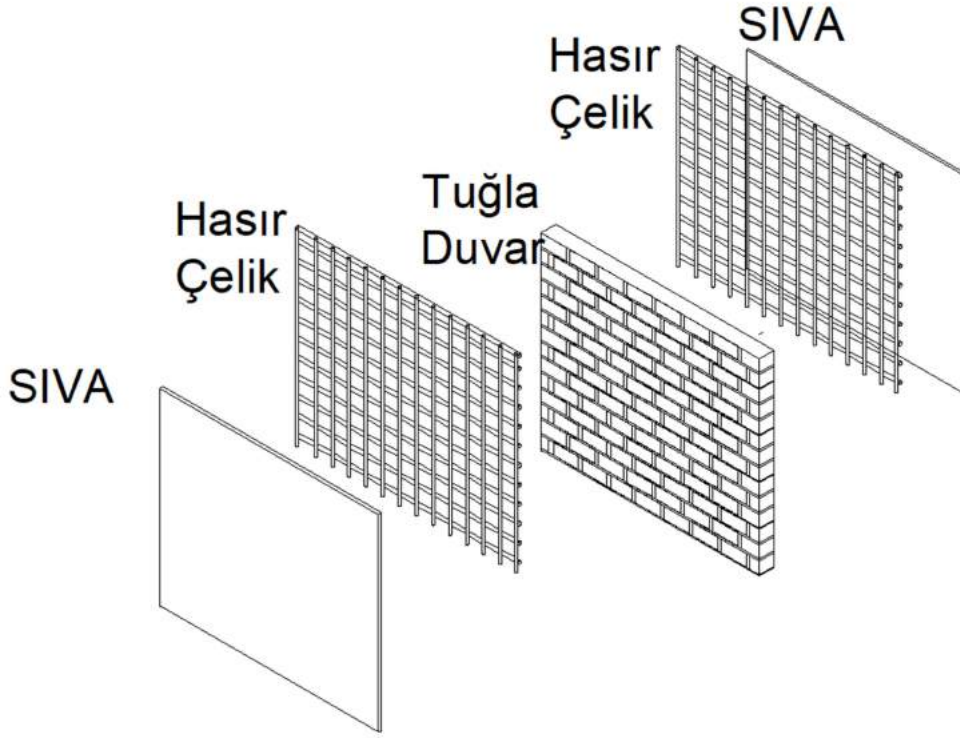
Şekil 4.23: Deneysel numunesine özdeş tuğla duvar numunesinin sonlu elemanlar modeli (Şerbetçigil, 2021)

Numune üst yüzeyine 0.3 MPa basınç yükü uygulanmıştır. Üst noktadan yatayda itme uygulanmıştır. Numune tabanı ankastre olarak tanımlanmış ve tabanda meydana gelen toplam kesme kuvveti hesaplanmıştır. Numuneye ait yatay yük-tepe deplasmanı eğrisi ve her adımda modelde meydana gelen çekme hasarı dağılımı elde edilmiştir. Şekil 4.24'de 0.3 MPa düşey gerilme altında tuğla numunesinde meydana gelen yük-tepe deplasmanı eğrisi verilmiştir.

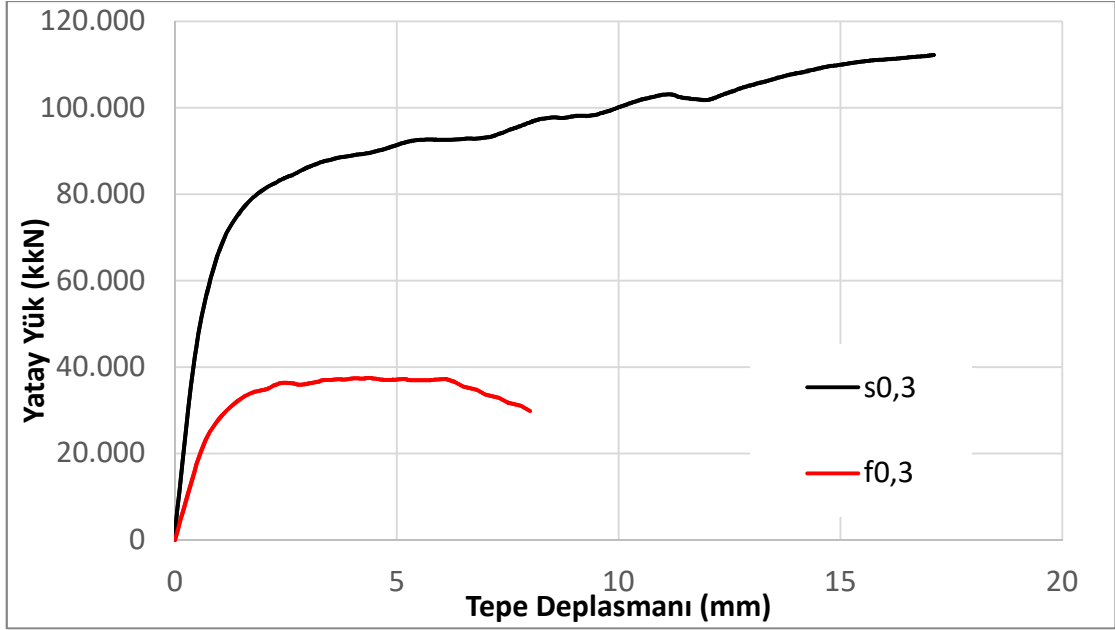


Şekil 4.24: 0.3 MPa düşey gerilme altında tuğla duvar numunesinde meydana gelen Yük-tepe deplasmanı eğrisi (Numune f0.3)

İkinci sonlu elemanlar modelinde, tuğla duvar numunesinin her iki yüzeyine 5cm aralıklarla 2mm çapında hasır çelik yerleştirilmiştir (Şekil 4.25). Hasır çelik üstüne 1,5 cm kalınlığında sıva uygulanmıştır. Sıva ve tuğla duvar arasında aderans olduğu kabul edilmiştir. Düşey ve yatay yüklem prosedürü bir önceki modelle aynı şekilde uygulanmıştır. Şekil 4.26.'de her iki modelden elde edilen toplam yatay yük-tepe deplasmanı eğrileri verilmiştir. Analitik modellerin adlandırılmasında “s” ifadesi güçlendirilmiş duvar modelini, “f” ifadesi güçlendirilmemiş numuneyi ifade etmektedir. “0,3” ifadesi ise numuneye uygulanan düşey basınç gerilmesinin Mpa olarak değeridir (Tablo 4.1).



Şekil 4.25: Güçlendirilmiş duvar numunesi modellenmesi

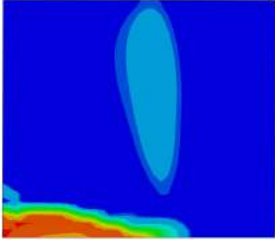
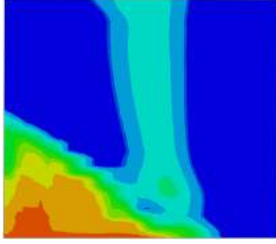
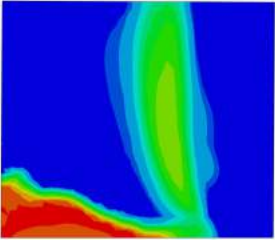
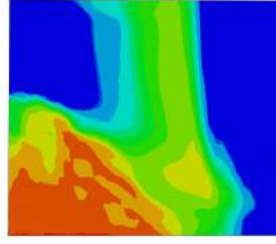
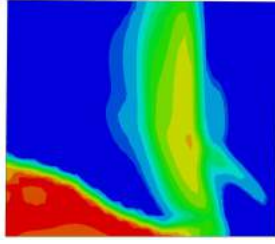
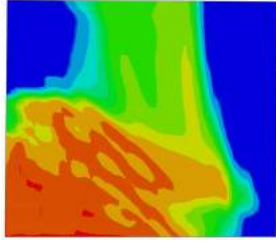
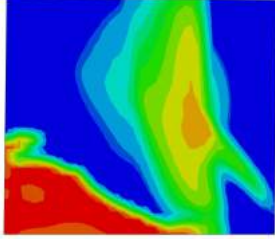
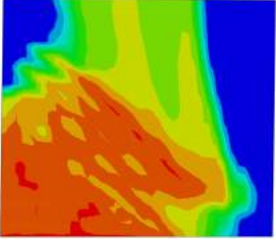
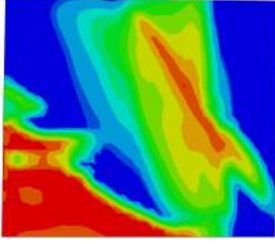
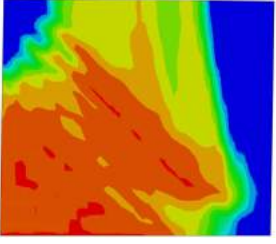


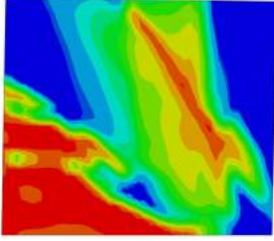
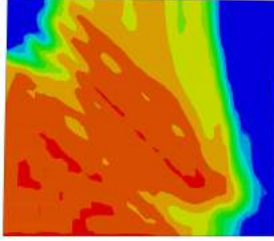
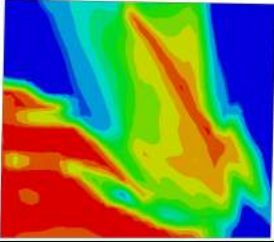
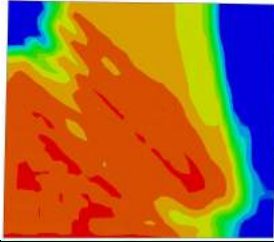
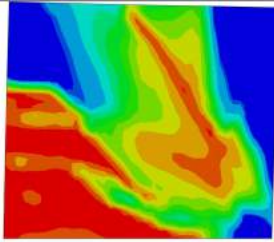
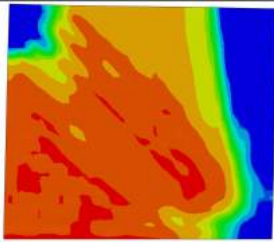
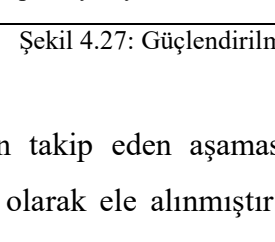
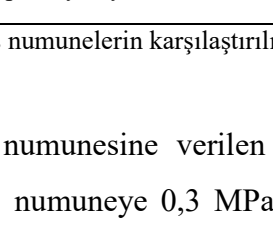
Şekil 4.26: Güçlendirilmiş (Numune s0.3) ve güçlendirilmemiş (Numune f0.3) tuğla duvar numunelerinden elde edilen toplam yatay yük-tepe deplasmanı eğrileri

Numune adı	Durumu	Düşey basınç gerilmesi
f0,3	Güçlendirilmemiş	0,3 MPa
f0,6	Güçlendirilmemiş	0,6 MPa
f1,2	Güçlendirilmemiş	1,2 MPa
f1,8	Güçlendirilmemiş	1,8 MPa
f2,1	Güçlendirilmemiş	2,1 MPa
s0,3	Güçlendirilmiş	0,3 MPa
s0,6	Güçlendirilmiş	0,6 MPa
s1,2	Güçlendirilmiş	1,2 MPa
s1,8	Güçlendirilmiş	1,8 MPa
s2,1	Güçlendirilmiş	2,1 MPa

Tablo 4.1 Analitik modellerin isimlendirilmesi

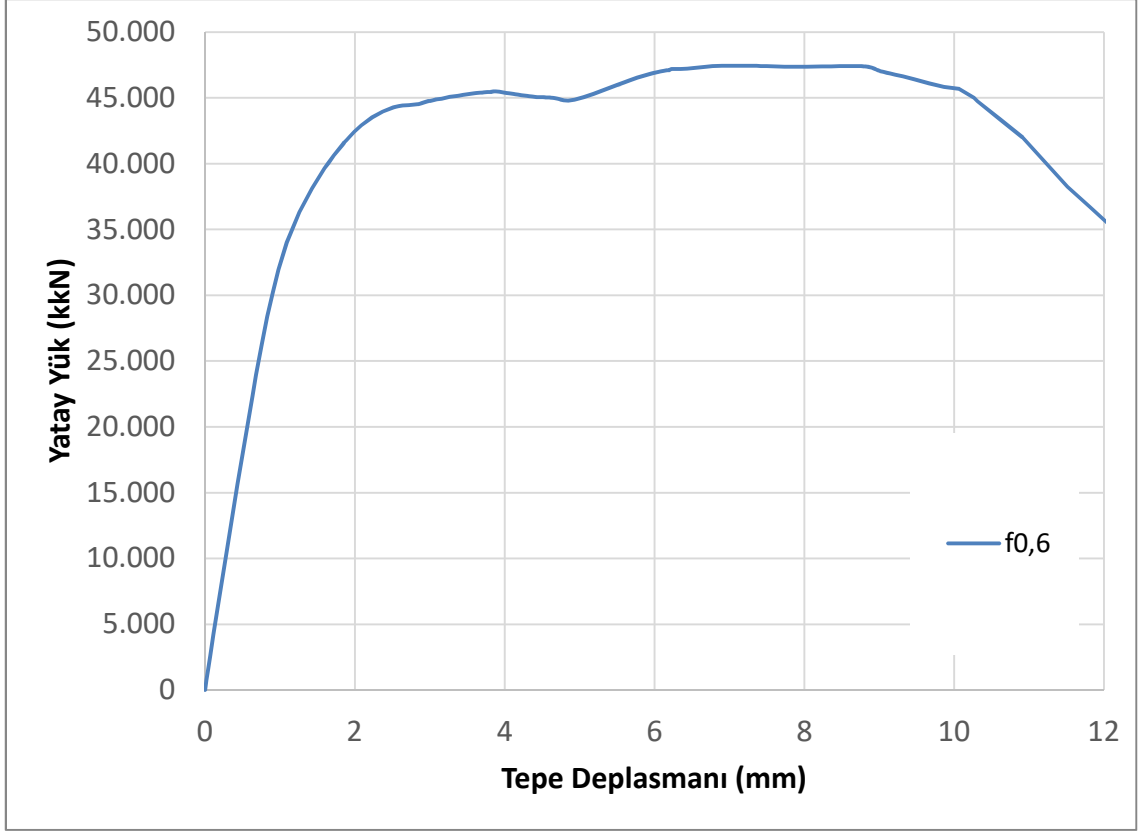
Şekil 4.27. 'de ise güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş tuğla duvar numunelerinde gözlenen çekme hasarı dağılımları karşılaştırılmıştır.

Güçlendirilmemiş Numune	Güçlendirilmiş Numune
	
Yatay Deplasman 2mm Toplam yatay Yük 34.75 kN	Yatay Deplasman 2mm Toplam yatay Yük 80.07 kN
	
Yatay Deplasman 4 mm Toplam yatay Yük 37.29 kN	Yatay Deplasman 4mm Toplam yatay Yük 88.7696 kN
	
Yatay Deplasman 6 mm Toplam yatay Yük 37.18 kN	Yatay Deplasman 6mm Toplam yatay Yük 92.6023 kN
	
Yatay Deplasman 8 mm Toplam yatay Yük 37.95 kN	Yatay Deplasman 8mm Toplam yatay Yük 96.5364 kN
	

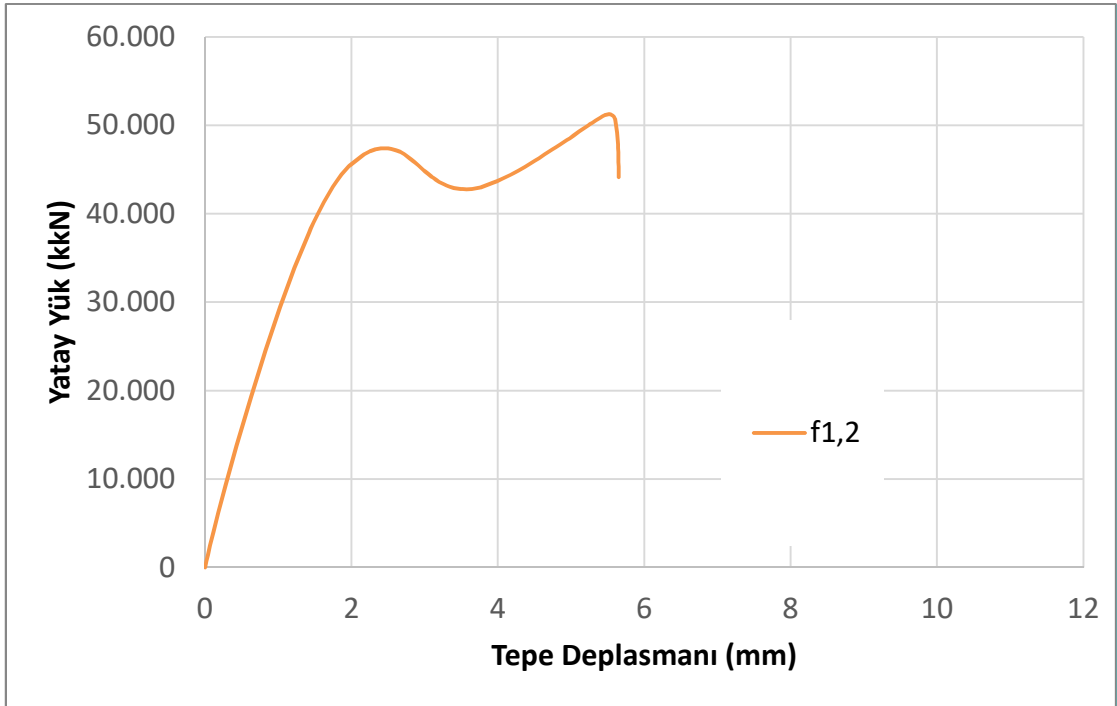
Yatay Deplasman 10 mm Toplam yatay Yük 36.92 kN	Yatay Deplasman 10mm Toplam yatay Yük 100.06 kN
	
Yatay Deplasman 12 mm Toplam yatay Yük 39.07 kN	Yatay Deplasman 12mm Toplam yatay Yük 101.756 kN
	
Yatay Deplasman 14 mm Toplam yatay Yük 40.62 kN	Yatay Deplasman 14mm Toplam yatay Yük 107.944 kN
	
Yatay Deplasman 16 mm Toplam yatay Yük 40.83 kN	Yatay Deplasman 16mm Toplam yatay Yük 111.237 kN
	

Şekil 4.27: Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş numunelerin karşılaştırılması

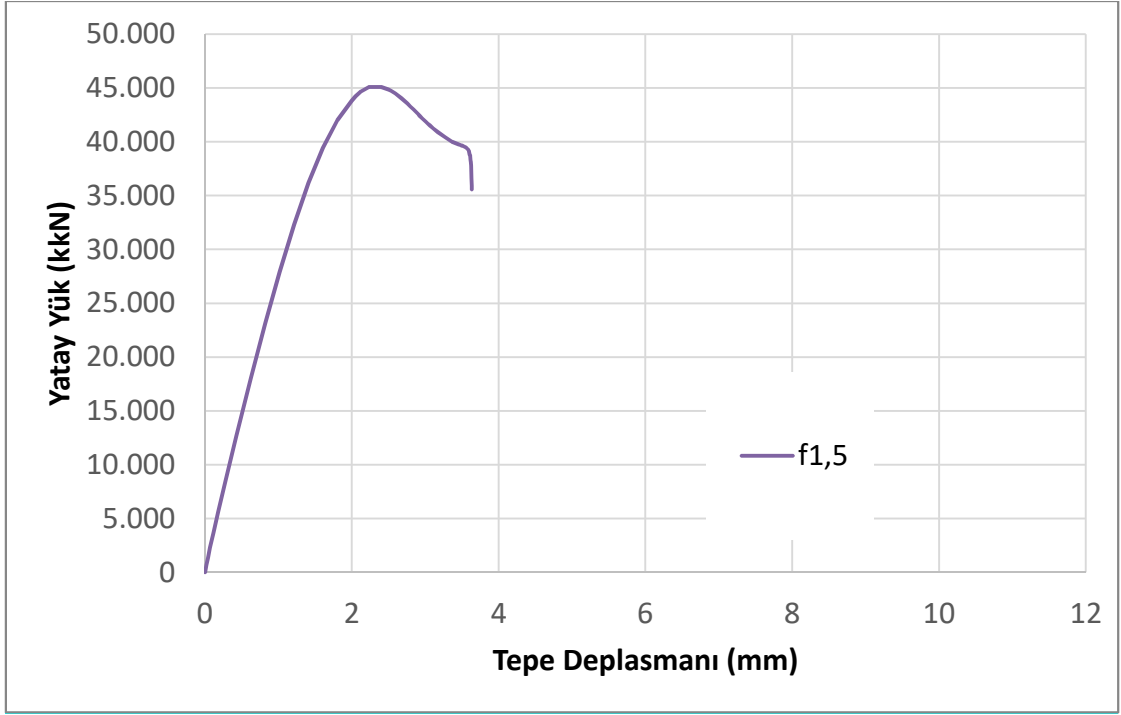
Çalışmanın takip eden aşamasında tuğla duvar numunesine verilen düşey gerilme parametre olarak ele alınmıştır. Güçlendirilmemiş numuneye 0,3 MPa düşey gerilme (Numune f0.3) haricinde sırasıyla 0,6 MPa (Numune f0.6), 1,2 MPa (Numune f1.2), 1,5MPa (Numune f1.5), 1,8 MPa (Numune f1.8) ve 2,1 MPa (Numune f2.1) düşey eksenel yükler verilmiştir. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analiz sonucu elde edilen yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri Şekil 4.28-4.32 'da verilmiştir.



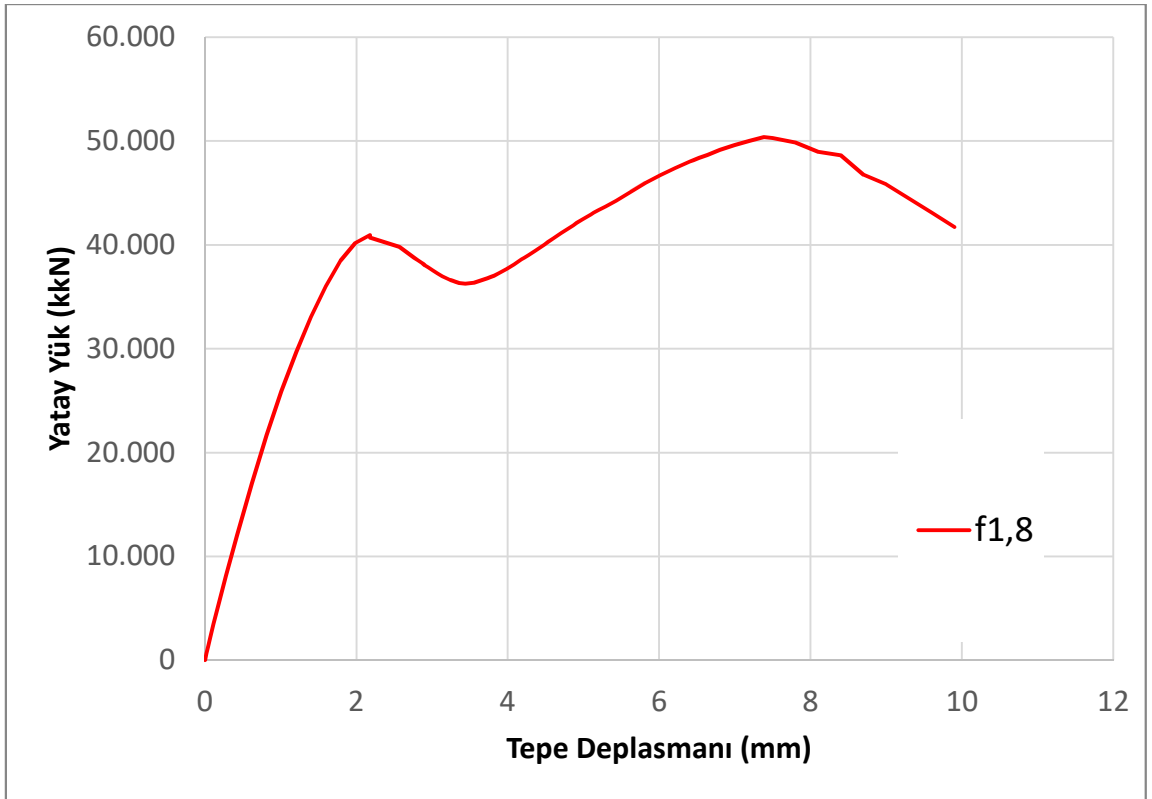
Şekil 4.28: Numune f0.6 için yatay yük tepe deplasman grafiği



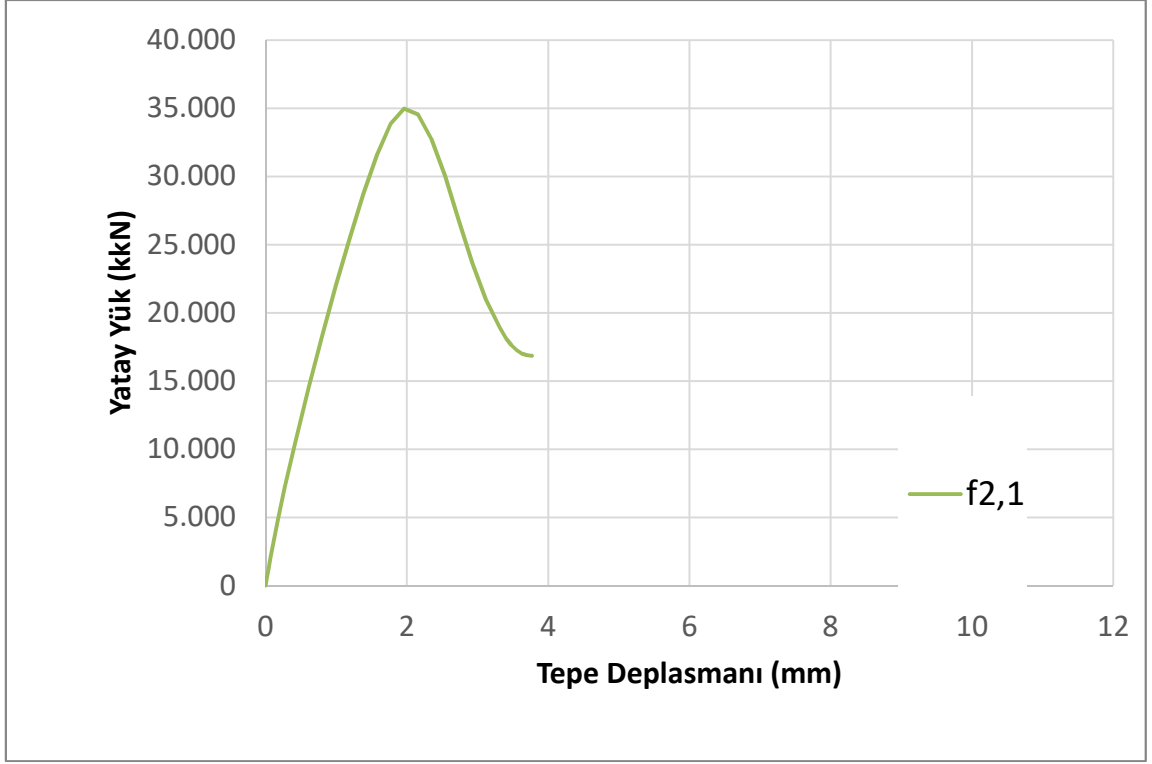
Şekil 4.29: Numune f1.2 için yatay yük tepe deplasman grafiği



Şekil 4.30: Numune f1.5 için yatay yük tepe deplasman grafiği

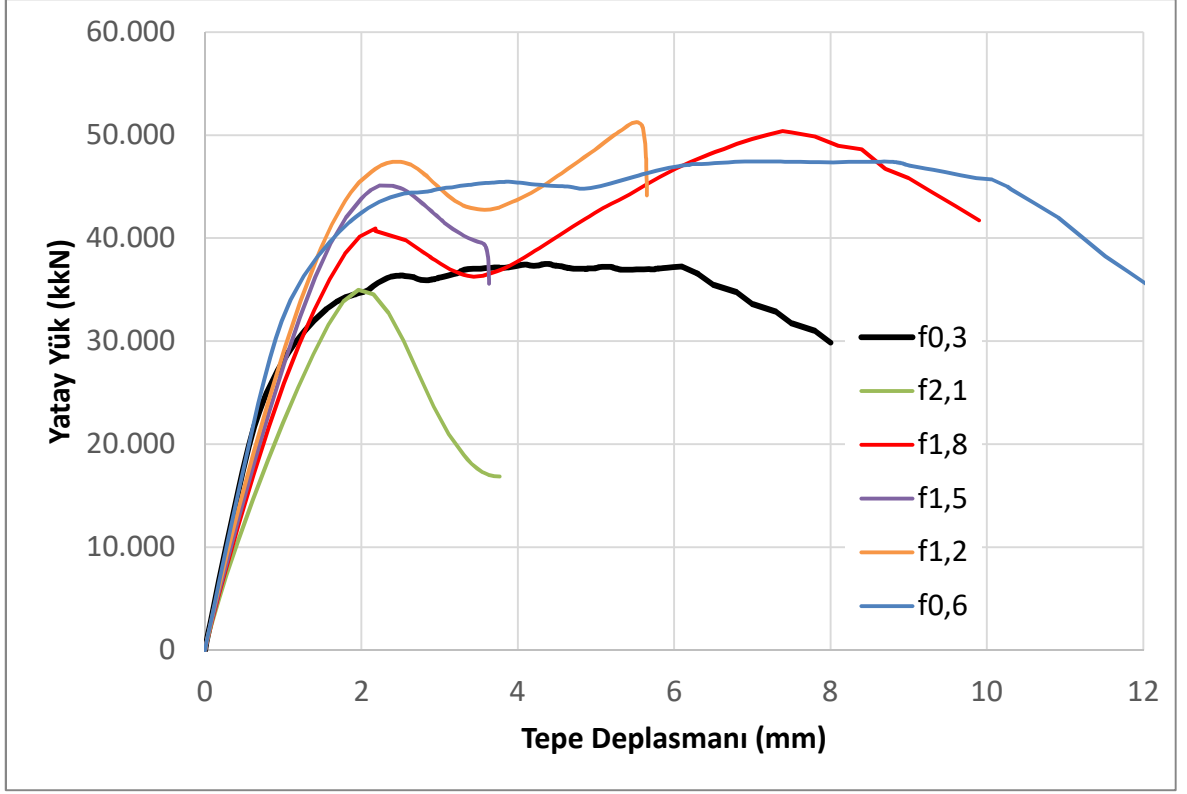


Şekil 4.31: Numune f1.8 için yatay yük tepe deplasman grafiği



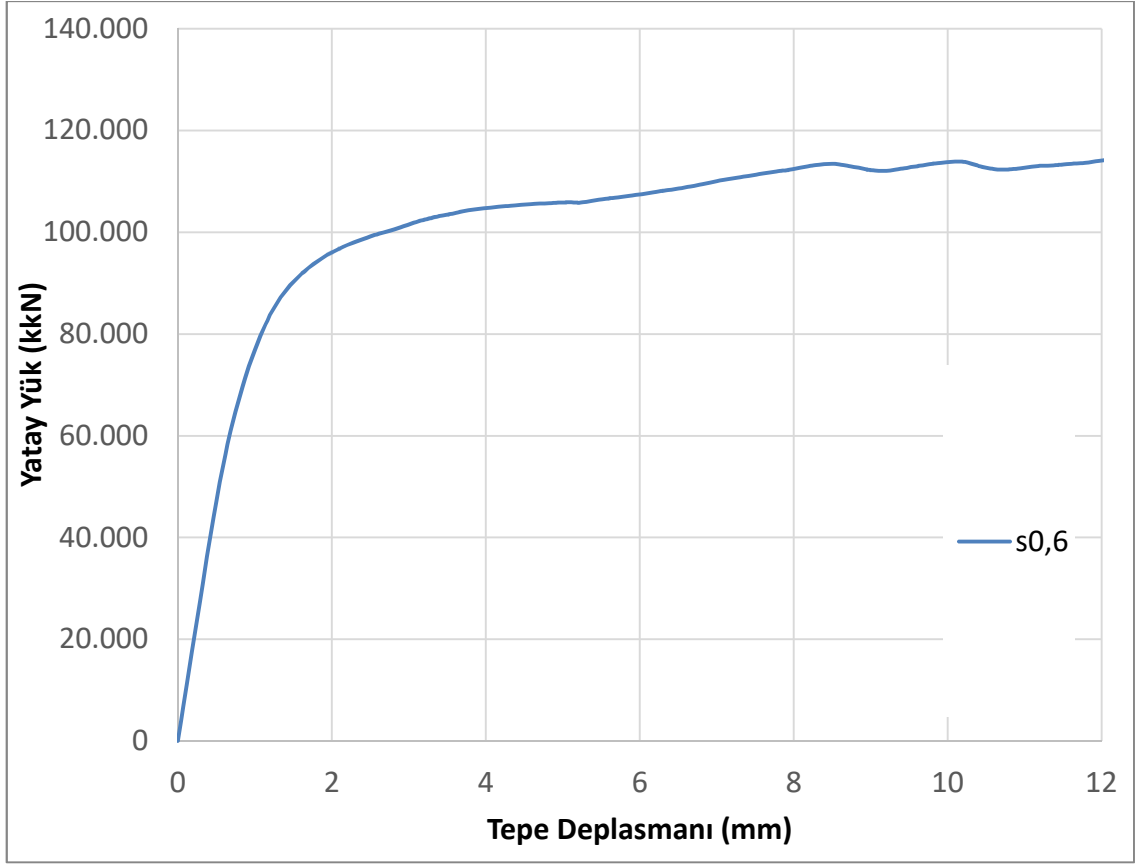
Şekil 4.32: Numune f2.1 için yatay yük tepe deplasman grafiği

Güçlendirilmemiş numunelerin yatay yük-tepe deplasman eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.33' de yapılmıştır.

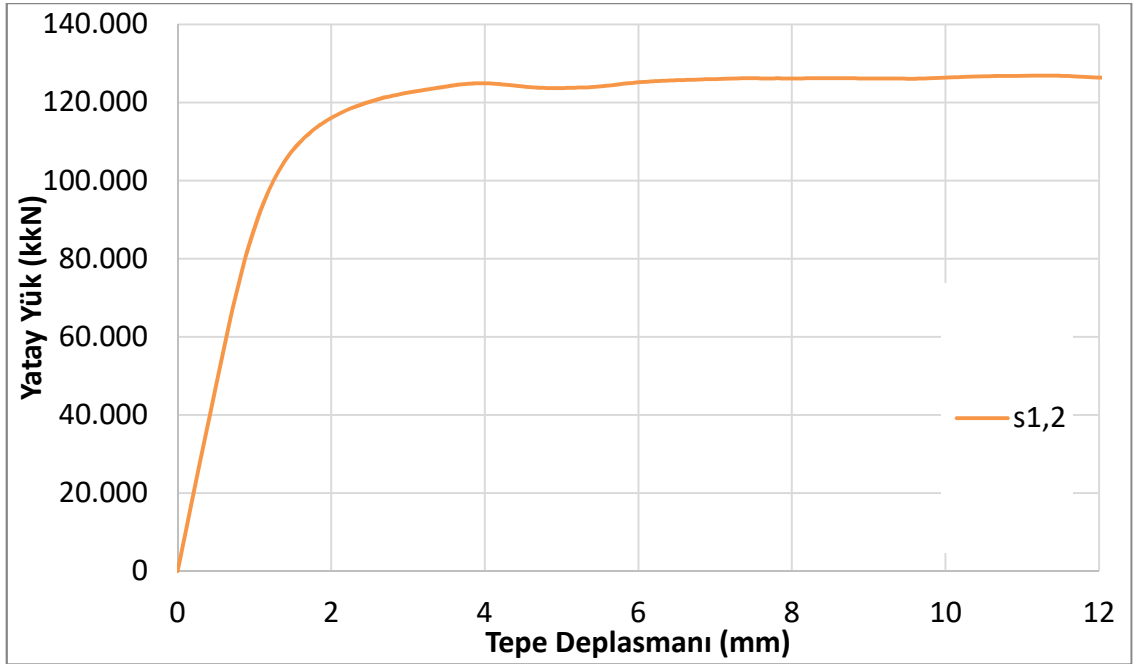


Şekil 4.33: Güçlendirilmemiş numuneler için yatay yük tepe deplasman grafiği karşılaştırması

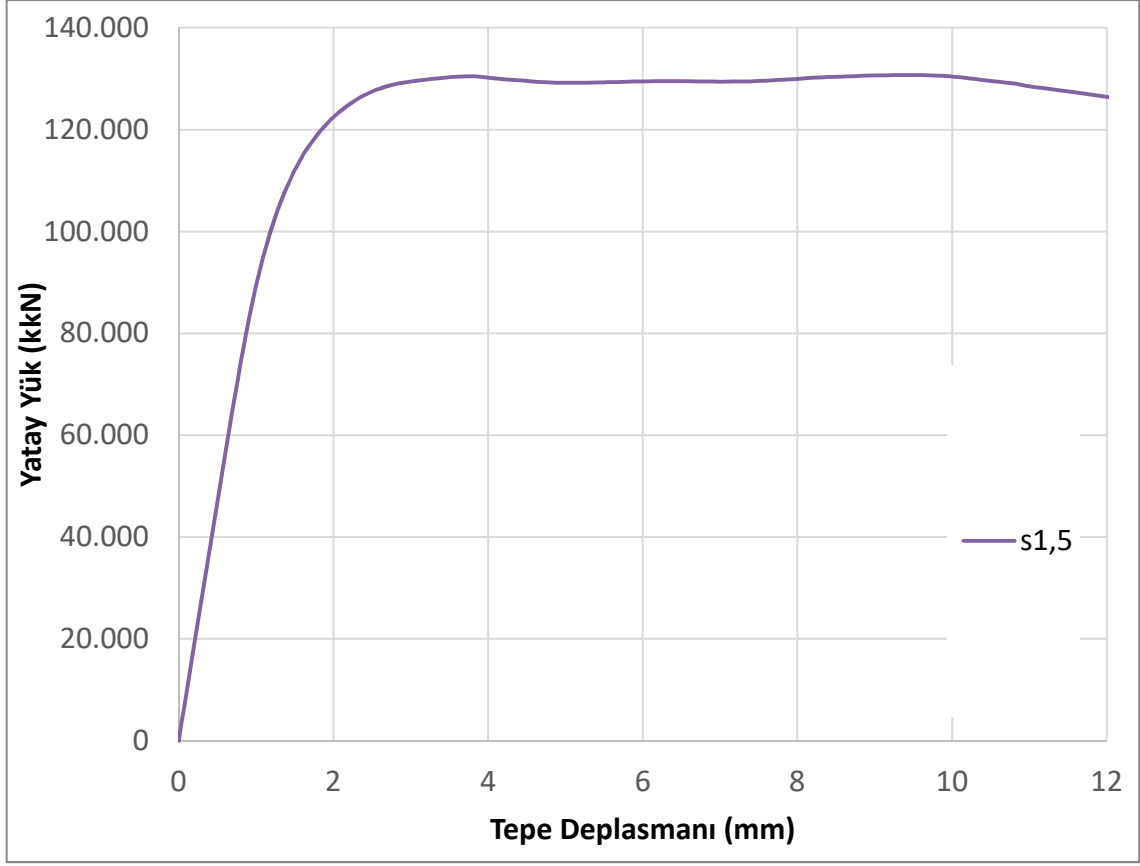
Güçlendirilmiş numunelerde de düşey gerilme aynı oranlarda artırılarak analizler tekrarlanmıştır. Şekil 4.34-4.38 arasında Numune s0.6, Numune s1.2, Numune s1.5, Numune s1.8 ve Numune s2.1 için yatay yük tepe deplasman grafikleri verilmiştir.



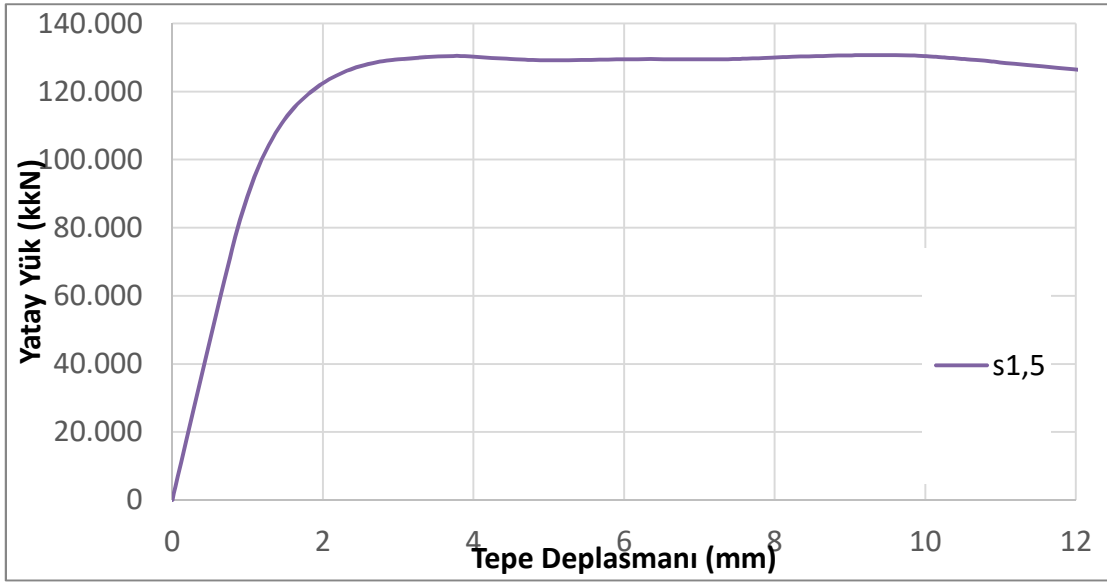
Şekil 4.34: Numune s0.6 için yatay yük tepe deplasman grafiği



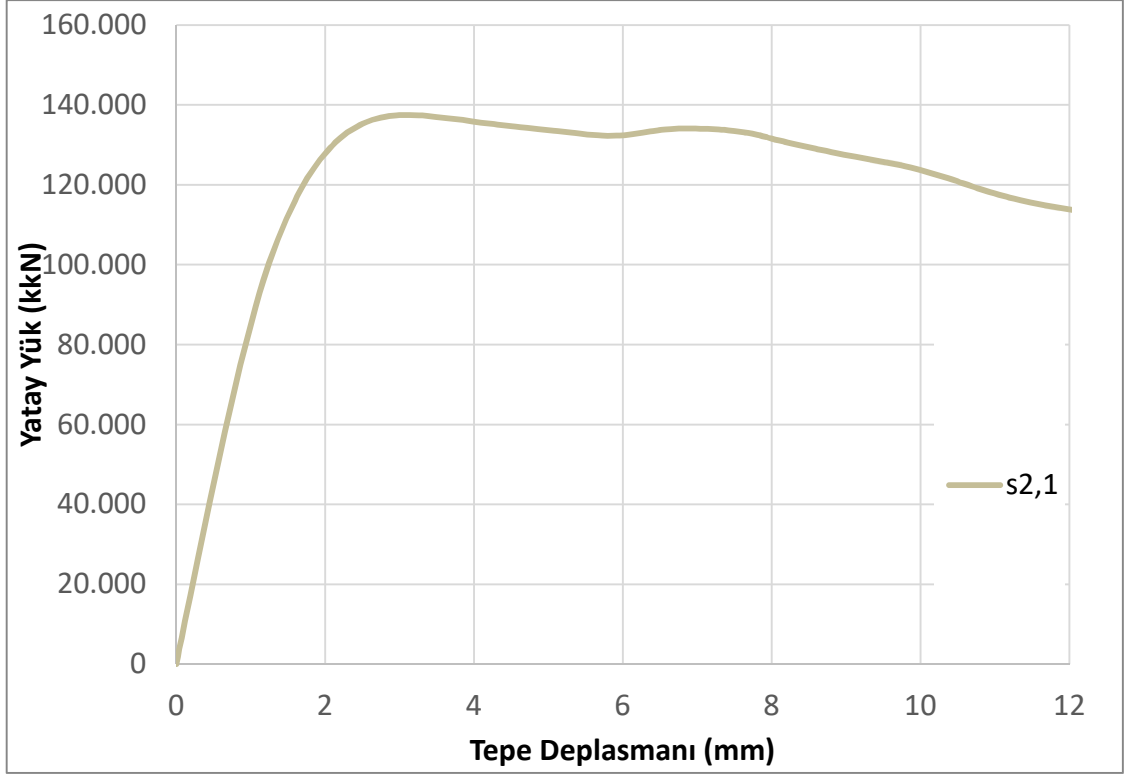
Şekil 4.35: Numune s1.2 için yatay yük tepe deplasman grafiği



Şekil 4.36: Numune s1.5 için yatay yük tepe deplasman grafiği

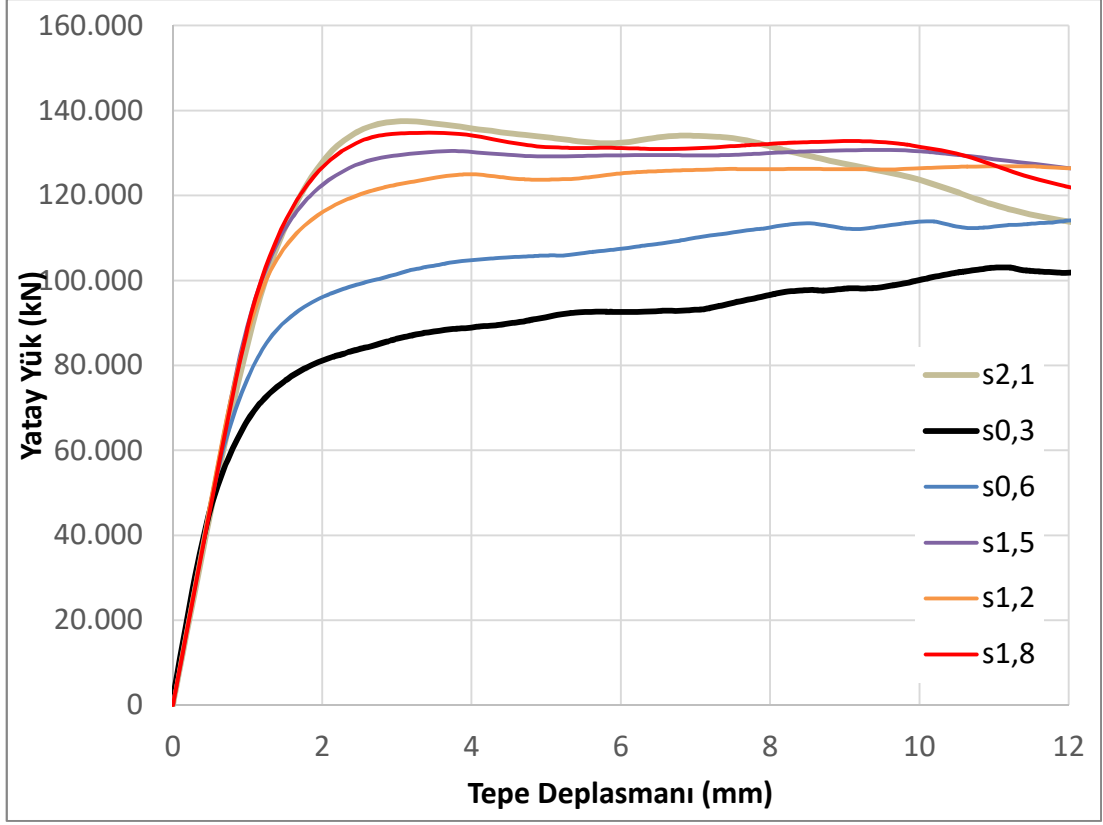


Şekil 4.37: Numune s1.8 için yatay yük tepe deplasman grafiği



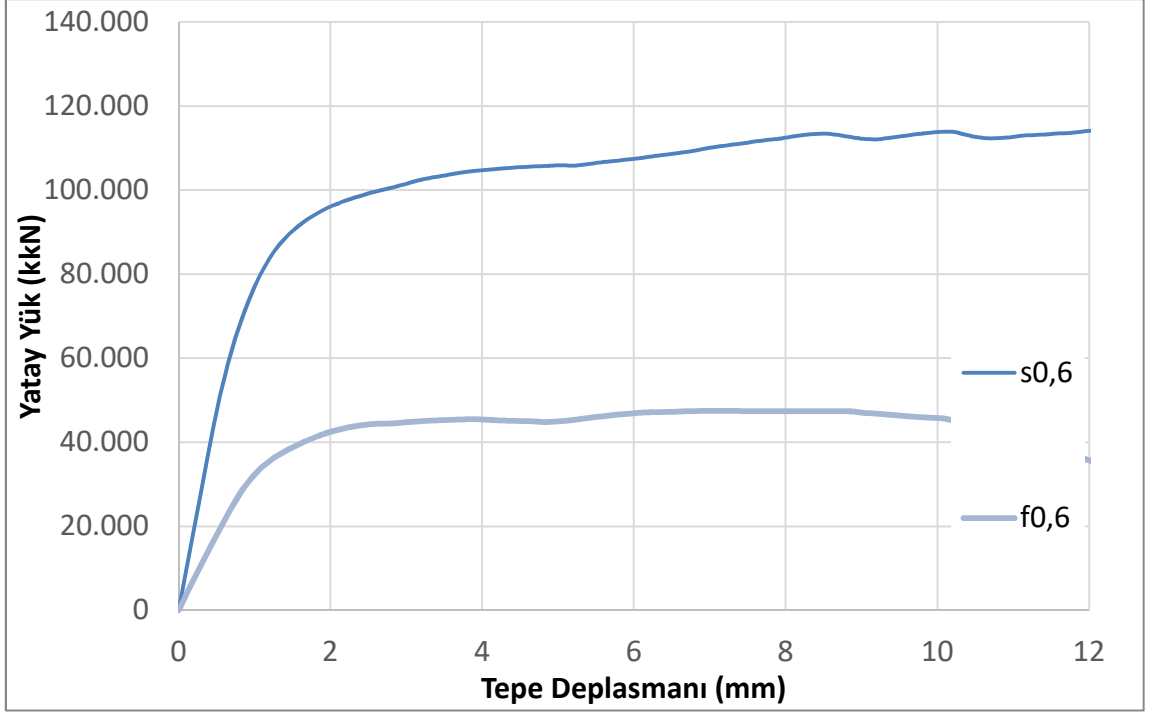
Şekil 4.38: Numune s2.1 için yatay yük tepe deplasman grafiği

Güçlendirilmiş numunelerin yatay yük-tepe deplasman eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.37' de yapılmıştır.

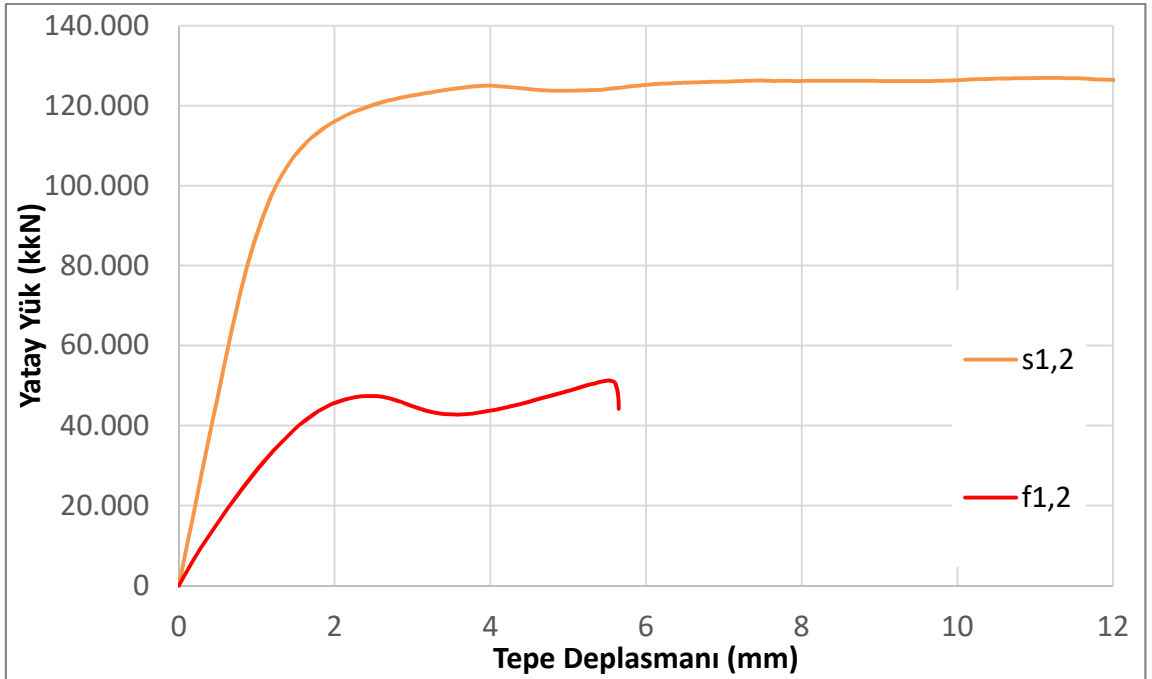


Şekil 4.39: Güçlendirilmiş numuneler için yatay yük tepe deplasman grafiği karşılaştırması

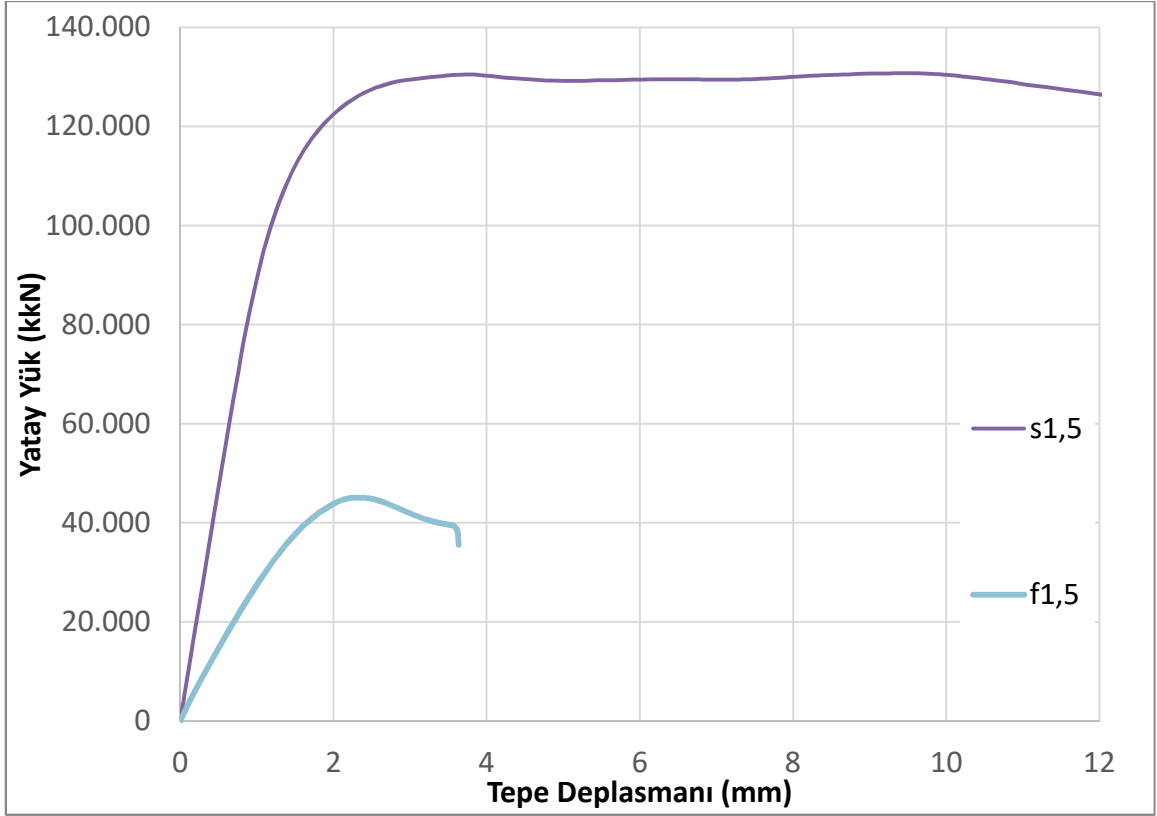
Güçlendirmenin etkisinin izlenebilmesi için aynı düşey gerilme seviyesinde güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş numunelerin yatay yük-tepe deplasman grafikleri Şekil 4.40-4.44' de verilmiştir.



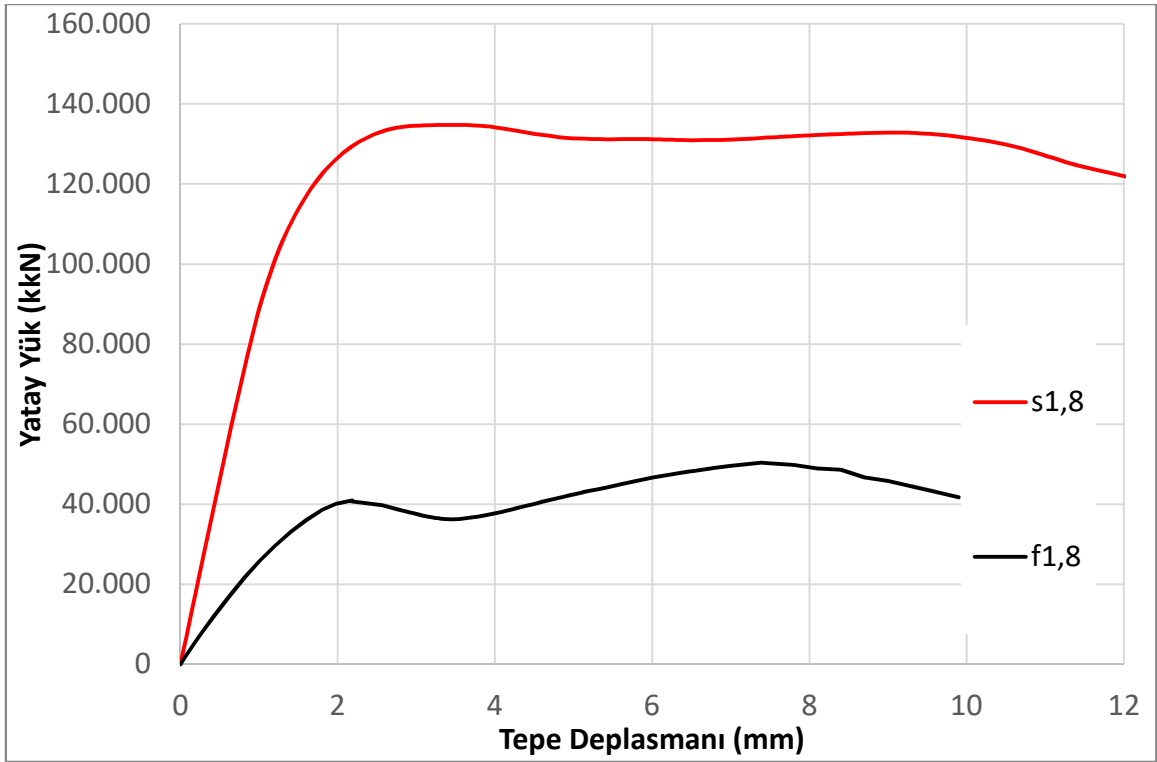
Şekil 4.40: Numune f0.6 ve Numune s0.6 için yatay yük tepe deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



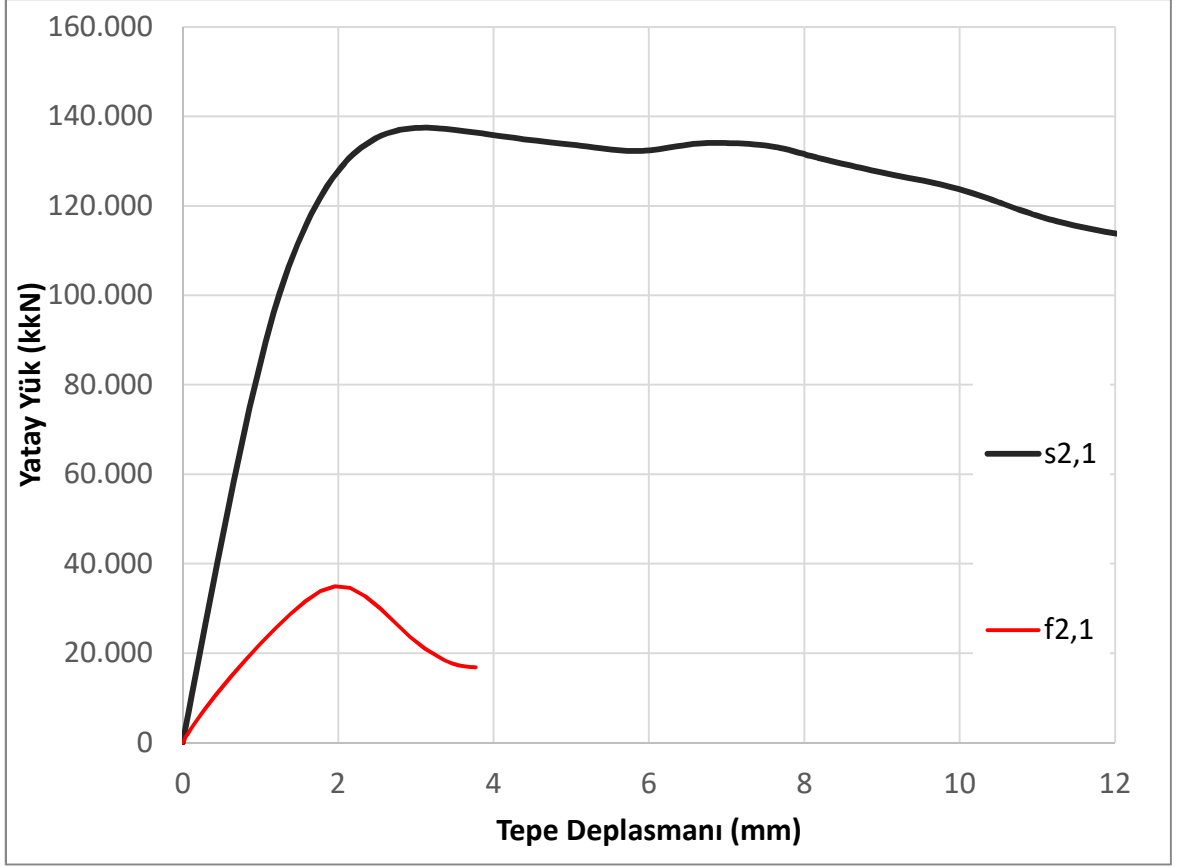
Şekil 4.41: Numune f1.2 ve Numune s1.2 için yatay yük tepe deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.42: Numune f1.5 ve Numune s1.5 için yatay yük tepe deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

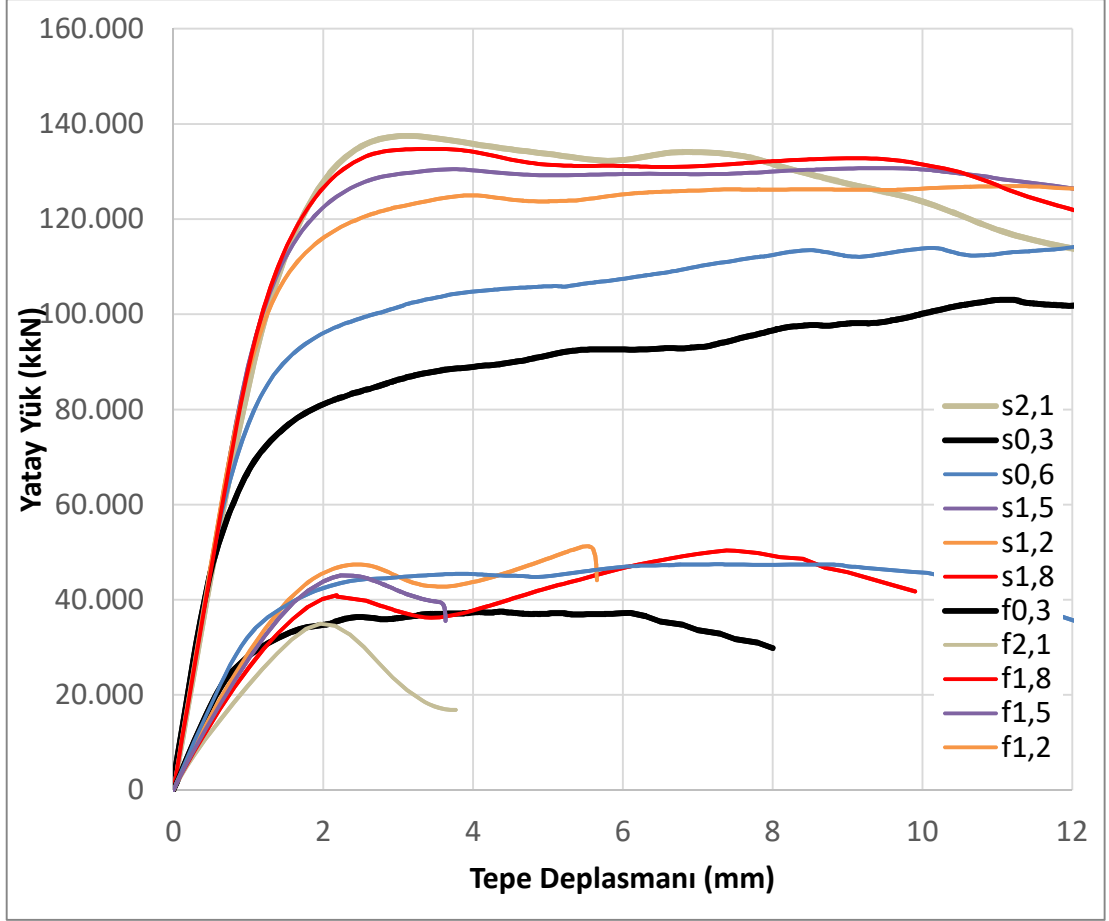


Şekil 4.43: Numune f1.8 ve Numune s1.8 için yatay yük tepe deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.44: Numune f2.1 ve Numune s2.1 için yatay yük tepe deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Analizi yapılan tüm modellerden elde edilen yatay yük-tepe deplasman eğrileri Şekil 4.45’ de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.45: Analizi yapılan tüm modellerden elde edilen yatay yük-tepe deplasman eğrileri.

Doğrusal olmayan yatay yük- tepe deplasmanı eğrilerinden, numunelerin çatlama sonucu fazla deformasyon yapmaya başladığı ve (doğrusala yakın davranıştan uzaklaştığı) ve taşıma kapasitesinin kayb olduğu noktalar belirlenmiştir. Numunenin taşıyabildiği maksimum yatay yükten %20 den fazla düşüş olduğu nokta kapasitenin tamamlandığı nokta olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen yük ve deplasman değerleri Tablo 4.2 de verilmiştir.

Numune adı	Doğrusala yakın davranıştan uzaklaştığı		Kapasitenin tamamlandığı	
	Yük	Deplasman (mm)	Yük	Deplasman (mm)
f0,3	29975	1,16	33600	7
f0,6	36310	1,26	42000	10,9
f1,2	39987	1,54	46900	5,65
f1,5	36204	1,41	40400	3,27
f1,8	29690	1,20	36700	3,23
f2,1	28700	1,38	30000	2,54
s0,3	89781	4,44	112227	17,1
s0,6	93026	1,76	116283	13,479
s1,2	101525	1,55	126906	17,86
s1,5	104580	1,28	121262	20,13
s1,8	121283	1,75	120725	20,27
s2,1	123731	1,85	95469	20,6

Tablo 4.2 Analitik modellerin davranış özelliklerinin karşılaştırılması

## 5. SONUÇLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bu çalışmada yığma duvar numuneleri üzerinde depremi benzeştiren yatay yükler altında duvar kesitinde meydana gelen kesme gerilmeleri sonucunda oluşan hasar ve dayanım kaybını azaltmaya yönelik uygulanan bir güçlendirme metodu ele alınmıştır. Bu metotta duvarın her iki yüzeyi hasır çelikle kaplandıktan sonra duvar yüzeyleri sıva ile güçlendirilmektedir. Bu metot uygulamada sıkça kullanılan klasik metotlardan birisidir. Tez çalışması kapsamında bu metodun sağladığı dayanım kazancı araştırılmıştır.

Çalışmada gerçekleştirilecek doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi için geliştirilen malzeme modeli literatürde bulunan ve güvenilir bir yığma deneyinin sonuçları ile doğrulanmıştır. Bu amaçla Züriç deneyi olarak adlandırılan deneydeki duvar numunesi modellenmiş ve bu çalışmada önerilen duvar gerilme-birim deformasyon eğrisi duvar malzemesine atanmıştır. Deney sonucu verilen yatay yük-tepe deplasmanı eğrisi ile, sonlu elemanlar modellemesi sonucu elde edilen eğrilerin uyum içinde olduğu görülmüştür.

Yatay yükleme maruz duvar parçalarının denenebilmesi için düşeyde mutlaka bir gerilme uygulanması gereklidir. İlk modelde 0,3MPa düşey gerilme uygulanmışken, diğer modellerde bu oran parametre olarak ele alınmış ve artırılmıştır. Yük deplasman eğrilerinden izlendiği kadarıyla düşey gerilmenin 0,3MPa dan 0,6 MPa ve 1,2MPa artırılması yatay yük taşıma kapasitesini artırırken, daha fazla düşey yük uygulanması ters taşıma kapasitesini düşürmüştür.

Güçlendirilmiş numunelerde ise uygulanan aksenal yükün artması her durumda taşıma kapasitesini artırmıştır. Uygulanan güçlendirmenin etkinliği bakımından ise, yük taşıma kapasitesinde 2.4 ile 3.9 oranları arasında artış söz konusudur. Uygulanan güçlendirme taşıma kapasitesinde artışa ek olarak numunenin sünekliğini de artırmıştır.

## KAYNAKLAR

- Aköz, H., 2008,** Deprem Etkisi Altındaki Yığma yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Aldemir, A., 2010,** A Simple Seismic Performance Assessment Technique For Unreinforced Brick Masonry Structures, *Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Aldemir, A., Erberik, M.A. ve Sucuoğlu, H. 2011,** Tuğla Yığma Duvarlar İçin Performansa Dayalı Bir Değerlendirme Yöntemi 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Ankara.*
- Arıcan, Y., 2010,** Yığma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Aşık, F. M., 2018,** Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi, *Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*
- Aşıkoğlu, A., 2018,** Numerical Investigation On The Effectiveness of Seismic Retrofitting of A Historical Masonry Mosque, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Atashafrazeh, M., Bingöl, A.F., Caf, M., 2015,** Tarihi Eserlerde Yığma Duvarların Geometrik Etkisine Göre Taşıma Kapasitesinin Araştırılması ve Düşey Donatılar Kullanılarak Güçlendirilmesi, 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Erzurum.*
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A.C., Sevim, B., 2007,** Analitik Model İyileştirmenin Yığma Binaların Deprem Davranışına Etkisinin Belirlenmesi, *Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli.*
- Bayülke, N., 1980,** Yığma Yapılar, *Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, p.*
- Bayülke, N., 2011,** *Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Ankara.*
- Basilio, I., 2007,** Strengthening of arched masonry structures with composite materials, *Ph.D. Thesis, Portugal.*
- Capozucca, R., 2008,** Historic Multiple-Leaf Masonry Walls Models under Compression and Cyclic Shear Loads, *In Sixth International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, June 2008, (pp. 297-302).*
- Celep, Z., Kumbasar, N., 2004.** Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.

**Chamaky, R.Y., 2014,** Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Çırak, İ.F., 2011,** Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler, *SDU International Technologic Science Vol.3, No.2, February 2011, pp. 55-60.*

**Dabanlı, Ö., 2008,** Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Doğangün, A., Ural, A., Livaoğlu, R., 2008,** Seismic Performance Of Masonry Buildings During Recent Earthquakes In Turkey, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China.*

**Er Akan, A., 2010,** Tarihi Ahşap Sütunlu Camilerin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi, *SDU International Technologic Science Vol.2, No.1, February 2010, pp. 41-54.*

**Ersubaşı, F., 2008,** Yığma Yapıların Deprem Davranışının Sarsma Masasında Dinamik Olarak İncelenmesi ve Farklı Güçlendirme Seçeneklerinin Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Ertekin, B., 2020,** Mevcut Bir Yığma Yapının Sismik Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Yöntemi, *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*

**Gedik, Y.H., 2008,** Analysis, repair and strengthening of historical masonry structures; case study Mehmet Aga Mosque, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Güneş, E. R., 2020,** Yığma Yapıların Güçlendirilmesinde Plastik Kompozit Donatı Kullanımı, *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Jaihoon, E. H., 2019,** TBDY 2018'e Göre Tarihi Yığma Yapıların Analizi ve Bir Örnek Sille Ak Camii, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*

**Kayırga, O. M., 2017,** Yığma Yapıların Deprem Davranışının Analitik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Kıpçak, F., 2018,** Harman Tuğlası ile İnşa Edilmiş Yan Duvarı Boşluklu Yığma Yapıların Düzlem Dışı Davranışlarının Eğilme Masası Yardımı ile Belirlenmesi, *Van Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Koç, V., 2016,** Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2016:2, 1, 36-57*

**Korkmaz, S. Z., 2007,** Kırsal konutların deprem güvenliğinin artırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Kömürcü, S., Gedikli, A., 2017,** Yığma Duvar Tasarımında Mikro ve Makro Modelleme Tekniklerinin İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**Küçükbaşak, Ö. C., 2019,** 2007 Yılı Deprem Yönetmeliğine Göre Yığma Yapıların Mühendislik Özelliklerinin Yaklaşık Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Lin, Y. W., 2013,** Strengthening of Unreinforced Masonry Walls using ECC Shotcrete, Ph.D. Thesis, The University of Auckland.

**Lourenco, P. B., 2002,** Computations on historic masonry structures, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4(3), 301-319.

**Minaie, E., 2009,** Behavior and Vulnerability of Reinforced Masonry Shear Walls, Ph.D Thesis, Drexel University.

**Mohammadi, M., 2019,** Betonarme-Yığma Karma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.*

**Orulkaya, H. A., 2019,** Mevcut Yığma Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesinde Püskürtme Beton Kullanımı, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Özsaraç, S., 2008,** Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

**Öztaş, V., 2009,** Yığma Yapıların Güçlendirilmesi ve Bir Yığma Yapı Örneğinde Güçlendirme Analizi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

**Saberi, M., 1998,** Deprem Yükleri Altında Yığma Binaların Davranışı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, İstanbul.

**S. Kömürcü And A. Gedikli,** "Yığma Duvar Tasarımında Mikro ve Makro Modelleme Tekniklerinin İncelenmesi," 2. *ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK MİMARLIK VE TASARIM KONGRESİ*, Kocaeli, Turkey, pp.167-168, 2017

**Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F., 2007.** Tarihi yapılarda taşıyıcı bileşenler, hasar biçimleri, onarım ve güçlendirme. *İstanbul Bülten*, 89, s. 10-21.

**Sucuoğlu, H., Erberik, A., 1997,** Performance Evaluation Of A Three-Storey Unreinforced Masonry Building During The 1992 Erzincan Earthquake, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 26, 319-336.

**Thomaz, E., Sousa, H., Roman, H., Morton, J., Silva, J.M., Correa, M., Pfeiffermann, O., Lourenco, P.B., Vicente, R.S., Sousa, R., 2014,** Defects in Masonry Walls. Guidance on Cracking: Identification, Prevention and Repair. CIB W023 – Wall Structures.

**Turan, E., 2020,** Assessment Of The 2018 Turkish Seismic Regulations Unreinforced Masonry Construction Specifications Through A Case Study Structure, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*

**Tülen, H., 2020**, Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerde Plastik Mafsallı Boyunların Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.

**TYDRYK, 2017**, Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu, T.C. Vakıflar Genel Müdürlüğü, İstanbul.

**Ural, A., Doğangün, A., 2007**, Mikro Modelleme Tekniği Kullanılarak Yığma Yapıların Deprem Performanslarının İncelenmesi, *Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli*.

**URL1.** Yığma Tuğla Duvarı,  
<https://www.insaatim.com/tugla-duvarlarin-kose-birlesimleri/>

**URL2.** Altı Taş Üstü Kerpiç Duvarlı Yığma Yapı,  
<https://www.konhaber.com/etiket-kerpi%C3%A7%20ev>

**URL3.** Duvar Harcı Örneği,  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Harc%C3%A7\\_\(mimar%C4%B1k\)#/media/Dosya:Three\\_old\\_bricks\\_held\\_together\\_with\\_mortar.jpg](https://tr.wikipedia.org/wiki/Harc%C3%A7_(mimar%C4%B1k)#/media/Dosya:Three_old_bricks_held_together_with_mortar.jpg)

**URL4.** Deprem etkisindeki yığma binada meydana gelen hasarlar,  
<https://www.sanalsantiye.com/tarihi-yapilarin-davranis-bicimleri>

**URL5.** Abaqus Programı Kullanım Alanları,  
<https://volkanatabey.com.tr/abaqus-programi-ve-kullanim-alanlari/>

**Uzdil, O., 2020**, Mevcut Tarihi Yığma Yapıların Sismik Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Yöntemi İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası, *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.

**Uzun, M., 2017**, Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi ve Bir Güçlendirme Örneği, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

**Wang, C., Sarhosis, V., Nikitas, N., 2018**, Strengthening/Retrofitting Techniques on Unreinforced Masonry Structure/Element Subjected to Seismic Loads: A Literature Review, *The Open Construction and Building Technology Journal*, 12(1).

**Yalnız, Z., 2020**, Anıtsal Bir Yığma Binanın Yapısal Analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

**Zhen Liu , Adam Crewe**, Effects of size and position of openings on in-plane capacity of unreinforced masonry walls, *Bulletin of Earthquake Engineering* volume 18, pages 4783–4812 (2020)