



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DONATILI VE DONATISIZ YIĞMA
YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Nisar Ahmad MOMINZAI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nisar Ahmad MOMINZAI tarafından hazırlanan “Donatılı ve Donatısız Yığma Yapıların Dinamik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 28/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Pınar USTA EVCI
(Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 241004004 onlu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Nisar Ahmad MOMINZAI

Tarih: 28.06.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DONATILI VE DONATISIZ YIĞMA YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Nisar Ahmad MOMINZAI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2024, 89 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Doç. Dr. Pınar USTA EVCİ**

Ülkemizin yapı stoğunun büyük bir kısmı deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde konumlanmıştır. Yıkıcı bir deprem olma ihtimali düşünüldüğünde, mevcut binaların deprem güvenliğinin tespiti önemle üzerinde durulması gereken konuların başında gelmektedir. Özellikle küçük yerleşim yerlerinde mevcut yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan yığma yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi önemlidir. Bundan dolayı 2019'de yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde bu konular detaylı olarak açıklanmıştır. Özellikle yönetmelikte yeni yapılacak yığma yapılar için alternatif yığma yapı türleri belirlenmiştir. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin 11. bölümünde yer alan Donatılı ve Donatısız yığma binaların dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için donatılı yığma yapı numunesi ve donatısız yığma yapı numunesi laboratuvar ortamında üretilmiş ve sarsma tablası üzerinde deneye tabi tutulmuştur. Ve böylece numunelerin doğal titreşim frekansları, periyotları, sönüm oranları ve rijitlikleri değerlendirilmiştir. İki numune deprem titreşimleri altında sarsma tablasında deneye tabi tutularak dinamik davranış yönüyle ve maliyet analizi yönüyle sonuçları karşılaştırılmıştır. Numunelere elastik bölgede kalacak şekilde yer hareketi uygulanmış ve numunelerde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Bu sebepten dolayı donatılı yığma yapı numunedeki yerleştirilen donatılar tam anlamıyla çalışmaya başlamadığından numuneler arasında çok büyük rijitlik farkı meydana gelmemiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarında donatılı yığma yapı numune (N-02), donatısız yığma yapı numuneye (N-01) göre frekans değerinde %11.15 oranında artış, doğal periyotta %10.31 azalış ve doğal sönüm oranında %10.25 azalış olduğu saptanmıştır. Numuneler arasında donatılı yığma yapı numunesinin %25.21 oranında rijitliği artırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yığma yapılar, deprem, TBDY-2018, sarsma tablası, Deneysel model analiz

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF REINFORCED AND UNREINFORCED MASONRY STRUCTURES

Nisar Ahmad MOMINZAI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2024, 89 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Doç. Dr. Pınar USTA EVCİ**

A large part of our country's building stock is located in regions with high earthquake risk. Considering the possibility of a devastating earthquake, determining the earthquake safety of existing buildings is one of the most important issues that should be emphasized. It is important to determine the earthquake safety of masonry structures, which constitute a significant part of the existing building stock, especially in small settlements. Therefore, these issues are explained in detail in the Turkish Building Earthquake Regulation, which came into force in 2019. Especially in the regulation, alternative masonry building types have been determined for new masonry buildings. In this study, the dynamic behaviors of reinforced and unreinforced masonry buildings included in the 11th chapter of the Turkish Building Earthquake Regulation were examined experimentally. For this purpose, reinforced masonry structure samples and unreinforced masonry structure samples were produced in a laboratory environment and tested on a shaking table. And thus, the natural vibration frequencies, periods, damping ratios and stiffness of the samples were evaluated. Two samples were tested on a shaking table under earthquake vibrations and the results were compared in terms of dynamic behavior and cost analysis. Ground motion was applied to the samples so that they remained in the elastic region, and no cracks or damage occurred in the samples. For this reason, since the reinforcement placed in the reinforced masonry structure sample did not start to work fully, there was no significant difference in stiffness between the samples. As a result of the experiments, it was determined that the reinforced masonry structure sample (N-02) had an 11.15% increase in frequency value, a 10.31% decrease in the natural period and a 10.25% decrease in the natural damping rate compared to the unreinforced masonry structure sample (N-01). Among the samples, it was observed that the reinforced masonry structure sample increased the stiffness by 25.21%.

Keywords: Masonry Structures, Earthquake, TBDY-2018, Shaking Table, Experimental Modal Analysis

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana verdiği destek ve gösterdiği anlayıştan dolayı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN'e teşekkürlerimi, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarımnda ve gerekli deneysel ve analizlerde desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Abdulhamit NAKİPOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmamda bana yardımcı olan Öğr. Gör. Mehmet Orhan hocama çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimdiki deneysel çalışmalarda kullanılan sarsma tablasını bölümümüze kazandırdığı için Acos Makina, FSM Doğan Yapı Teknolojileri Tic. San. Ltd. Şti., İnşaat Mühendisi Adnan DOĞAN ve İnşaat Mühendisi İskender AVCI'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, katkılarından dolayı Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya teşekkür ederim.

Deney esnasında laboratuvarında çalışmalarına yardımcı olan Mehmet Emin GÜRHAN ve Uğur SARIKAYA'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışma yapabilmek için destek sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü'ne çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans boyunca her türlü destek ve özveriyle bana kuvvet veren ve sabır gösteren değerli aileme çok teşekkür ederim.

Nisar Ahmad MOMINZAI
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. YIĞMA YAPILAR.....	13
3.1. Yığma Bina Çeşitleri	13
3.1.1. Donatısız yığma bina	13
3.1.2. Donatılı yığma bina	16
3.1.3. Kuşatılmış yığma bina	17
3.1.4. Donatılı panel sistemli yığma bina	18
3.2. Yığma Binaların Deprem Etkisi Altında Davranışı	19
3.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler	21
3.4. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Dayanımı	21
3.5. Yığma Yapılarda Deprem Hesabı.....	23
3.6. Taşıma Gücü Yöntemine Göre Hesap	23
3.7. Diğer Tasarım Kriterleri	24
3.8. Deprem Hasar Düzeyleri	27
4. YAPI DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİ.....	30
4.1. Doğal Periyot	30
4.2. Doğal Titreşim Frekansı	30
4.3. Sönüm Oranı	32

4.4.	Mod Şekilleri	33
5.	DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ (MODAL ANALİZ).....	34
5.1.	Teorik Modal Analiz.....	35
5.2.	Deneysel Modal Analiz	36
5.2.1.	Geleneksel modal analiz yöntemi	36
5.2.2.	Operasyonel modal analiz yöntemi.....	36
5.3.	Deneysel Modal Analiz Yönetmeyle Modal Parametrelerin Elde Edilmesi ..	37
5.3.1.	Fourier dönüşümü	37
5.3.2.	Transfer fonksiyonu (FRF)	39
5.3.3.	Sızıntı	39
5.3.4.	Pencereleme	40
5.3.5.	Hızlı Fourier dönüşümü	40
5.3.6.	Tepe tutma (Peak picking).....	41
5.3.7.	Yarım güç bant genişliği.....	41
6.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
6.1.	Yığma Yapı Olarak Tasarlanan Numuneler Hakkında Genel Bilgi	43
6.2.	Numunelerin Üretmesinde Kullanılan Malzemeler.....	48
6.2.1.	Tuğla, beton ve harç dayanım testleri	48
6.2.2.	Temellerin üretilmesi	50
6.2.3.	Donatılı yığma yapı numunesinin üretilmesi.....	54
6.2.4.	Donatısız yığma yapı numunesinin üretilmesi.....	60
6.3.	Dinamik Testler	63
6.3.1.	Sarsma tablası	63
6.3.2.	Sarsma tablası üzerinde yığma yapı temellerin sabitlenmesi	65
6.3.3.	Veri toplama	66
6.3.4.	Sarsma tablası üzerinde yığma yapı numunesi ve deney düzeneği	67
7.	SARSMA TABLASINDA YIĞMA YAPILARIN TİTREŞİM DENEYLERİ....	68
7.1.	N-01 Deney Numunesi	68
7.2.	N-02 Deney Numunesi	69

8. DİNAMİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ İÇİN HESAP VE MODAL ANALİZ.....	71
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
9.1. Sonuçlar	78
9.2. Öneriler	85
10. KAYNAKLAR.....	86



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Etkilenen yüzey alanı
a	: İvme
T	: Doğal titreşim periyodu
K	: Yapının rijitliği
m	: Yapının kat kütlesi
C _t	:Bina taşıyıcı sistemine bağlı katsayısı
H _n	:Yapının toplam yüksekliği
N	:Yapının katsayısı
m	:kütlesi
d	:Katın yanal yük etkisiyle oluşan deplasman
F	:Kata etkiyen yanal yük
Hz	: Hertz
Kn	: Kilonewton
Cm	: Centimetre
M	: Metre
Mpa	: Megapascal
π	: Poisson oranı
ω	: Doğal frekans
ζ	: Sönüm oranı
c	: Sönüm sabiti
m	: Yapının kat kütlesi
C _t	: Bina taşıyıcı sistemine bağlı katsayısı
H _n	: Yapının toplam yüksekliği
N	: Yapının katsayısı
m	: kütlesi
d	: Katın yanal yük etkisiyle oluşan deplasman
F	: Kata etkiyen yanal yük
φ	: Donatı çapı

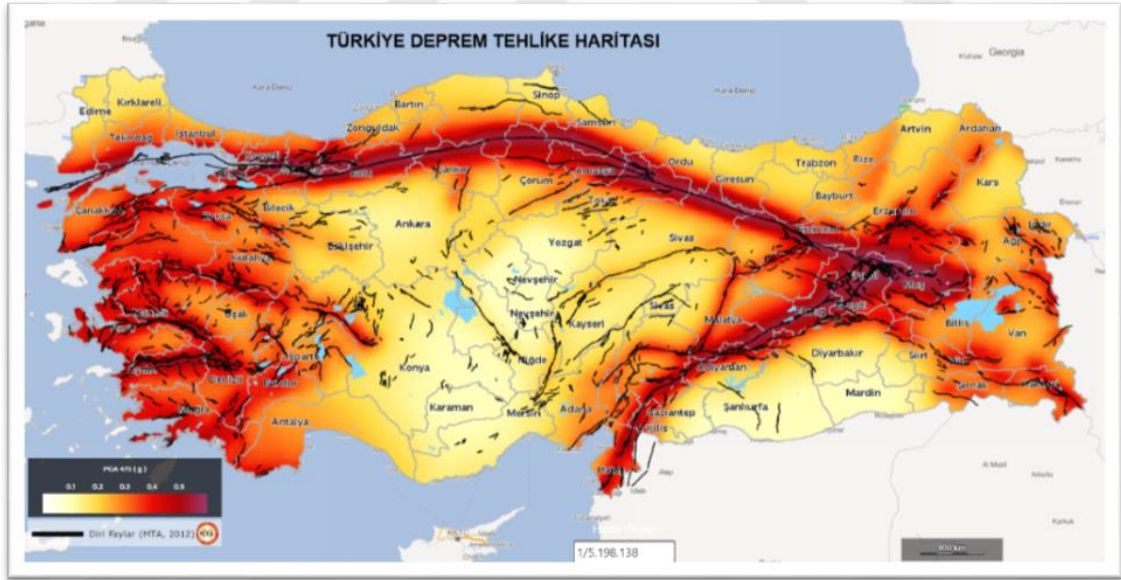
Kısaltmalar

ACI:	American concrete institute
AASHTO:	American association of state highway and transportation officials
AFAD	:Afet ve acil durum yönetimi bakanlığı
BKS	:Bina kullanım sınıfı
BS	:British standard
BYS	:Bina yükseklik sınıfı
DBYBHY	:Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelik
DBH	:Deprem bölge hakkında
DD-2	:Deprem yer hareketi düzeyi
DTS	:Deprem tasarım sınıfı
FFT	:Hızlı fourier dönüşümü
FRF	:Frekans davranış fonksiyonu
PLC	:Programmable logic controller
PGA	:Peak proud acceleration
RYTEİE	:Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar
TBDY	:Türkiye bina deprem yönetmeliği
N-01	:Donatısız yığma yapı numune
N-02	:Donatılı yığma yapı numune

1. GİRİŞ

Doğal afetlerde önemli bir yer tutan ve önceden bir uyarı olmadan meydana gelen depremler tüm yeryüzünde büyük can ve mal kayıplarına ve yaralanmalarına yol açmaktadır. Yurdumuzun büyük bir bölümü dünyanın en aktif ve tehlikeli deprem kuşaklarının altındadır. Ve nüfusumuzun yüzde 90'ını deprem kuşağı üzerinde yaşamaktadır (Şekil 1.1).

Geçmişten bu yana oluşan depremlerde binlerce bina ekonomik ömrünü tamamlamadan yanlış tasarım, yanlış uygulama vb. sebeplerle yıkılmış ve çok fazla maddi ve manevi kayıplar oluşmuştur. Bu da ülke ekonomisine büyük zararlara uğratmıştır. Bu maddi ve manevi kayıpları engellemek veya en aza düşürmek için geçmiş yıllardan günümüze kadar binalar ile ilgili tasarım kriterleri belirlenmiş ve birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yaşanan depremler sonrası yapılan saha incelemelerinden elde edilen tecrübeler ve binaların deprem güvenliğini artırmak amacıyla yapılan akademik çalışmalar değerlendirilerek deprem yönetmeliği güncellenmiş ve son olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 yürürlüğe girmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)

Ülkemizin yapı stoğunda yığma yapılar önemli bir yere sahiptir. Özellikle kırsal bölgelerde malzeme temini kolaylığı, yapım kolaylığı ve ekonomik koşullar açısından geçmişten günümüze birçok yığma yapı üretilmiştir.

Yığma yapılar taş, tuğla, briket, kerpiç, ahşap gibi ve yapı malzemelerinin harç malzemesi kullanılmasıyla üst üste konarak oluşturulan duvarlarının düşey ve yatay yük taşıdığı yapı türleridir. Dünya’da birçok tarihi yapı yığma yapı olarak inşa edilmiştir (Şekil 1.2).

Tarihi yapılar geçmişte yaşamış insanların yaşam tarzını, kültürünü ve medeniyetini göstermektedir. Dünyada ve özellikle ülkemiz ’de yüzbinlerce turist tarihi yapıları ziyaret ederek ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle tarihi yığma yapıları deprem, sel, yağmur gibi doğal afetlerden kuruyarak gerekli onarım, güçlendirme işlemlerini yapmak ve bu yapıların gelecek nesillere güvenli aktarılmasını sağlamak çok önemlidir (Demirel, 2010) (Karataş, 2020).



Şekil 1.2. Antik URM Yapıları, a) Büyük Giza Piramidi, Mısır, b) Yunan Tapınak, Yunanistan, c) Ayasofya, Türkiye, d) Kolezyum, İtalya, e) Pisa Kulesi, İtalya (Demirel, 2010)

TBDY-2018’de yeni malzemeler kullanılarak yığma yapıların üretilmesine imkân sağlamıştır. Özellikle hedef, deprem etkileri altında iyi davranış gösterecek yığma yapı türleri inşa edilmesini sağlamaktadır. Yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018) deprem yönetmeliğinin 11. bölümünde dört farklı yığma bina türü yapılmasına müsaade etmektedir. Bunlar Donatısız, Donatılı, Kuşatılmış ve Donatılı panel sistemli yığma binalardır. Bu çalışmada donatılı yığma bina ve donatısız

yığma bina türlerinde 1/2 ölçekli numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler sarsma tablası üzerinde deneye tabi tutulmuştur.

Yapılacak deneyler sonucunda bu iki tür yığma yapının dinamik davranışları görülecek ve numunelerin periyodu, frekansı ve sönüm oranı belirlenerek sonuçlar karşılaştırılacaktır. Ayrıca iki farklı yığma yapı türü için maliyet analizi de yapılarak önerilerde bulunulacaktır.

1.1.Tezin Amacı

Ülkemizde, birçok deprem meydana gelmiş ve bu depremler sonucunda maddi ve manevi çok ağır kayıplar oluşmuştur. Son yıllarda ülkemizde meydana gelen yıkıcı depremler, ülkemizde bulunan yapı stoğunun deprem dayanımının değerlendirilmesi ve şiddetli diğer depremlerde göçebilecek yapıların belirlenmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle 06 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş, Pazarcık ve Elbistan merkez üslü depremlerde birçok yığma bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür.

Yığma binaların inşa edilmelerini daha da yaygınlaştırmak ve yapılmış olanları depreme dayanıklı hale getirilebilmek için yönetmeliğe tasarım esasları ve yapım kuralları ilave edilmektir. TBDY-2018'de Donatısız yığma binanın yanında, kuşatılmış yığma bina, Donatılı yığma bina ve Donatılı panel sistemli yığma binalarında yapımına izin verilmiştir.

Özellikle yapı stoğundaki yığma yapıların deprem etkisi altında davranışını belirlenmek ve yeni yapılacak yığma yapıların deprem etkisi altında davranışını ortaya koymak önemlidir. Donatısız yığma yapılar ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarının birçoğunda statik olarak deprem kuvvetleri yatay yönde verilmesi halindedir. Bu çalışmada depremi benzeştiren sarsma tablası kullanılarak yığma yapıların dinamik davranışları belirlenecektir. Özellikle deprem etkisi altında yapının periyodu ve sönüm oranı büyük önem arz etmektedir. Bu değerler belirlenerek yapının deprem davranışı ortaya konacaktır. Ayrıca donatılı yığma bina ve donatısız yığma bina ile ilgili sarsma tablası üzerinde yapılmış deneysel bir çalışma yoktur.

Bu çalışmayla ülkemizde yeni yapılacak yığma binaların dinamik davranışlarını görmek amacıyla 1/2 ölçekte tek katlı ve tek açıklıklı, 3 boyutlu, iki tip yığma yapı (Donatısız yığma ve Donatılı yığma) üretilmektedir.

Çalışmada donatılı yığma yapı numunesi ve donatısız yığma yapı numunesinin titreşim deneyleri yapılacaktır. Dinamik deneyler esnasında ivmeölçer vasıtasıyla okunacak ivme-zaman verilerden faydalanarak sistemlerin model analizi yapılacak ve elde edilecek olan doğal titreşim frekansları, periyotları ve sönüm oranları karşılaştırılarak yapıların dinamik davranışları belirlenecektir.

Numunelerin imalatı ve deneyler Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılacaktır.

Deneylerde numuneler sarsma tablası vasıtasıyla zorlanmış titreşime maruz bırakılacaktır. Çıkan sonuçlar ve maliyet analizi karşılaştırılarak yorumlanacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Akgündüz, 2004) ‘‘Deprem Bölgelerinde Yığma Yapı Tasarımının Yönetmeliğe Göre İncelenmesi’’ adlı tez çalışmasında deprem sırasında zemin üzerinde meydana gelen titreşim hareketinin, binaların temellerinde ani ötelemeler ve dönmelere sebep olduğunu belirtmiştir.

Temelin bu hareketine binanın üst kısmının ayak uyduramaması nedeniyle atalet kuvvetlerinin ortaya çıktığını belirtmiştir. Bu kuvvetler, yığma yapılar tasarlanırken dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yönetmelikler, geçmiş depremlerde yapılan gözlemler, yapım teknikleri ve tasarım kurallarını dikkate alarak İstanbul Akatlar ‘da bulunan üç katlı yığma bir yapı değerlendirilmiştir.

(Sallio, 2005) yaptığı tez çalışmasında 1950 senesinde inşa edilen zemin ve iki normal kattan oluşan yığma bir hastane binasını 1998 deprem yönetmeliği hükümlerine göre incelemiştir.

Yapılan inceleme sonucunda binanın yetersiz rijitliğe ve dayanıma sahip olduğu ispatlanmıştır. Binayı güçlendirmek için yapıda mevcut olan yetersiz duvar alanlarına püskürtme beton uygulanarak duvar kesme dayanımları yeterli düzeye çıkartılmıştır. Yazar SAP2000 analiz programıyla yapının güçlendirilmiş hali ile önceki halini karşılaştıracak sayısal verileri yorumlamıştır.

(Döndüren, 2008) yaptığı tez çalışmasında laboratuvar ortamında 1/1 ölçekte aynı geometrik özelliklere sahip iki adet ayrı prototip yığma duvar üretilmiştir.

Harman tuğlası kullanılarak normal harçla üretilen bir yığma duvar ve Sikalatex kimyasal katkı malzemesiyle bağlayıcı özelliği artıran harçla üretilen bir yığma duvarda basınç deneylerine yapılmıştır.

Aynı şartlarda düzlem dışı tekrarlanır yük altında deneye tabi tutularak numunelerin ilk çatlak, enerji tüketimi, süneklik, kırılma davranışı ve çatlak deseni belirlenerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler, Sikalatex katkı malzemesi kullanılarak harcın bağlayıcı özelliğinin artırılması sayesinde yığma duvar elemanlarının taşıdığı maksimum yükün arttığını göstermiştir.

(Aköz, 2008) ‘‘Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi’’ adlı bu yüksek lisan tez kapsamında, tarihi yığma binaların onarım ve güçlendirmesi konusu değerlendirilmiştir. Örnek olarak 1400 yılında yapılan tarihi Murat Paşa yığma camii seçilip, 3 boyutlu bir sonlu eleman modeli oluşturularak hem statik hem

de dinamik çözümler yapılmıştır. Ayrıca, yapının deprem güvenliğini ve güçlendirmenin gerekliliğini belirlemek için hangi yöntemler kullanılabilirdiği incelenmiştir.

(Arıcan, 2010) yaptığı çalışmada Isparta'da bulunan 7 tarihi yığma yapının deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. SAP2000 programında modellenen yığma yapıların dinamik analizi, zaman tanım alanında gerçekleştirilmiş ve çok sayıda deprem verisi uygulanarak deprem etkisi altındaki davranışı belirlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak doğal taş ve tuğladan yapılmış olan 42 adet model değerlendirilmiş ve yapıların deplasman, temel kayma ve gerilme değerleri bulunmuştur.

Yer değiştirme değerlerini etkileyen unsurlar, yapıların duvar kalınlıkları, uzunlukları ve boşluklar olduğu görülmüştür. Yapılardaki kapı ve pencere boşlukları, düşük duvar kalınlığı ve uzun duvarların bulunduğu bölgelerin, yapıda en büyük yer değiştirmelerin meydana geldiği yerler olduğu tespit edilmiştir.

(Akdeniz, 2011) çalışmasında, tarihi bir caminin taşıyıcı sistem elemanları, yığma binalarda kullanılmakta olan malzeme ve onarım özellikleri, tarihi yığma yapılarda meydana gelen hasarlar, hasar nedenleri ve uygulanan güçlendirme ve onarım metotları anlatılmıştır. Tarihi bir caminin yapısal özellikleri, lineer ve lineer olmayan analizler yapılarak deprem davranışları belirlenmiştir. ANSYS analiz programı yardımıyla elde edilen veriler yorumlanmıştır.

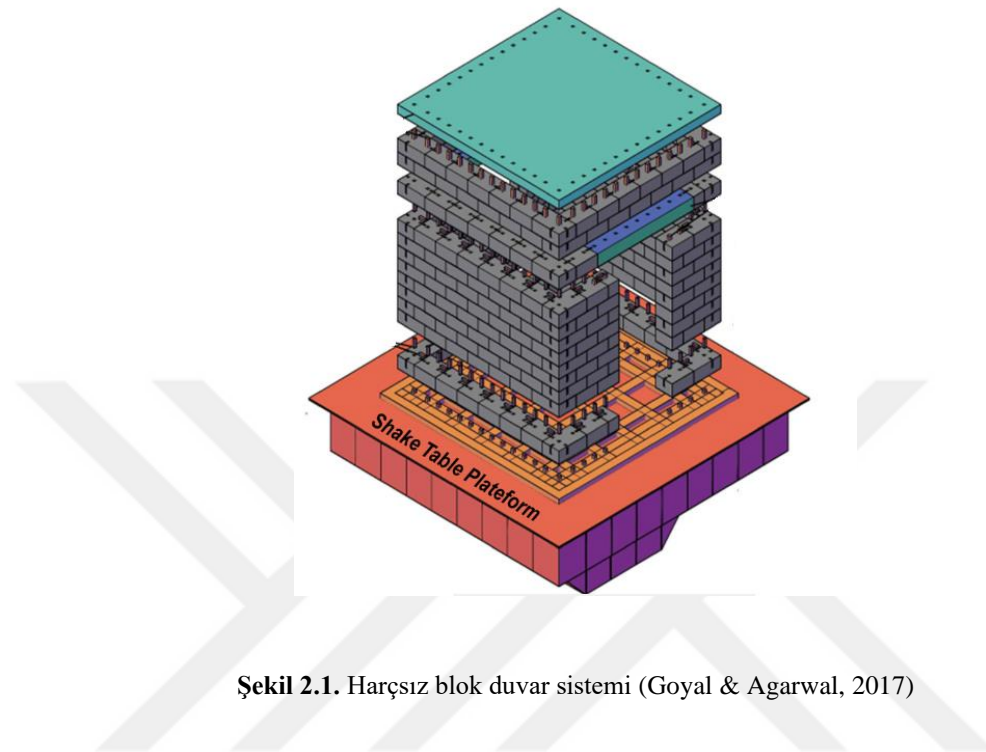
(Köseoğlu, 2011) çalışmasında, klasik Osmanlı tasarımına sahip büyük ölçüde hasar görmüş 16. yüzyıldan kalma tek kubbeli bir camiyi incelemiştir.

Son zamanlarda yapının tuğla duvarları ve kubbesi, binanın kapanmasına neden olacak kadar ciddi hasara uğramıştır. Bu nedenle hasarın kaynaklarının belirlenmesi, çalışmanın temel amacı olmuştur.

Caminin siltli-killi toprak üzerine inşa edilmesi nedeniyle mevcut kuraklığın neden olduğu zemin yer değiştirmeleri meydana gelmiş ve bu da su seviyesinde önemli bir kaymaya neden olmuştur. Doğrusal sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılarak yapı modellenmiştir. Yığma duvarlar homojenleştirilmiş makro kabuk parçaları olarak düşünülmüştür. Temeldeki derzlerde yer değiştirme nedeninin su seviyesindeki değişiklik olduğu belirtilmiştir. Hasar, analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve gözlemlenen hasar, sonlu eleman modelinin kalibre edilmesi için temel oluşturmuştur. Rehabilitasyon için de birkaç öneride bulunulmuştur. Zemin hareketini azaltmak için sert toprağa veya kayaya kadar mini kazıkların kullanılması önerilmiştir. Gelecekteki çatlak gelişimini durdurmak için hasarlı kubbe tabanının etrafına çelik bir halka yerleştirilmesi önerilmiştir. Ayrıca

tuğla duvarlardaki çatlakların orijinal dokuya uyum sağlayacak bir malzeme kullanılarak kapatılması tavsiye edilmiştir.

(Goyal & Agarwal, 2017) tarafından yapılan çalışmada tam ölçekli, tek katlı, birbirine bağlı oluklu (harçsız) blok duvar sistemi sarsma tablası üzerinde test edilmiştir.



Şekil 2.1. Harçsız blok duvar sistemi (Goyal & Agarwal, 2017)

Yapıya sırasıyla 0.18 ve 0.36g yer ivmeleri verilmiştir. Yapının yüksekliği boyunca ivme, üç eksenli kuvvet dengeli ivmeölçerler yardımıyla ölçülmüştür ve bloklar arasındaki yer değiştirme, yüksek hızlı bir kamera yardımıyla tahmin edilmiştir. Numunenin doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları belirlenmiştir.

Test sonuçları, viskoelastik bağlantılara sahip birbirine bağlı blok duvar sisteminin, bloklara zarar vermeden yapısal modelin alt kısmındaki enerjiyi tamamen dağıtarak önemli bir performans ortaya koyduğunu doğrulamıştır.

(Kayırğa, 2017) yaptığı bu tez kapsamında, deneysel ve analitik çalışmalar vasatıyla tam ölçekli yığma yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalarla, yığma yapılar, duvar malzemesi, yapıştırıcı harç ve yığma duvarlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Analitik çalışmada ise çeşitli modelleme yaklaşımları ve SAP2000, ANSYS gibi yapısal analiz programları kullanılmıştır. Deney sonuçları ve analiz sonuçları değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

(Aşık, 2018) yaptığı tez kapsamında, tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistem özellikleri, taşıyıcı sistemlerde meydana gelen hasarlar için uygun güçlendirme ve onarım teknikleri önerilmiştir. SAP2000 programı kullanılarak Konya'daki tarihi Zenburi

mescidinin mevcut yapı durumu modellenerek, statik analizi yapılmıştır. Yazar gerekli onarım-güçlendirme önerisinde bulunmuştur.

(Amani, 2019) tarafından yapılan tez çalışmasında, Türkiye'deki 1998 deprem yönetmeliği, TDBHY2007 yönetmeliği ve yürürlükte olan 2018 (TBDY2018) yönetmeliklerindeki yığma yapılar ile ilgili kurallar esas alınarak iki adet örnek yığma yapıda deprem hesapları yapılmış ve elde edilen farklı davranış etkileri ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 1998 ve 2007 yönetmeliklerine göre TBDY2018'de çok farklı analitik sonuçlar ortaya çıkmıştır.

(Kabir & Rezaifar, 2019) tarafından yapılan araştırma makalesinde, üç boyutlu, dört katlı panel sistemli ölçekli bir bina sarsma tablası üzerinde, sarsma tablası ekipmanı kullanılarak dinamik testleri yapılmıştır (Şekil 2.2).

Binanın sismik dayanımı, hasar mekanizması, sismik kuvvetlerin dağılımı ve hassas konumlar gibi yapısal tepkiler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak üç boyutlu panel sisteminin yüksek rijitliği nedeniyle esas olarak doğrusal alanda direnç gösterebildiğini ve orta şiddetli sismik taban uyarımına karşı yeterli yükü taşıyabileceğini göstermiştir.



Şekil 2.2. Panel numuneleri (Kabir & Rezaifar, 2019)

(Şerbetçigil, 2021) yüksek lisans tez çalışmasında, Konya'nın Akşehir ilçesinde bulunan ve 2009 yılında Konya'da meydana gelen depremde hasar alan bir yığma bina dikkate alınmıştır. Hasarlı yığma bina köşelerden betonarme perde duvarlarla güçlendirilmiştir.

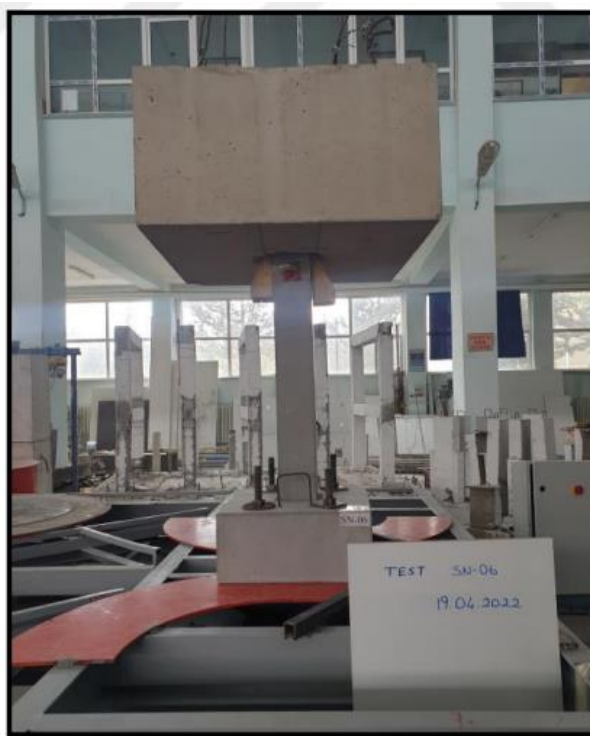
Referans alınan üç katlı binanın ABAQUS sonlu elemanlar programından faydalanarak 2 modeli oluşturulmuştur.

Depremi benzeştiren yatay yükleme altında binanın güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş hallerinde toplam kesme kuvvetine karşı kat deplasmanları

bulunmuştur. Güçlendirilmiş binanın yatay yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde artmıştır. Güçlendirilmiş bina duvarlarında, yükleme adımları sırasında meydana gelen kesme gerilmeleri, güçlendirilmemiş yapı duvarlarına göre küçülmüştür.

(Sayın, 2022) tarafında laboratuvar ortamında hazırlanan bu tez kapsamında, 1/3 ölçekte altı adet ayrı ayrı beton basınç dayanımına sahip kolon numunesi sarsma tablasında zorlanmış kuvvetlerle sarsılmıştır.

Geometrik boyutları ve çelik sınıfı aynı olan numunelerden elde edilen veriler filtrelenmiş ve analiz edilmiştir. Bunun sonucunda FRF grafikleri oluşturulmuş ve dinamik özellikler belirlenmiştir. Betonun sınıflandırılması açısından, depremlerin frekans ve sönüm oranları üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Numunelerin karşılaştırılmasıyla, uygulama ve analiz ile ilgili çeşitli sonuçlar elde etmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Deney esnasında numune görünüşü (Sayın, 2022)

Deneyler, beton basınç dayanımı için en yüksek (40 MPa) ve en düşük (16 MPa) numunelere göre frekans değerinin %8,08 arttığını ve sönüm oranının %30,98 azaldığını göstermiştir. Betonun basınç dayanımı ile frekansı doğru orantılıyken, sönüm oranının ters orantılı olduğu ispatlanmıştır.

(Kaya, 2022) tarafından laboratuvar ortamında hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, 1/3 ölçekte altı adet farklı etriye aralıkları ve farklı donatı sınıfına sahip olan kolon numunesi sarsma tablası üzerinde zorlanmış titreşime tabi tutulmuştur (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. numunelere ait detaylar (Kaya, 2022)

Kolon İsmi	Kolon Adedi	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Etriye Aralığı (cm)
SE-01	1	C18	220	15
SE-02	1	C18	220	10
SE-03	1	C18	220	5
SE-04	1	C18	420	15
SE-05	1	C18	420	10
SE-06	1	C18	420	5

Kolon numunelerinin doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları bulunarak karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen verilere göre, kolonların titreşim frekansları etriye aralığından yaklaşık %6-7 ve donatı sınıfından %25 oranında etkilenmiştir. Kolonların doğal sönüm oranı ise etriye aralığından yaklaşık %4.98-9.6 ve donatı sınıfından %36-39 oranında etkilenmiştir.

(Türkoğlu, 2022) tarafından yapılan araştırmada, Karadeniz Ereğli’de bulunan Piyalepaşa konağının üç boyutlu analitik modeli oluşturularak sismik performans kriterleri TBDY-2018 ve RYTEİE-2019 yönetmeliğine göre değerlendirilerek sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Malzeme özellikleri açısından kıyaslandığında RYTEİE-2019, TBDY-2018’e göre daha güvenli taraftadır.

RYTEİE-2019’a göre yapının risk durumunun incelenmesi için doğrusal elastik hesap için mod birleştirme yönteminden yararlanılabileceği ve TBDY-2018’de yapı deprem hesabında doğrusal ya da doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabileceği belirtilmiştir. Binanın performans değerlendirmesi açısından ise TBDY-2018’e göre RYTEİE-2019’un daha güvenli tarafta kaldığı belirtilmiştir.

(Yıldız, 2022) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre yığma okul binalarının yapısal özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bilecik vilayetinde bulunan üç adet yığma okul binasının StaciCAD yığma programıyla deprem performans analizi yapılarak bu iki deprem yönetmeliğine göre uygunluğu incelenmiştir. Yazar DBYBHY- 2007 ve TBDY- 2018’deki değişiklikleri ve farkları sıralayarak yorumlamıştır. TBDY-2018 yönetmeliğine göre performans analizi yapıldıktan sonra, 1 nolu ve 2 nolu okul binasının deprem performans düzeyi geçme

durumunda ve 3 nolu okul binasının belirlenebilen özellikleri doğrultusunda kontrollü hasar performans düzeyinde olduğu belirtilmiştir.

(Bello, 2022) yüksek lisans tez çalışmasında, laboratuvar ortamında üretilmiş donatısız bir yığma bina sarsma tablası üzerinde farklı dinamik yüklere tabi tutularak binada meydana gelen hasar ve göçme durumlarının sayısal olarak simülasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bullet Constraints Builder ve Blender yazılımları, sarma masası deneylerinden elde edilen hasar durumlarını sayısal olarak simüle etmek için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sayısal simülasyonlarda, yığma binanın sarsma masası deneylerinden elde edilen hasar veya göçme durumlarının, çatlak oluşumu ve yayılımının büyük oranda uyumlu olduğu ayrıca görülmüştür.

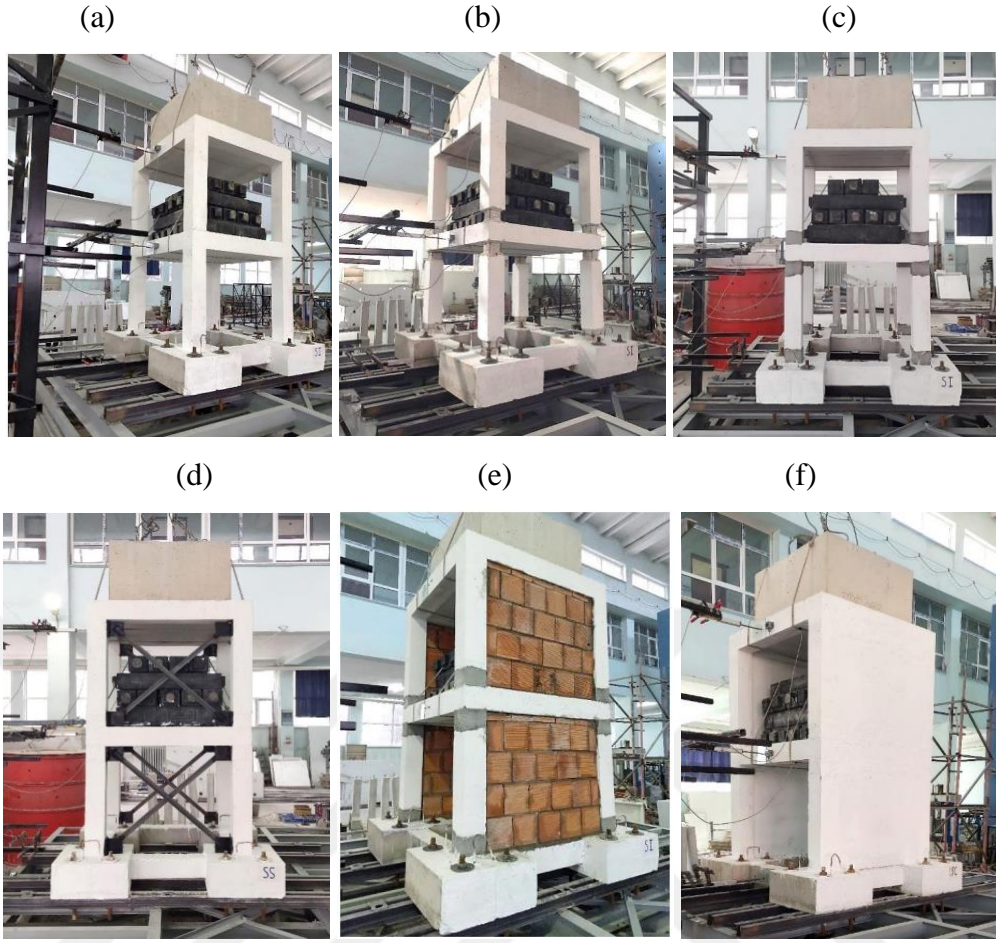
Delikli tuğlalar ile inşa edilen bu yığma modelinin dinamik etki altında sismik performansını test etmek için yedi yer hareketi kullanılmıştır. Bu sismik uygulamalar sonucunda yapı tahmin edildiği gibi hasar görmüş ve sonunda yıkılmıştır.

(Nakipoğlu, 2024) yatığı tez çalışması kapsamında, üç adet betonarme numune (1/3 ölçekte, iki katlı, tek açıklıklı, üç boyutlu) laboratuvar ortamında üretilmiş ve dinamik etkiler altında araştırılması maksadıyla sarsma tablası üzerinde zorlanmış titreşim deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde numuneler hasarsız şekilde, kolon birleşim kısımları zayıflatılarak hasarlı şekilde, onarılmış şekilde ve güçlendirilmiş şekilde test edilmiştir. Numuneler betonarme perdeler, X şeklinde çelik çaprazlar ve dolgu duvarlar kullanılarak üç farklı şekilde güçlendirilmiştir (Şekil 2.4).

Numunelere dört farklı şiddette zorlayıcı yük uygulanarak 200'den fazla deney yapılmıştır. İvmeölçerler ve potansiyometrik cetveller vasıtasıyla alınan zamana bağlı ivme verileri ve zamana bağlı deplasman verileri, deneysel modal analiz yöntemiyle incelenerek doğal titreşim frekansları, doğal titreşim periyotları, doğal sönüm oranları, mod şekilleri belirlenmiştir. ETABS analiz programı kullanılarak zaman tanım alanında hesap yöntemiyle yapılan analiz sonuçları deneysel sonuçlarla büyük oranda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Genelde betonarme perdeler vasıtasıyla yapılan güçlendirmenin her yönden daha iyi performansa sahip olduğu ispatlanmıştır. Gelecekte planlanan benzer çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



Şekil 2.4. Sarsma tablasında deney görünüşü; a) numunenin hasarsız hali, b) numunenin hasarlı hali, c) numunenin onarılmış hali, d) betonarme perdelerle güçlendirilmiş hali, e) çelik çaprazlarla güçlendirilmiş hali, f) dolgu duvarlarla güçlendirilmiş hali (Nakipoğlu, 2024)

3. YIĞMA YAPILAR

Binlerce yıldır aynı temel imalat prensiplerine sahip olan yığma yapılar, dünyada ve ülkemizde özellikle kırsal bölgelerde mühendislik hizmeti almayan insanlar tarafından yapım kolaylığı, malzeme iletişim kolaylığı ve ekonomik sebeplerden dolayı kullanılmaktadır.

Taşıyıcı sistemi taş, tuğla, briket doğal, kerpiç veya suni yapı malzemelerden yapılmış, düşey duvarlardan oluşan yapılar dünyada ve Türkiye’de mevcut yapı stoğunda önemli bir yer almaktadır. Bu nedenle yığma yapıları günümüzdeki yaşam standartları göz önünde alındığında kullanımına devam edilmesi için deprem güvenliğinin belirlenmesi zorunludur (Erçolak, 2021).

3.1. Yığma Bina Çeşitleri

Yığma binaların inşa edilmelerini daha da yaygınlaştırmak için TBDY-2018 deprem yönetmeliğinde donatısız yığma binanın yanında kuşatılmış, donatılı yığma bina ve donatılı panel sistemli yığma binalara da izin verilmiştir (TBDY, 2018).

3.1.1. Donatısız yığma bina

Donatısız yığma bina, taşıyıcı duvarlarda donatı bulunmayan yalnız taş, tuğla veya kerpiç kullanılarak üretilen, süneklik düzeyi sınırlı bina türü, donatısız yığma bina olarak adlandırılmaktadır (TBDY, 2018).

Donatısız yığma binalar depreme karşı gevrek bir davranış göstermektedir. Çünkü donatısız yığma binaların taşıyıcı sistemini oluşturan duvarlar gevrek yapı malzemedен oluşmaktadır (Şekil 3.1). Ülkemizin tarihi yapıları ve kırsal bölgelerde mühendislik hizmet almadan inşa edilmiş binaların önemli bir bölümü donatısız yığma binalardan oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Donatısız yığma yapı (Ersubaşı, 2008)

Donatısız yığma yapılar kullanılan kâgir birim cinsine göre farklı şekillerde inşa edilebilmektedir. Donatısız yığma binalar dünyada ve Türkiye’de bölgeden bölgeye değişik imalat teknik yelpaze ve geniş malzeme kullanılarak şekillerde inşa edilebilmektedir. Bu çeşitlerin bazıları şunlardır;

Tuğla yığma binalar

Tuğla yığma birimlerini bağlayıcı harç kullanılarak belirli bir düzende üst üste istifleyerek oluşturulan taşıyıcı yapılardır. Eski zamanlarda tuğla yığma yapı duvarlarda kullanılan tuğla birimlerden, killi bazlı toprak ve suyun karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup harman yerinde ocaklarda pişirilen harman tuğlası çokça kullanılmıştır. Ama zamanla tuğla ihtiyacı arttıkça ve teknolojinin gelişmesi ile harman tuğlasının yerini fabrika tuğlaları almıştır.

Fabrika delikli tuğlanın boşlukları duvarda dik konumda olunacak biçimde örülür. Duvar örmesinde tuğlalar; çimento, kum ve su karışımı harç hem yatay hem düşey derzlerde yerleştirilerek inşa edilmektedirler (Kıpçak, 2018). Yığma tuğla yapılarda, duvarlar yatay (deprem, rüzgâr vb.) ve düşey yükleri temel sistemine ve ardından zemine nakletmektedir.

Bu nedenle, yığma binaların deprem davranışını etkileyen faktörler arasında taşıyıcı duvarın uzunluğu, yerleşim planı, taşıyıcı duvar, tuğla örülme biçimi, kapı ve

pencere gibi boşluklar, kullanılan tuğlanın kalitesi ve işçilik yer almaktadır. Deprem yönetmeliklerinde de bu konulara ilişkin kurallar yer almıştır (Hızlı, 2023). Tuğla, kil ve ince milin ocaklardan çıkarılarak harman edilmesi, ardından kalıplanıp fırınlanmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Tuğlalar, malzeme türü olarak seramik sınıfına girerler ve inorganik, yüksek ısıda işlem görmüş silikatlar ve metal oksitlerden oluşurlar. Oksitlenmiş bir malzeme olduğundan, kimyasal açıdan denge noktasındadır ve bu nedenle yeni bir kimyasal tepkimeye dahil olmaz.

Fiziksel olarak sert, gevrek ve ısıya dayanıklı bir malzeme türüdür. Tuğla basınç dayanımı yüksek bir malzemedir. Bu malzemede su emme kapasitesi basınç dayanımını etkileyen en önemli faktördür ve bu değer %15 altında olmamalıdır. Su emme kapasitesinin bu değerden düşük olması durumunda yapıştırma harcının suyunun azalmasına neden olur ve taşıma gücü bakımından düşük duvar elde edilmiş olur.

Taş yığma binalar

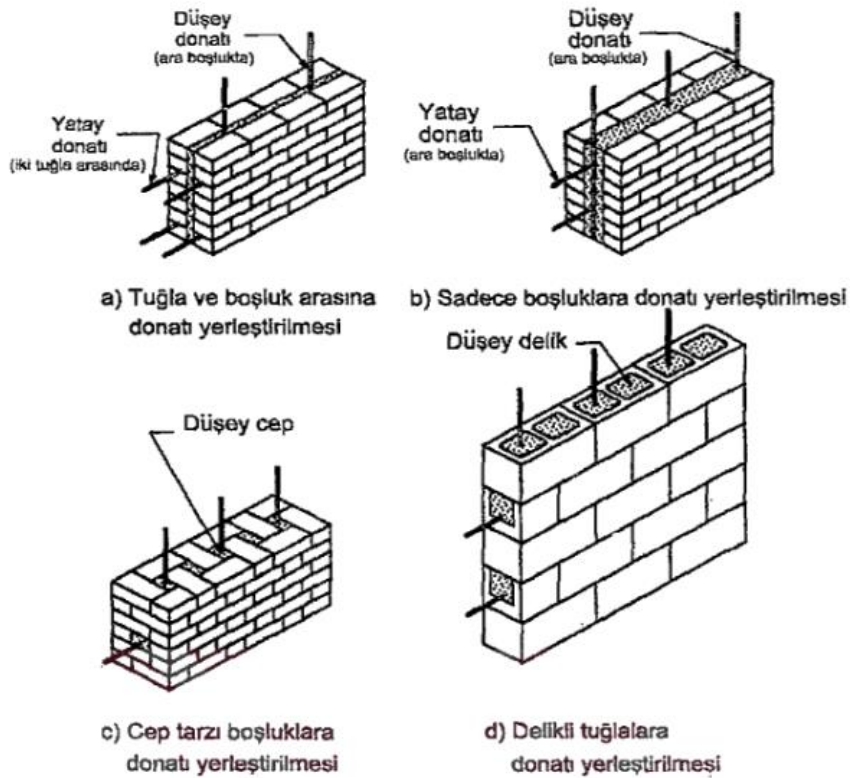
Taşıyıcı duvarları mümkün olduğunca bulunduğu bölgeden temin edilen taşların bağlayıcı harç ile doldurulmasıyla oluşan yapılardır. Doğadan elde edilecek taşların suya dayanıklı ufalanmayan, yüksek dayanımlı olmalarına dikkat edilmelidir. Duvarda kullanılacak taşların mümkün olduğu kadar köşeli, pürüzlü ve harç ile yapışacak tarzda olması gereklidir

Kerpiç yığma binalar

Yapısında taneleri birleştirecek oranda kil içeren kum oranı yüksek topraklar, saman gibi lifli katkıları eklenerek su ile harç biçimine getirilir, sonra ahşap kalıplara doldurulur. Şekillendirilip kalıptan çıkarılan ve güneş altında kurutulmasıyla elde edilmiş yapı malzemesi “kerpiç” adını alır. İçerisinde bulunan kil miktarı kerpiçin niteliğini belirler.

3.1.2. Donatılı yığma bina

Donatılı yığma bina, kargir birim ve harç kullanılarak, teşkil edilen taşıyıcı duvarlar kurallara uygun şekilde donatı yerleştirilmesiyle üretilen süneklik düzeyi yüksek bina çeşididir (TBDY, 2018). Duvarlar, donatılı yığma ve diğer yığma yapılarda ana taşıyıcı sistemdir. Duvarların yapım şekli çok çeşitlidir (Şekil 3.2). Donatının duvara yerleştirilmiş biçimi, duvarda kullanılan yapı malzemesinin şekline ve biçimine bağlıdır (Büyükökmen, 2001).



Şekil 3.2. Duvar tipine bağlı donatı detayları (Büyükökmen, 2001)

Donatılı yığma binaların taşıyıcı sisteminde yani duvarlarda hem dikey hem de yatay da belirli aralıklarda donatı yerleştirilir ve bu da yapının sünekliği artırmasına sebep oluyor ve böylece daha dayanıklı duvar elde edilir. Yığma binaların süneklik düzeyi düşük malzemelerden inşa edilmesi bu yapılarda ani ve gevrek kırılmalara yol açmaktadır. Dolayısıyla, deprem dayanımlarının da düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Donatılı yığma yapıların yığma duvarlarında yatay ve dikey de yerleştirilmesi gereken donatıları yapının sünekliği belirli derecede artırmakta ve duvarların dayanımı da artırılmaktadır. Böylece depreme dayanıklı bir yığma yapı elde edilebilmektedir. Geçmişte meydana gelen depremlerde donatılı yığma yapıların depreme

karşı iyi performans gösterdiği, donatısız yığma yapıların aynı performansı gösteremedikleri gözlemlenmiştir. 2007 deprem yönetmeliği ve yürürlükte olan 2018 deprem yönetmeliğini değerlendirdiğimiz zaman, özellikle yığma binalara ait bölümde, donatılı, kuşatılmış ve donatılı panel sistemli binaların yer almadığı görülmektedir. Dolayısıyla bu üç tür yığma yapı kavramları ülkemiz için yeni kavramları olduğu rahatlıkla söylenebilir (Türkoğlu A. , 2022) (Erçolak, 2021).

3.1.3. Kuşatılmış yığma bina

Kuşatılmış yığma bina, taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra ve yönetmelik kurallara uygun olarak hazırlanan yatay ve düşey hatılların oluşturulması yoluyla oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı binadır. Bu binalar döşemeye ve birbirlerine betonarme olarak bağlı inşa edilmektedir (Şekil 3.3) (TBDY, 2018).

Kuşatılmış yığma binalar ilk bakışta betonarme yapılardan farklıdır, çünkü betonarme kesitleri çok küçüktür ve yatay hatılları yığma duvar içinde kaybolacak kadar küçüktür. Kuşatılmış yapılarda, betonarme yapılar için düktilite ve kapasite tasarım kuralları uygulanmaz ve yatay düşey hatıllar betonarme hesaplarına göre boyutlandırılmaz. Kuşatılmış yığma binalarda betonarme hatılların oluşturulması nedeniyle yük dağılımı donatısız yığma binalara nazaran çok daha sağlıklıdır. Ayrıca kuşatılmış yapıları süneklik düzeyi sınırlı olsa da donatısız yığma binalardan deprem davranışları daha iyidir. Yatay ve düşey hatılları oluşturan donatı ve beton özellikleri, kuşatılmış yığma yapılarda kullanılan yığma duvar malzemesi kadar önemlidir. Ülkemiz deprem bölgesinde olduğu için, bu malzemelerin deprem yönetmelikleri tarafından belirlenen standartlarda kullanılması zorunludur.



Şekil 3.3. Kuşatılmış yığma bina (Türkoğlu A. , 2022)

3.1.4. Donatılı panel sistemli yığma bina

Donatılı panel sistemli bina yapıları, ön üretimli donatılı gaz beton panellerin arası yivlere yerleştirilen donatıların temele ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlandığı ve düşey gaz beton panellerin yan yana getirilerek taşıyıcı duvarların oluşturduğu, yine donatılı gaz beton panellerin betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirdiği süneklik düzeyi yüksek binalardır (TBDY, 2018).

Otoklavlanmış gaz beton (Autoclaved aerated concrete (AAC)), kapalı iç boşluklara sahip hafif, çimento esaslı bir yapı malzemesidir. Gaz beton, çimento, ince silika kumu, karışım suyu, alüminyum tozu ve sönmemiş kireçten yapılıdır. Düşük yoğunluk, kütle içinde eşit şekilde dağılmış, bağlantısız, makroskobik hücrelerin oluşmasıyla elde edilir. Alüminyum tozu ve alkalin bulamaç arasındaki kimyasal reaksiyonlar, matriste tutulan ve ardından hacmini artıran hidrojen gazı kabarcıkları üretir. İlk ayarlanma ve paslanmaz çelik tellerle şekillendirildikten sonra, AAC elemanları 190°C sıcaklıkta ve 12 atmosfer basınçta 10 saat boyunca otoklavlanır (Şekil 3.4) (Uğurlu, Demir, & Ilki, 2013).



Şekil 3.4. Donatılı panel sistemli yığma bina yapımı (Türkoğlu A. , 2022)

Bu yapı sistemi daha hafif, kolay taşınabilmesi, iyi yalıtım, iyi yangın direnci ve uzun ömürlü gibi avantajlara sahip olmasından dolayı son yıllarda Türk inşaat sektöründe daha fazla tercih edilir hale gelmiş ve üretim hacmini artırmıştır (Usta & Evcı, 2019). TBDY 2018 Yönetmeliği'nde donatılı panel sistemli yapıların tasarımı için kurallar Bölüm 11'de yer almakta, gelecek yıllarda bu tür yığma binaların sayısının artacağı tahmin ediliyor.

3.2. Yığma Binaların Deprem Etkisi Altında Davranışı

Yığma yapılarda, depremden dolayı oluşan hasarlar, taşıyıcı duvarlarda düzlem dışı ve düzlem içi hareketiyle oluşan çatlaklar ve kısmen yıkılma olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte yığma binalarda bütün duvarlar taşıyıcı olduğundan duvarlardaki her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkilemekte ve bu bakımdan betonarme yapılardaki gibi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölüm hasarı gibi bir ayırım yapmak uygun değildir. Pencere boşlukları arasında ve pencere altlarındaki duvarlarda deprem yükleri sebebiyle meydana gelen diyagonal kesme çatlakları kapasitede çok büyük kayıplara neden olmaktadır. Yığma binalarda herhangi bir hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler. Bu nedenle, betonarme binalarda olduğu gibi, taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan bölüm hasarı arasında bir ayırım yapılamamaktadır. Pencere boşlukları arasında ve pencere altlarındaki duvarlarda deprem yükleri nedeniyle oluşan diyagonal kesme çatlakları, kapasite kaybına neden olur. Yığma binalarda kullanılan malzemeler gevrek yapıya sahip olduğundan,

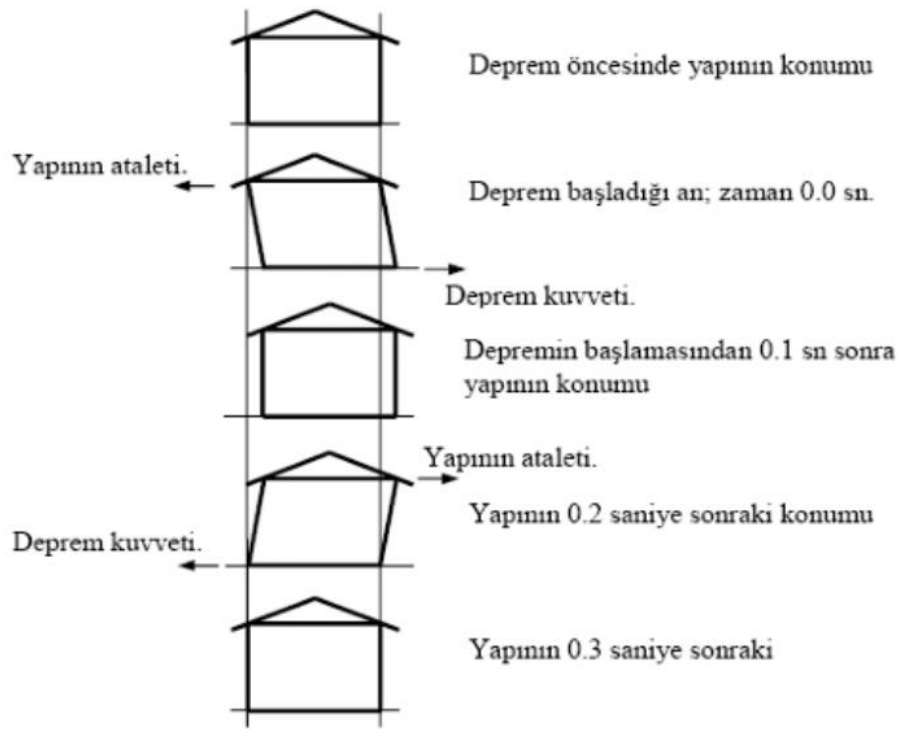
küçük şiddetli depremlerde bile önemli çatlaklar ve hasarlar meydana gelebilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yığma yapı deprem hasarı (Türkoğlu A. , 2022).

Yığma yapılarda oluşan çatlakların ve hasarların yönü, biçimi ve genişliği, yığma binanın dış duvarlarındaki pencere ve kapı boşluklarının yerine ve alanına, duvarlarda oluşan düşey gerilmeye ve etkiyen yatay deprem kuvvetlerine bağlıdır.

Zeminde meydana gelen deprem hareketi, binayı bir yöne doğru hareket ettirir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, bina ağırlığı, bu harekete karşı direnç oluşturarak başlangıç konumuna geri dönmek ister. Atalet kuvvetleri, yapının direnç gösterdiği şeydir. Sonuç olarak, deprem ve atalet kuvvetleri yapıyı iki yönde hareket ettirmek isterler; eğer yapının rijitliği yeterliyse, yapı çatlamadan durabilir. Bu rijitlik olmadığı durumlarda, duvarlarda çatlaklar oluşur ve deprem devam ederse bu çatlaklar genişler ve yapı duvarlarında hasar oluşturur. Simetrik plana sahip olmayan yığma yapılarda rijitlik ve ağırlık merkezlerinin birbirine yakın olmadığı durumlarda çatlak olasılığı daha yüksektir.



Şekil 3.6. Deprem kuvveti etkisinde yapı davranışı (Türkoğlu A. , 2022)

3.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler

Yığma yapılar, taşıyıcı duvarları doğal taş, tuğla, beton blok, kerpiç gibi malzemelerle yapılan ve bu malzemelerin harç kullanılarak birleştirildiği yapılardır. Yığma bina inşaatında kullanılan malzemeler, yapıların dayanıklılığı, güvenliği ve uzun ömürlülüğü açısından büyük önem taşımaktadır. Yığma yapı elemanları (kargir birimleri) genellikle yüksek basınç ve düşük çekme dayanımına sahip malzemelerden yapılmaktadır.

Yığma binaların tasarım ve inşasında bu malzemeler çok önemlidir. Her malzemenin belirli özellikleri ve kullanım alanları vardır. Bu nedenle yapıların dayanıklılığı ve performansı açısından doğru malzeme seçimi çok önemlidir (Kara, 2009).

3.4. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Dayanımı

Yığma yapılarda kullanılan Kargir birimler, kullanılan malzemenin türü ve delik oranına göre iki gruba ayrılmıştır (Tablo 3.1). Donatı yerleştirilecek ve harçla tamamen doldurulacak birimdeki boşluklar, delik oranı hesaplamasında dikkate alınmayacaktır.

Bununla birlikte, dikkate alınmayan bu delik oranı yüzde 15'in altında olmayacaktır (TBDY, 2018).

Tablo 3.1. Kargir Birimlerini Delik Oranlarına Göre Gruplandırma (TBDY, 2018).

Kargir Birim Cinsi ^(*)	Grup I	Grup II
Tuğla	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$
Beton	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$

Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (f_k) iki şekilde belirlenebilir.

- TS EN 1052-1 standartlarına uygun olarak duvar numuneleri üzerinde yapılan deneylerdir.
- İkincisi, TS EN 772-1 ve TS EN 1015-11 standartlarına uygun olarak harç ve kargir birim üzerinde yapılan deneylerden elde edilen basınç dayanımları kullanılarak belirlenmektedir.

Tablo 3.2'de çeşitli duvar türlerinin karakteristik basınç dayanımlarına ilişkin bilgiler gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Yığma Taşıyıcı Duvarların Karakteristik Basınç Dayanımı (f_k), (MPa) (TBDY, 2018).

Birim-Birim Sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa) [*]	Kargir birim basınç dayanımı, f_b (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel amaçlı harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
		M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
Grup II ve Kesme taş		M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Tuğla (Grup I)	İnce tabakalı harç ^{**}		2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Tuğla (Grup II)			2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I), Gazbeton			3.1	5.7	8.0	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10.0	11.7

3.5. Yığma Yapılarda Deprem Hesabı

TBDY-2018'e göre yığma binaların yapısal çözümlemesi için iki yöntem kullanılması önerilmiştir. Bunlar sonlu elemanlar yöntemi ve eşdeğer çubuk yöntemidir. Yapısal çözümleme sonlu elemanlar yöntemi veya eşdeğer çubuk yönteminden birisi ile gerçekleştirilebilir. Taşıyıcı duvar, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla yapılacak çözümlemede, ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme yöntemi kullanılarak modellenebilir. Yığma duvarlar her modelde farklı şekilde kabul edilir. Tüm kargir malzemeler ve yatay-düşey derzler ayrıntılı mikro modelleme için ayrıntılı olarak incelenir. Basitleşmiş mikro modellemede, yatay-düşey derz boşluklarına dikkat etme ihmal edilir. Makro modelleme, yığma duvarları kompozit olarak kabul eder.

Eşdeğer çubuk yöntem ile yapılacak çözümlemede, yığma duvarın rijitliği kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesaplanır.

Taşıyıcı duvarların etkin rijitliği, donatısız, donatılı, kuşatılmış ve panel sistemli yığma binalarda brüt rijitliğin %50'si kadar azaltılarak belirlenir. Bu etkili rijitlikler kullanılarak hesaplanan yer değiştirmeler nedeniyle ortaya çıkan görelî kat öteleme oranı, R/I katsayısı ile çarpımının 0.007 değerinin altında olacaktır.

Tüm yığma yapı türlerinde rijit diyafram etkisini sağlaması için en az 10 cm kalınlığında betonarme döşeme tasarlanacaktır. Bu döşeme en az 30 cm kesit yükseklikli ve boyuna $6\phi 12$, enine $\phi 8/15$ cm donatılı kirişlere mesnetlenecektir. Kirişlerin genişliği, en az duvar kalınlığı kadar bırakılacaktır (TBDY, 2018).

3.6. Taşıma Gücü Yöntemine Göre Hesap

TBDY 2018'e göre yığma yapılarda N_{Ed} (Yığma duvarlara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti), N_{Rd} (duvarların düşey yük tasarım dayanımı)'den küçük olacaktır. Yani $N_{Ed} \leq N_{Rd}$ olacaktır. Tek katmanlı yığma yapının taşıyıcı duvarın birim uzunluğunun düşey yük tasarım dayanımı Denklim 1.1'de verilmiştir. Yığma duvarların tasarım basınç dayanımı ise Denklem 1.2 ile hesaplanacaktır.

$$N_{Rd} = \lambda A f_d \quad (3.1)$$

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (3.2)$$

Narinlik oranı (h_{ef}/t_{ef}) 6'dan küçük olduğunda 1.0, 6'dan 10'a kadar olduğunda 0.8 ve 10'dan 15'e kadar olduğunda 0.7 alınacaktır. Yönetmelik narinlik oranının 15'ten fazla olmasına izin vermemektedir.

TBDY-2018'e göre donatısız yığma duvarların tasarım kesme kuvveti dayanımı (V_{Rd}), duvar kesme kuvveti dayanımından (V_{Ed}) daha yüksek olmalıdır.

TBDY 2018'e göre panel sistemli duvarlar ve donatılı yığma duvarların çekme dayanımı ihmal edilmektir. Çekme dayanımı donatılara aktarılmaktadır. Betonarme kesit hesabına benzer bir hesap yapılır. Tasarım momenti (M_{Ed}), tasarım dayanım momentinden (M_{Rd}) küçük olmalıdır.

TBDY-2018'de donatılı yığma duvarlar için verilen hesap kurallarına göre, kuşatılmış yığma binalarda düşey yükler veya eğilmeye maruz kalan eleman hesaplanır. Duvarın basınca çalışan kısmında yığma dayanımı dikkate alınır ve donatı ile beton katkısı dikkate alınmaz. Düşey hatıllar deprem hesabında dikkate alınmaz, ama çekme doğrultusunda çalışan donatılar dikkate alınır. Analiz sırasında dikkate alınmayan hatılların kesme kuvveti dayanımları toplanarak duvarın kesme dayanımına eklenir. Donatısız yığma binalar için kesme kuvveti hesabında sadece beton katkısı dikkate alınır ve eksenel kuvvet ihmal edilir (TBDY, 2018).

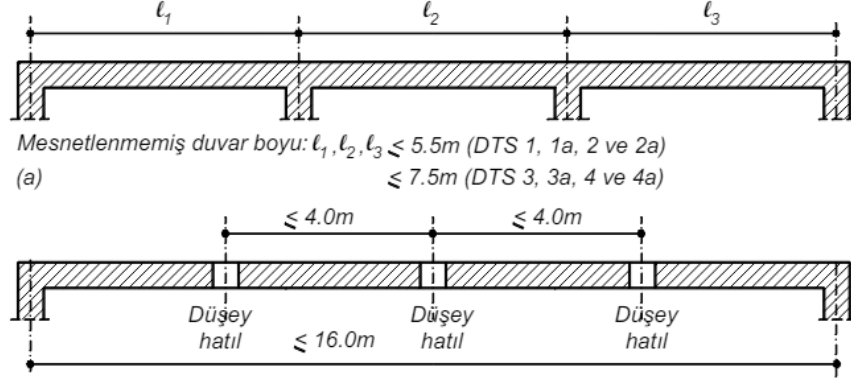
3.7. Diğer Tasarım Kriterleri

TBDY-2018'de yığma binalarda duvarı, taşıyıcı duvar olarak kabul etmek için belirli koşullar sağlanmalıdır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Maksimum ve Minimum Kesme Kuvveti Duvarlarında Uygulanacak Koşullar (TBDY, 2018).

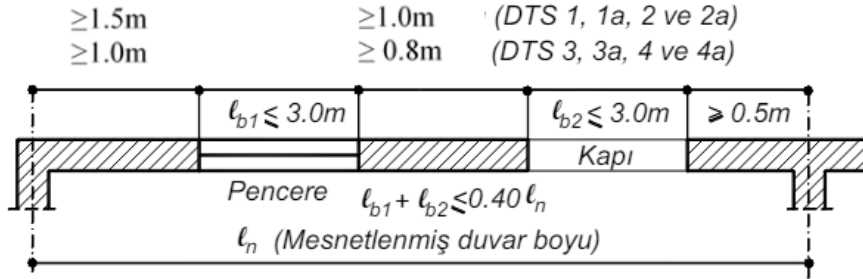
Yığma Tipi	$(t_{ef})_{min}$ (mm)	$(h_{ef} / t_{ef})_{max}$
Donatısız yığma, doğal veya yapay kesme taş ile	350	9
Donatısız yığma, diğer kargir birimler ile	240	12
Kuşatılmış yığma	240	15
Donatılı yığma	240	15
Donatılı panel sistemler	200	15

Şekil 3.7'de verilen koşullar, donatısız yığma yapı ve kuşatılmış yığma yapılarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler için geçerlidir. Bu boyut sınırları, donatılı yığma ve donatılı panel sistemli yapılarda %20 artırılabilir.



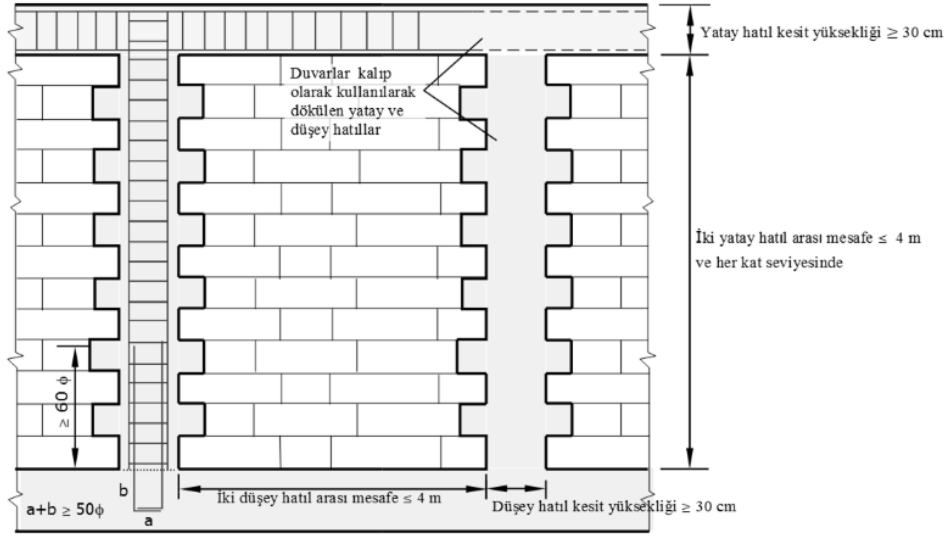
Şekil 3.7. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler (TBDY, 2018).

Yığma yapıların kapı ve pencere boşluklarına betonarme lentolar yerleştirilir. Yığma duvara oturan lento kısımlarının boyu 20 cm'den az olmayacak şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Taşıyıcı yığma duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarında uygulanacak kurallar (TBDY, 2018).

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi kuşatılmış yığma yapılarda düşey ve yatay hatıllar, yığma duvarların örülmesinden sonra ve iki duvar arası kalıp olarak kullanılarak beton dökülür.

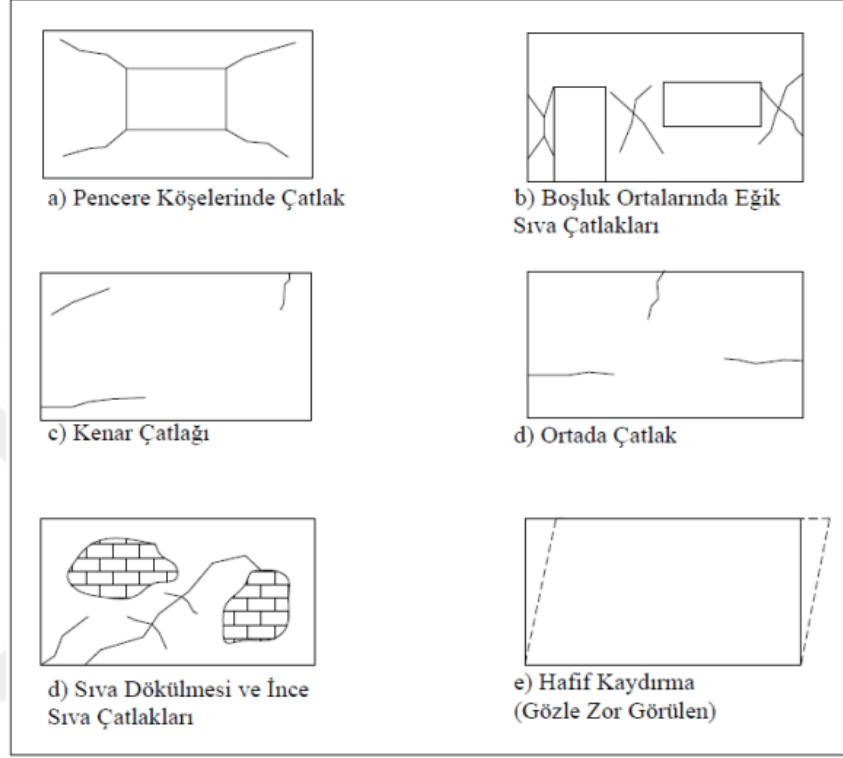


Şekil 3.9. Kuşatılmış yığma yapı taşıyıcı duvar örme şekli (TBDY, 2018).

Kuşatılmış yığma yapı numunelerin yapımında, serbest kenarlarında, her 4 metrede bir, duvar kalınlığı kadar düşey hatıl yerleştirilir. Bu hatılarda boyuna $6\phi 12$, enine $\phi 8/15$ cm donatı yerleştirilmelidir. Donatılı yığma yapılarda her 60 cm'de yatay donatılar yerleştirilir. Ve bu donatıların oranı duvar brüt kesit alanının en az yüzde 5'i olacaktır. Donatılı yığma yapıda, düşeyde de 60 cm arayı geçmeyecek şekilde düşey donatılar kargir birimdeki deliklere yerleştirilir ve bu delikler bağlayıcı harç ile doldurulur. Yerleştirilen düşey donatıların oranı ise duvar brüt kesit alanı üzerinden en az yüzde 8'i olacaktır (Şekil 3.10).

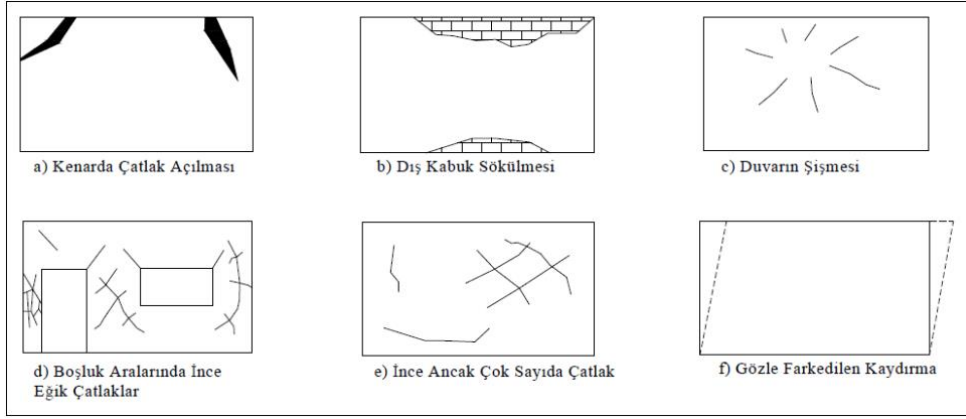
Donatılı yığma yapılarda bırakılan kapı ve pencere boşluklarının her bir kenarı boyunca $2\phi 12$ ek donatı konulmalıdır. Duvar kesitlerinin en uç bölgelerinde $\phi 4$ cm'den küçük olmayan açık etriye yerleştirilmelidir (TBDY, 2018).

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi kılcal boyutlarda yani 1 mm’den daha ince yüzeysel sıva çatlaklarının olduğu binalar hasarsız veya az hasarlı binalardır. Sözü edilen hasar düzeyindeki yapılarda, duvarın düzlemi dışına eğilmeye çalıştığı için yatay ve dikey çatlaklar oluşur. Bu tür binalar deprem sonrası güçlendirme ve onarım gerektirmez.



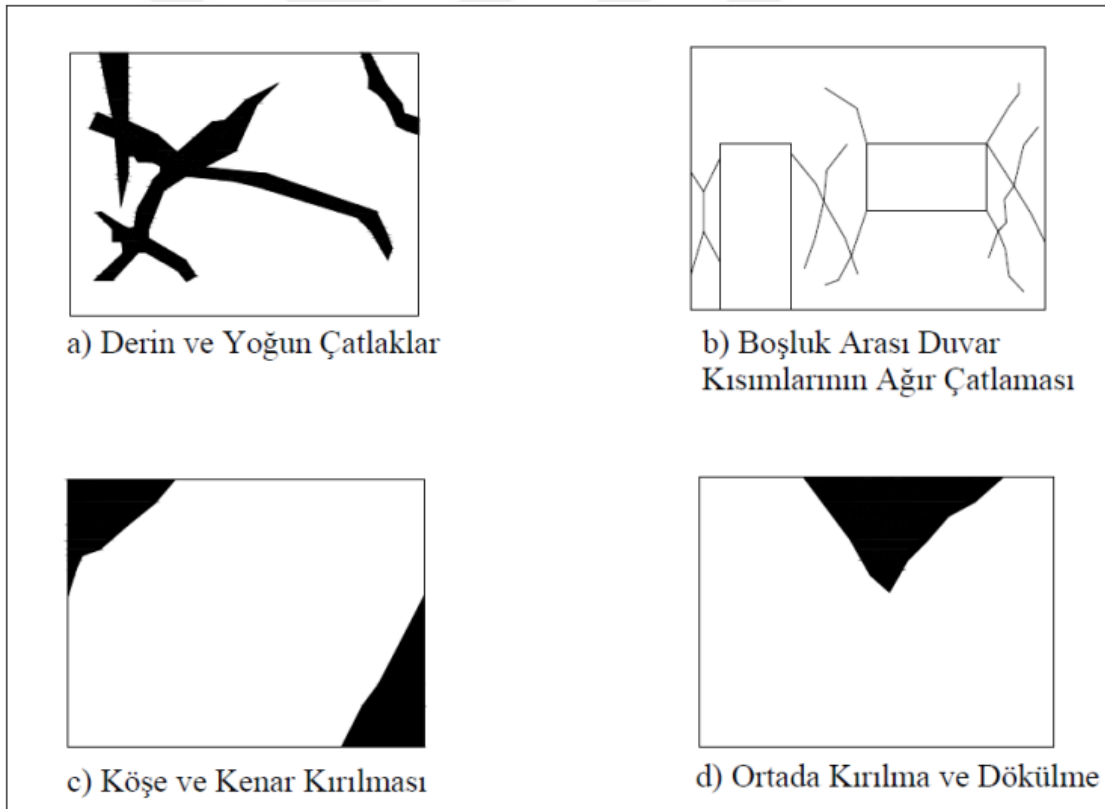
Şekil 3.11. Az hasarlı olan yığma duvar çatlakları (Özsaraç, 2009)

Çatlak genişliği 1’den 15 mm’ye ulaşmış yığma binalar orta hasarlı yığma binalar olarak isimlendirilmektedir. Söz konusu binaların anlaşılmasındaki en kritik özellik X tipi çatlaklara sahip olmasıdır. Duvarlar elastik olarak taşıyabilecekleri sınırı aşmış olsalar da düzlemin dışına fazla deforme almamışlardır. Bu hasar düzeyinde bina güçlendirilmelidir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Orta hasarlı yığma duvarları (Özsaraç, 2009)

25 mm çatlak genişliğindeki yığma yapılar çok ağır hasarlı olarak kabul edilir. Bu hasar düzeyinde, duvarın kesme çatlakları artık çok büyüktür. Duvarların düşey yönünden ayrılması, köşelerden ayrılması, şişmesi ve kısmen yıkılması da görülebilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Ağır ve çok ağır hasarlı yığma duvar örnekleri (Özsaraç, 2009)

4. YAPI DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİ

Yapılar, kütle, rijitlik ve sönümlenme özelliklerine bağlı olarak özgün dinamik karakteristiklere sahiptirler. Yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesiyle, yapı sistemlerinin dinamik yük etkisi altındaki davranışları belirlenebilmektedir. Genel olarak yapı sistemlerinin dinamik karakteristikleri ise doğal periyot, doğal titreşim, doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranıdır.

4.1. Doğal Periyot

Yapının önemli dinamik parametrelerinden biri olan yapının doğal titreşim periyodu, yapının bir devri tamamlaması için geçen süreye denir (Şekil 4.1). Doğal titreşim periyodu genellikle T ile gösterilir ve denklem (4.1) ile elde edilebilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (4.1)$$

T = Doğal titreşim periyodu (Sn.)

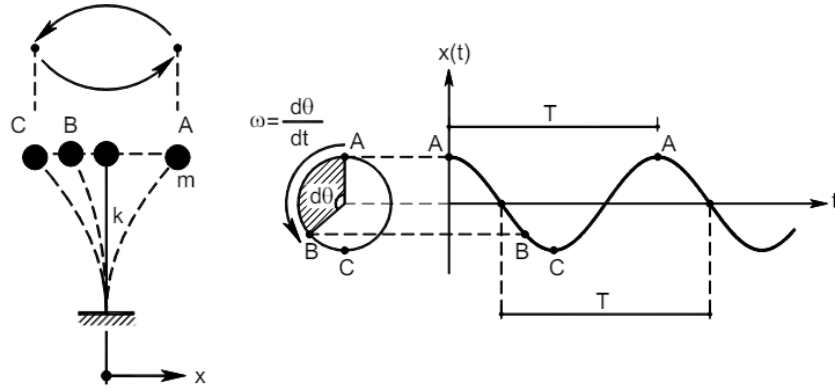
M = Yapının kütlesi (Kg)

K = Yapının rijitliği (N/m)

Deprem mühendisliğinde dinamik yükler altında yapının davranışını incelemek için yapının doğal titreşim periyodunun belirlenmesi çok önemlidir ve dinamik analizlerde çok önemli rol oynar.

4.2. Doğal Titreşim Frekansı

Yapının doğal titreşim frekansı, yapının doğal titreşim periyodunun tersidir ve yapının bir saniyede kaç kez salınım yaptığını belirtir. Doğal titreşim frekansı (f) ile tanımlanır ve birimi bir saniyede yapılan çevrim belirten Hertz (Hz) ya da $1/s$ 'dir. Açısal doğal frekans titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterildiğinde birim zamanda taranan açı olarak tariflenir ve rad/s birimindedir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, bir periyotluk süre geçtiğinde A noktası tekrar A noktasına geldiğinde taranan açı 2π radyan olacaktır. Bu üç büyüklük arasındaki bağlantılar şunlardır:



Şekil 4.1. Doğal periyot ve doğal açısal frekans

Bu üç büyüklük arasındaki bağlantılar şunlardır:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (4.2)$$

Açısal frekans ve rijitlik arasındaki bağlantı ise

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.3)$$

Doğal periyot, yapının kütlesi arttıkça büyür. Yapının öteleme rijitliği arttığında (örneğin perde, kolon gibi düşey taşıyıcıların boyutları arttığında) periyot değeri düşer (Sert & Beyan, 2019) (Umudum, 2014).

4.3. Sönüm Oranı

Sönüm oranı olarak da adlandırılan bir yapının doğal sönüm oranı, yapı dinamiğinde önemli bir parametredir. Deprem yükleri, rüzgâr yükleri veya diğer titreşimler gibi dinamik olaylar sırasında bir binanın hareket enerjisini dağıtma oranını ölçer.

Sönümleme oranı boyutsuzdur ve genellikle kritik sönümün bir kesri olarak temsil edilir; bu, bir sistemin dinlenme konumundan çıkarıldığında salınımını önleyen minimum sönüm miktarıdır.

Literatürde önerilen bazı yaygın sönüm oranı türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Viskoz Sönüm (Viscous Damping)
- Rijitlikle Orantılı Viskoz Sönüm (Stiffness-Proportional viscous Damping)
- Kütleyle Orantılı Viskoz Sönüm (Mass-Proportional viscous Damping)
- Kütle ve Rijitlikle Orantılı (Rayleigh) Viskoz Sönüm (Mass and Stiffness Proportional Damping)
- Coulomb Sönümü (Coulomb Damping)
- Çevrimsel Sönüm (Hysteretic Damping)
- Enerji Yayılma Sönümü (Radiation Damping)

Mühendislik uygulamalarında, bu sönüm türleri, çeşitli sistemlerin güvenliğini ve dinamik performansını optimize etmek için kullanılır. Sistemin özellikleri ve çalışma koşulları, kullanılacak sönümün türünü belirler (Karahmetli & Dündar, 2017)

Yapı sistemlerinin sönüm oranı belirlenebilmesi için Denklem (4.4)'ten yararlanabilir.

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} \quad (4.4)$$

ζ = Sönüm oranı

c = Sönüm sabiti

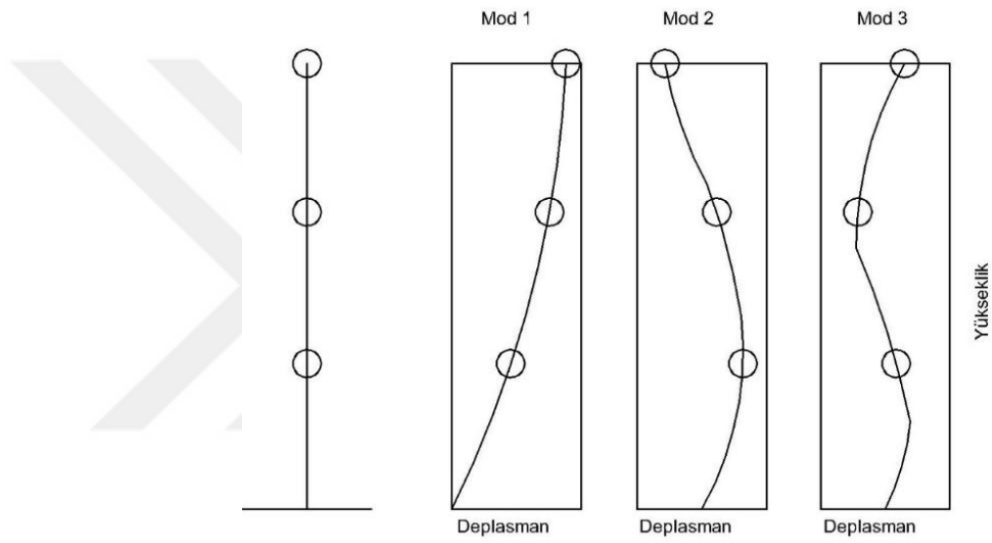
m = Yapının kütle

ω_n = Doğal titreşim frekans (Umudum, 2014)

4.4. Mod Şekilleri

Mod şekilleri, yapılarının dinamik analizlerinde önemli bir kavramdır. Bir yapı sistemi, doğal frekansında titreşirken elde ettiği şekil o yapının mod şeklidir. Ayrıca, mod şekilleri yapıların deformasyonlarını belirleyen geometrik bir salınım şekilleri olarak da adlandırılabilir (Sayın, 2022).

Mod şekli her biri ayrı ve kendine özgü bir frekansta gerçekleşir. Yapı sisteminin kütleline, sönüm oranına ve rijitliğine göre mod şekilleri değişebilir. Üç katlı bir yapı için mod şekilleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir (Nakipoğlu, 2024).

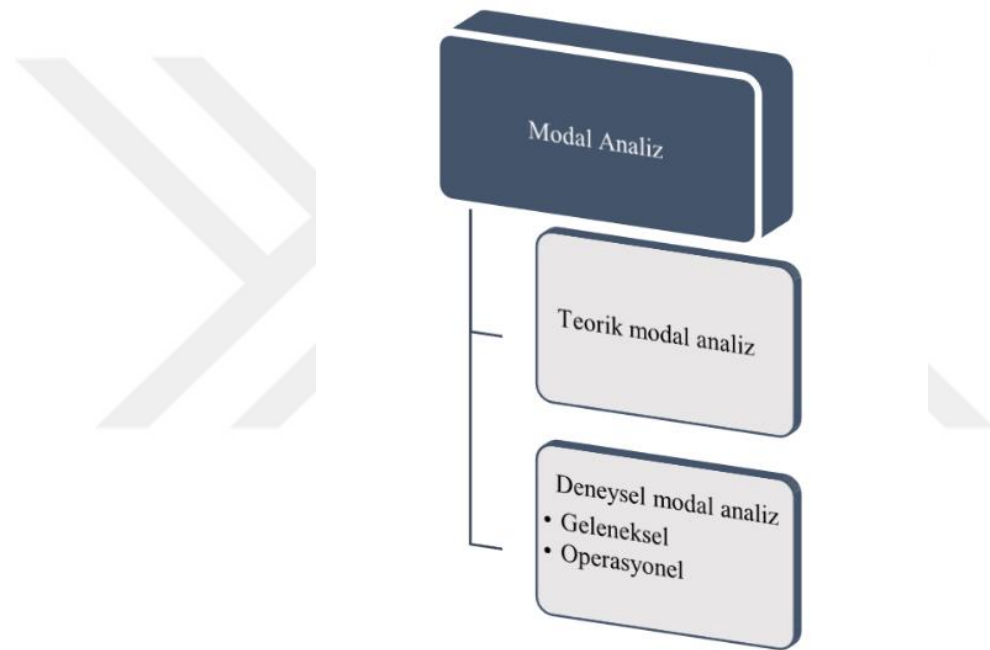


Şekil 4.2. Üç katlı bir yapı için mod şekilleri (Nakipoğlu, 2024)

5. DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ (MODAL ANALİZ)

Dinamik analiz yöntemleri, deprem mühendisliği alanında büyük öneme sahiptir. Dinamik modal analiz, yapı sistemlerinin dinamik davranışı hakkında bilgi edinmek, dayanıklı ve daha güvenli tasarımları yapabilmek için çok önemli bir husustur. Yapının dinamik karakteristikleri yani doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı incelenmesi modal analiz olarak adlandırılmaktadır (Akbaş, 2020).

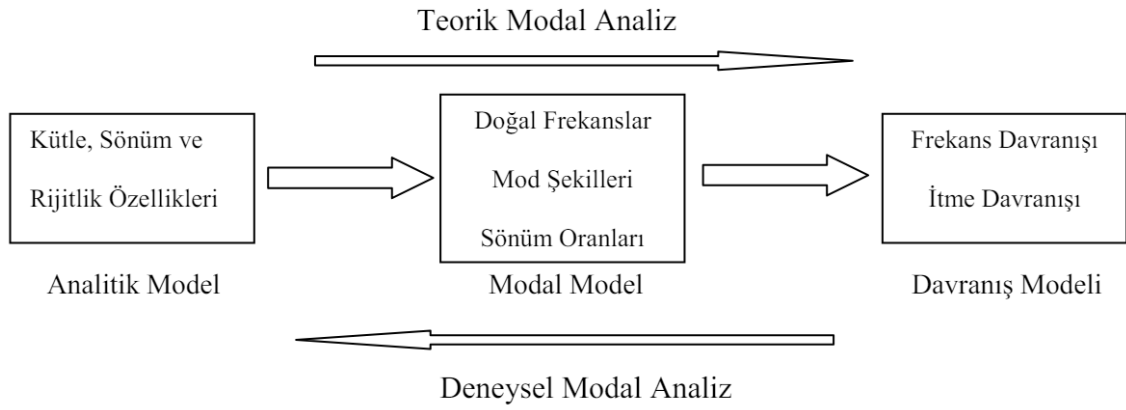
Modal analiz, deneysel ve teorik olarak iki farklı yöntem ile belirlenebilir. Şekil 5.1'de dinamik modal analiz yöntemleri gösterilmiştir (Nakipoğlu, 2024).



Şekil 5.1. Dinamik modal analiz yöntemleri (Nakipoğlu, 2024).

Yapının dinamik davranışlarının analitik yöntemler ile incelenmesi teorik modal analiz yöntemi olarak adlandırılır. Deneysel modal analiz ise sisteme etki eden kuvvetin veya ivmenin yanı sıra sistemden alınan ivmenin analiz edilmesidir.

Teorik ve deneysel modal analiz yöntemleri için işlem sıraları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Teorik ve deneysel modal analiz yöntemleri için işlem sıraları (Sert, 2019).

5.1. Teorik Modal Analiz

Teorik modal analiz yöntemi, yapıların dinamik karakteristikleri, analitik modeller veya yaklaşık hesaplardan yararlanılarak analiz yapılan bir yöntem çeşididir. Analitik modelleme için çok sayıda program vardır. Türkiye bina deprem yönetmeliğinde bahsi geçen formüllerden faydalanarak analitik hesaplamalar yapılabilir.

Yürürlükte olan Türkiye bina deprem yönetmeliğe göre teorik analiz süreçlerinde yapının birinci doğal titreşim periyodu Denklem (5.1) kullanılarak yaklaşık olarak bulunabilir (Bayraktar, ve diğerleri, 2010).

$$T_n = C_t (H_n)^{3/4} \quad (5.1)$$

Burada;

T_n = Yapı doğal titreşim periyodu

C_t = Bina taşıyıcı sistemine bağlı katsayısı

H_n = Yapı toplam yüksekliğidir.

TBDY-2018'e göre Rayleigh periyot formülü vasıtasıyla da elde edilebilir Denklem (5.2).

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i d_i}} \quad (5.2)$$

N = Yapının katsayısı

m = Kat kütlesi

d = Katın yanal yük etkisiyle oluşan deplasman

F = Kata etkiyen yanal yük

5.2. Deneysel Modal Analiz

Deprem mühendisliğinde deneysel modal analiz, yapıların dinamik özelliklerinin anlaşılmasında çok önemlidir. Deneysel modal analiz yöntemleri, yapıların dinamik parametrelerinin (doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi) belirlenmesi amacıyla kullanılan önemli tekniklerdir. Bu yöntemler, yapıların titreşim davranışını anlamak ve değerlendirmek için kullanılır. Geleneksel modal analiz ve operasyonel modal analiz olmak üzere iki ana yonteme ayrılır.

5.2.1. Geleneksel modal analiz yöntemi

Geleneksel modal analiz yöntemi, yapıya bilinen bir kuvvet uygulayarak yapının dinamik karakteristiklerini belirlemeyi amaçlar. Bu yöntemde uygulanan kuvvetin genliği ve zamanla değişimi bilinmektedir. Bu kuvvetin etkisi altındaki yapının tepkisi ölçülerek analiz yapılır (Bayraktar, ve diğerleri, 2010)

5.2.2. Operasyonel modal analiz yöntemi

Operasyonel modal analiz (Operational Modal Analysis- OMA) yöntemi, yapıların çevresel veya operasyonel yükler altında doğal davranışlarını analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Operasyonel modal analiz yönteminde titreşimler (çevresel koşullar) ölçülmektedir. Bu nedenle, OMA genellikle çevresel titreşim testi olarak da adlandırılır. Belirli olmayan deprem, rüzgâr, taşıt, insan hareketi ve makine titreşimleri gibi faktörler yapıların genliğini ve zamanla nasıl değiştiğini etkiler (Bayraktar, ve diğerleri, 2010).

Operasyonel modal analiz yönteminde bilinmeyen etki ve ölçülen tepki fonksiyonları arasındaki bağıntı Denklem 5.3'te verilmiştir.

$$[G_{YY}(\omega)] = [H(\omega)] * [G_{XX}(\omega)][H(\omega)]^T \quad (5.3)$$

Burada;

$[G_{XX}(\omega)], [G_{YY}(\omega)]$ = Etki, tepki sinyallerin güç spektral yoğunluk fonksiyonları

$[H(\omega)]$ = Frekans davranış fonksiyonu

T = Fonksiyonların eşlenik ve transpozesi

5.3. Deneysel Modal Analiz Yönetmeyle Modal Parametrelerin Elde Edilmesi

Titreşim deneyleri sonucunda modal özelliklerin (doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları) belirlenebilmesi için ham verilerin işlenmesi önemli bir adımdır. Bu süreç, çeşitli aşamaları içerir ve genellikle bilgisayar programları kullanılarak gerçekleştirilir. Devamında, verileri düzenlemek, hataları düzeltmek, kalibre etmek, filtrelemek ve sinyal işleme yapılır. İşlenen veriler ve grafikler tamamlandığında modal parametreler belirlenir. Modal özelliklerin deneysel veriler üzerinden belirlenmesinde kullanılan yöntemler, genel olarak, frekans tanım alanı ve zaman tanım alanı yöntemleridir (Nakipoğlu, 2024).

Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi, Tepe Seçme yönteminin geliştirilmiş bir halidir. Geliştirilmiş Frekans Alanında Ayrıştırma Yöntemi, yapıların dinamik özelliklerine zaman tanım alanındaki güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak Ters Fourier Dönüşümü vasıtasıyla ulaşmaktadır (Sayın, 2022).

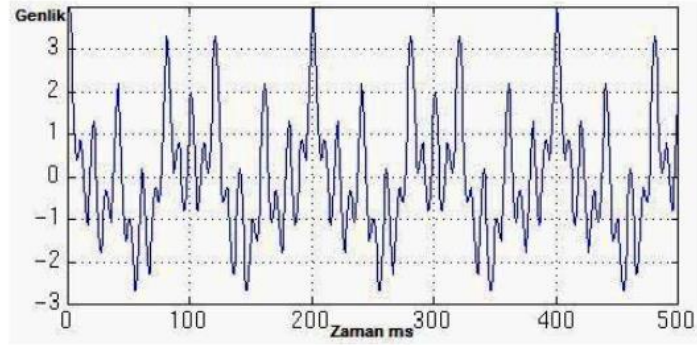
5.3.1. Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümü, dinamik analizlerde çok amaçlı bir araç olarak kullanılır ve modal parametrelerin belirlenmesinin yanı sıra titreşim verilerinin filtrelenmesi ve frekans davranış fonksiyonunun elde edilmesi gibi işlemler için de yaygın olarak kullanılmaktadır.

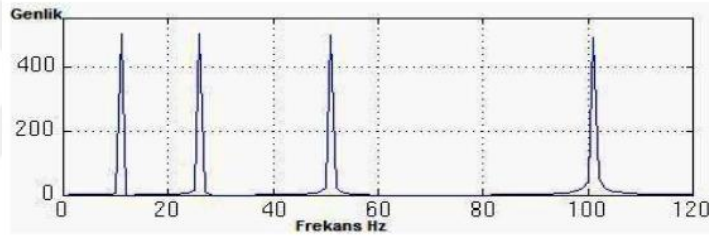
Testler neticesinde zamana bağlı veriler elde edildikten sonra, hesaplamadaki ve uygulamadaki düzenlilikler bu aşamaların basitleştirilmesi amacıyla Fourier dönüşümü yapılarak frekans tanım alanına dönüştürülür (Nakipoğlu, 2024).

Fourier dönüşümleri olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Sürekli fourier dönüşümleri ve durağan sinyallerin fourier dönüşümleri (Gür, 2013).

Şekil 5.3'te durağan sinyal ve Şekil 5.4'de durağan sinyalin fourier dönüşümü gösterilmiştir.

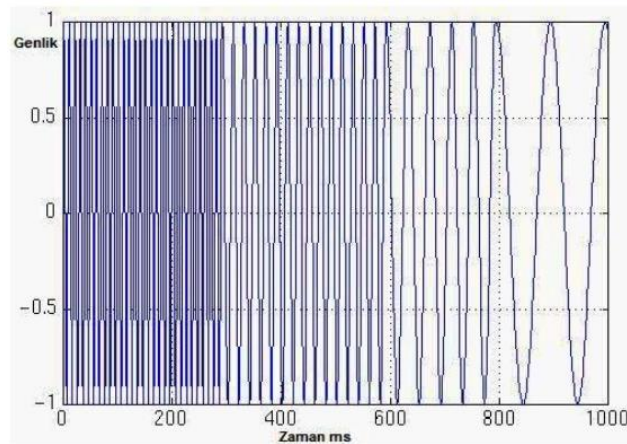


Şekil 5.3. Durağan sinyal (Gür, 2013)

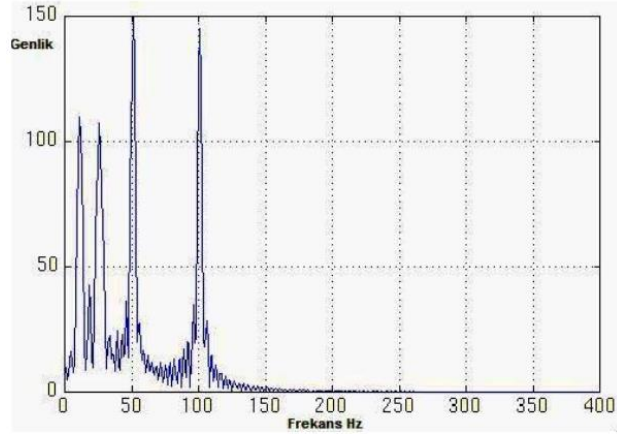


Şekil 5.4. Durağan sinyalin fourier dönüşümü (Gür, 2013)

Şekil 5.5'te Sürekli (durgun olmayan) sinyal, Şekil 5.6'da ise durağan olmayan sinyalin fourier dönüşümü gösterilmiştir. Frekanslar ise farklı genliklerde dir



Şekil 5.5. Sürekli sinyal (Gür, 2013)



Şekil 5.6. Durağan olmayan fourier dönüşümü (Gür, 2013)

5.3.2. Transfer fonksiyonu (FRF)

Transfer fonksiyonu veya frekans davranış fonksiyonu (FRF), deneysel modal analizde bir yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesinde en kritik role sahip bir yöntemdir. Bu fonksiyonun oluşturulabilmesi için öncelikle titreşim testleri yardımıyla girdi (etki) ve çıktı (tepki) verileri elde edilmektedir. Standart bir frekans davranış fonksiyonu (FRF), frekans tanım alanında bir sistemde tepkinin etkiye oranını gösterir.

5.3.3. Sızıntı

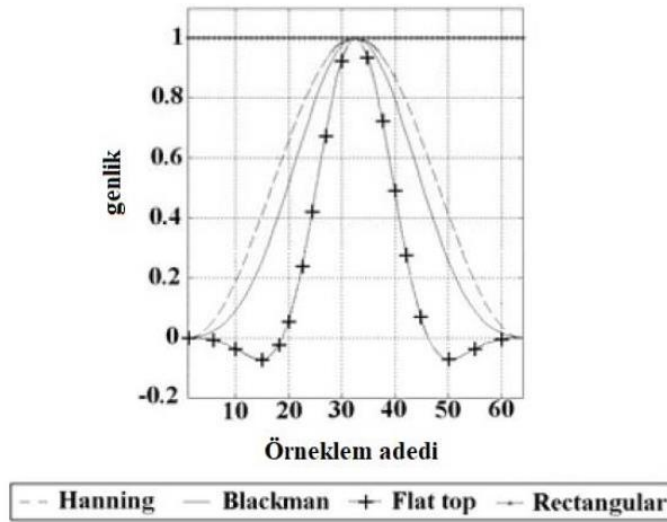
Sızıntı hatası, ölçümlerin sonlu bir gözlem süresi içinde yapılması sebebi ile meydana gelmektedir. Sızıntı hataları, sinyalin spektral analizinde daha doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur ve sızıntı hatalarını en aza indirir.

Sızıntı, dijital sinyal işleme sırasında ortaya çıkan yaygın ve ciddi bir hatadır. Sızıntı, frekans spektrumunda istenmeyen frekans bileşenlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu, FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanarak zaman alanındaki sinyallerin frekans alanına dönüştürülmesi sırasında oluşur. Sızıntının etkileri tamamen ortadan kaldırılamaz; ancak, çeşitli yöntemler kullanılarak etkileri azaltılabilir (Kaya, 2022), (Nakipoğlu, 2024).

5.3.4. Pencereleme

Pencereleme, hızlı Fourier dönüşümü (FFT) analizi sırasında sızıntı (leakage) etkisini en aza indirmek için kullanılan bir tekniktir. FFT, örneklenen sinyalleri periyodik olarak kabul eder, ancak gerçek sinyaller genellikle bu varsayımı karşılamaz. Bu durumda sızıntı, frekans spektrumunda yanlış bileşenlerin görünmesine neden olur. Pencereleme, bu bozulmayı azaltmak için örneklenmiş veriye uygulanır (Avitabile, 2001).

Literatürde çeşitli pencereleme fonksiyonları vardır, sinyal işleme uygulamalarında farklı analiz gereksinimlerine göre seçilir. Her pencereleme fonksiyonu, sızıntıyı azaltmak için sinyale belirli bir ağırlıklandırma uygular ve bu da sinyalin frekans bileşenlerinin daha doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır. Şekil 5.7’de yaygın kullanılan bazı pencere fonksiyon çeşitleri gösterilmektedir (Nakipoğlu, 2024).



Şekil 5.7. Pencere fonksiyon çeşitleri (Nakipoğlu, 2024)

5.3.5. Hızlı Fourier dönüşümü

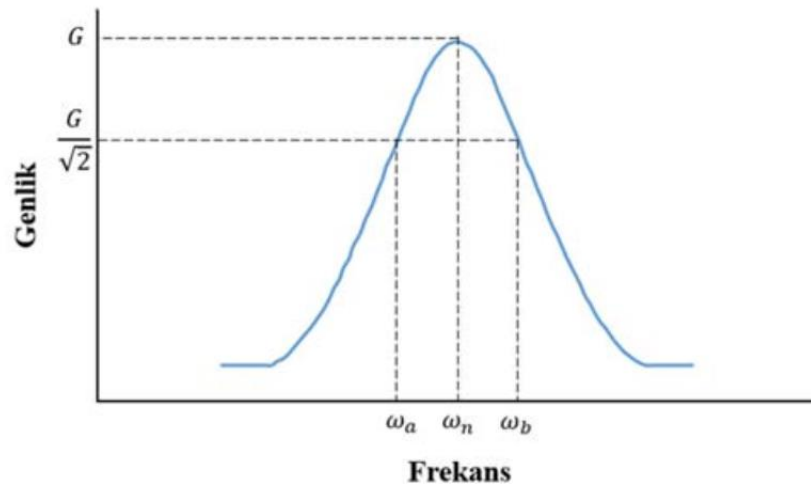
Hızlı Fourier dönüşümü (FFT), Fourier dönüşümünün bir algoritmasıdır. Ve özellikle zaman tanım alanındaki değerleri frekans tanım alanına dönüştürmede önemli bir araçtır. Frekans tanım alanına çevirme işlemi, ölçüm sonuçlarının baskın frekans bileşenlerini belirlemek için yapılmaktadır. Bu işlem, çeşitli sistemlerin dinamik davranışlarını anlamak için kullanılır. Frekans tanım alanına çevirmesiyle, baskın frekanslar ve mod şekilleri gibi önemli bilgiler elde edilebilmektedir (Sayın, 2022).

5.3.6. Tepe tutma (Peak picking)

Tepe tutma yöntemi frekans tanım alanında çalışan bir yöntemdir. Bu yöntem rezonans frekanslarını belirlemek için kullanılır. Tepe tutma yöntemi, bir sistemin Frekans Yanıt Fonksiyonu (FRF) grafiğindeki en yüksek tepe noktalarını belirleyerek rezonans frekanslarını tespit eder. Yöntemin temel varsayımı, rezonans frekansının etrafındaki tepkiye yalnızca o rezonans modunun hâkim olduğudur. Tepe genliği yöntemi de tepe tutma yönteminin bir başka adıdır (Nakipoğlu, 2024).

5.3.7. Yarım güç bant genişliği

Yarım güç bant genişliği, deneysel modal analizde sönüm oranının (ζ) belirlenmesinde büyük öneme sahip bir yöntemdir. İnşaat mühendisliği yapılarında yarım güç bant yöntemi yardımıyla sönüm oranı bulunabilmesi için Şekil 5.8'deki grafik üzerinde işaretlenen tepe noktası G değeri $\sqrt{2}$ 'ye bölünerek, elde edilen değerlere denk gelen ω_a ve ω_b belirlenmektedir. Takibinde Denklem (5.4) yardımıyla yapının sönüm oranı saptanmaktadır (Karaahmetli & Dünder, 2017).



Şekil 5.8. Yarım güç bant genişliği yardımıyla sönüm oranının bulunabilmesi (Karaahmetli & Dünder, 2017)

$$\zeta = \frac{\omega_b - \omega_a}{2\omega_n} \quad (5.4)$$

$\omega_a, \omega_b = G / \sqrt{2}$ noktasından çizilen doğrunun eğriyi kestiği noktalara denk gelen frekans değerleri

$\omega_n =$ Doğal titreşim frekansı

$\zeta =$ Doğal sönüm oranı



6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 1/2 ölçekte tek katlı üç boyutlu TBDY-2018'de yer alan donatılı yığma yapı ve donatısız yığma yapı çeşitlerinin dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiş ve maliyet açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Numunelerin imalatı ve deneyleri Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Donatılı ve donatısız yığma yapılar sarsma tablası üstünde zorlayıcı yükler altında test edilmiştir.

6.1. Yığma Yapı Olarak Tasarlanan Numuneler Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışma kapsamında aynı geometrik özelliklere sahip donatılı ve donatısız yığma yapılar sarsma tablasında dinamik etki altında test edilmiştir. Çalışmada donatılı ve donatısız yığma yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

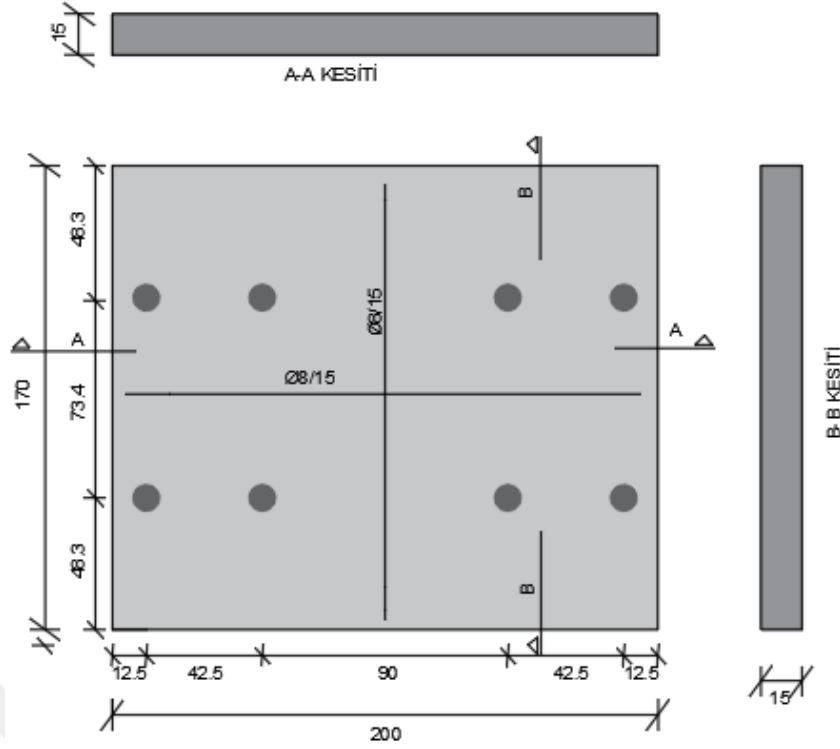
TBDY-2018'e göre minimum şartları sağlayarak iki deneyde aynı fiziksel ve mekanik özellikleri sahip olan bağlayıcı harç ve taşıyıcı yığma tuğla kullanılmıştır.

Deney numunelerinin yapımında dikkate alınan hususlar aşağıda verilmiştir.

- 1- Donatılı ve donatısız yığma numuneler için aynı geometrik özellikleri sahip temeller inşa edilmesi
- 2- Donatılı ve donatısız yığma duvarın delikli tuğlayla normal harç kullanılarak örülmesi
- 3- Donatılı ve donatısız yığma numunelerde aynı yönlerde kapı ve iki pencere boşluğu bırakılması.

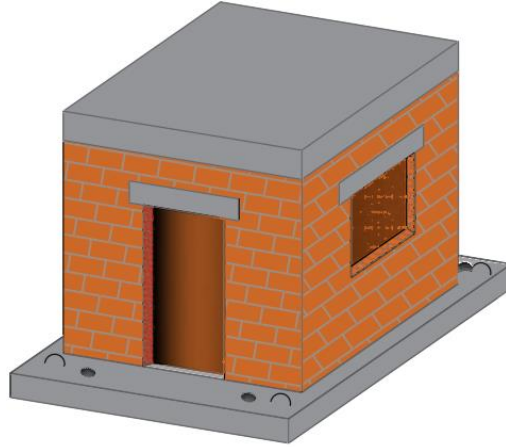
Öncelikle, iki numune için iki adet boyutları (200 x 170 x 15 cm) olan temel hazırlanmıştır (Şekil 6.1). Daha sonra kâgir birim ve harç kullanılarak taşıyıcı duvarlarda TBDY-2018'de verilen kurallara uygun olacak şekilde donatı yerleştirilmesi ile üretilecek olan donatılı yığma yapı üretilmiştir ve ardından donatısız yığma yapı üretilmiştir.

Deneye tabi tutulacak yığma yapıların plan boyutları (150 x 150 cm)'dir ve temel üstünden (150 cm) yüksekliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.



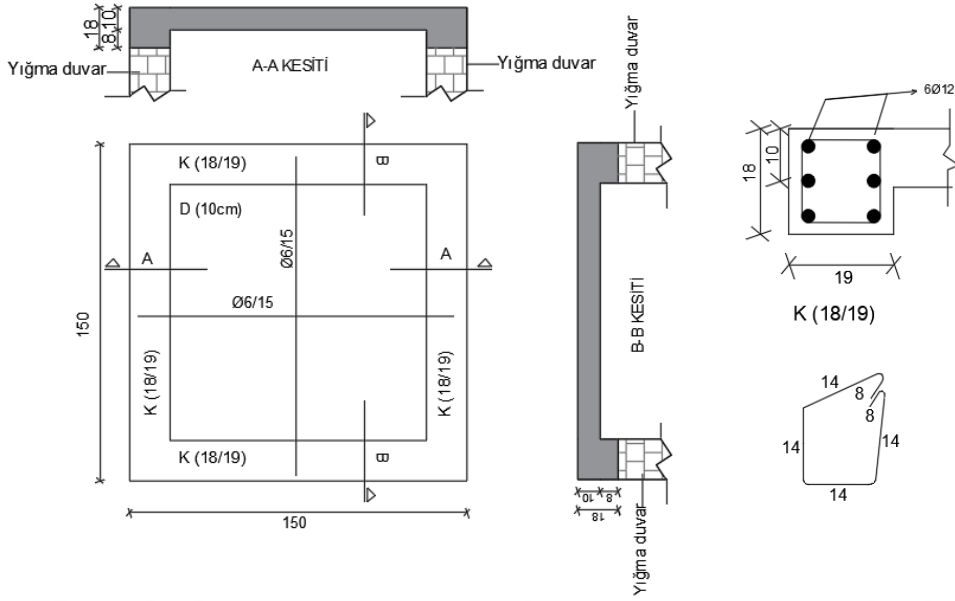
Şekil 6.1. Temel planı

Deneyleri yapılacak yığma yapı numunelerinin 3 boyutlu görünüşü Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



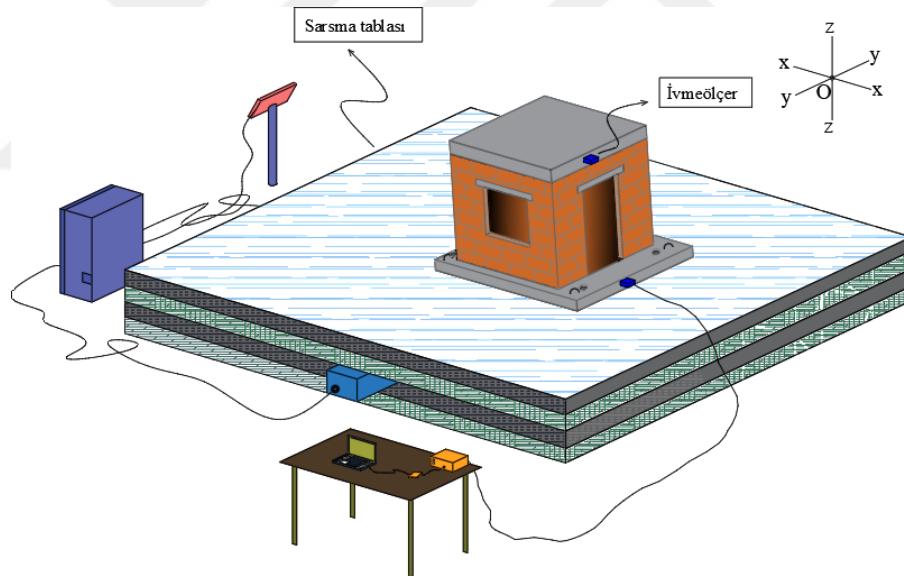
Şekil 6.2. Yığma yapı numunelerin 3 boyutlu görünüşü

Numunelerde rijit diyafram etkisini sağlaması için döşemeler 10 cm kalınlığında seçilmiştir. Döşemelerde altta ve üstte $\phi 6/15$ cm hasır donatı kullanılmıştır. Döşemeler 18 cm kesit yüksekliği sahip ve boyuna $6\phi 12$, enine $6\phi 8/15$ cm donatılara sahip kirişlere mesnetlenmiştir. Ayrıca kirişin genişliği duvar kalınlığı kadar alınmıştır. Şekil 6.3'te döşeme ve kiriş detayları gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Döşeme ve kiriş detayları

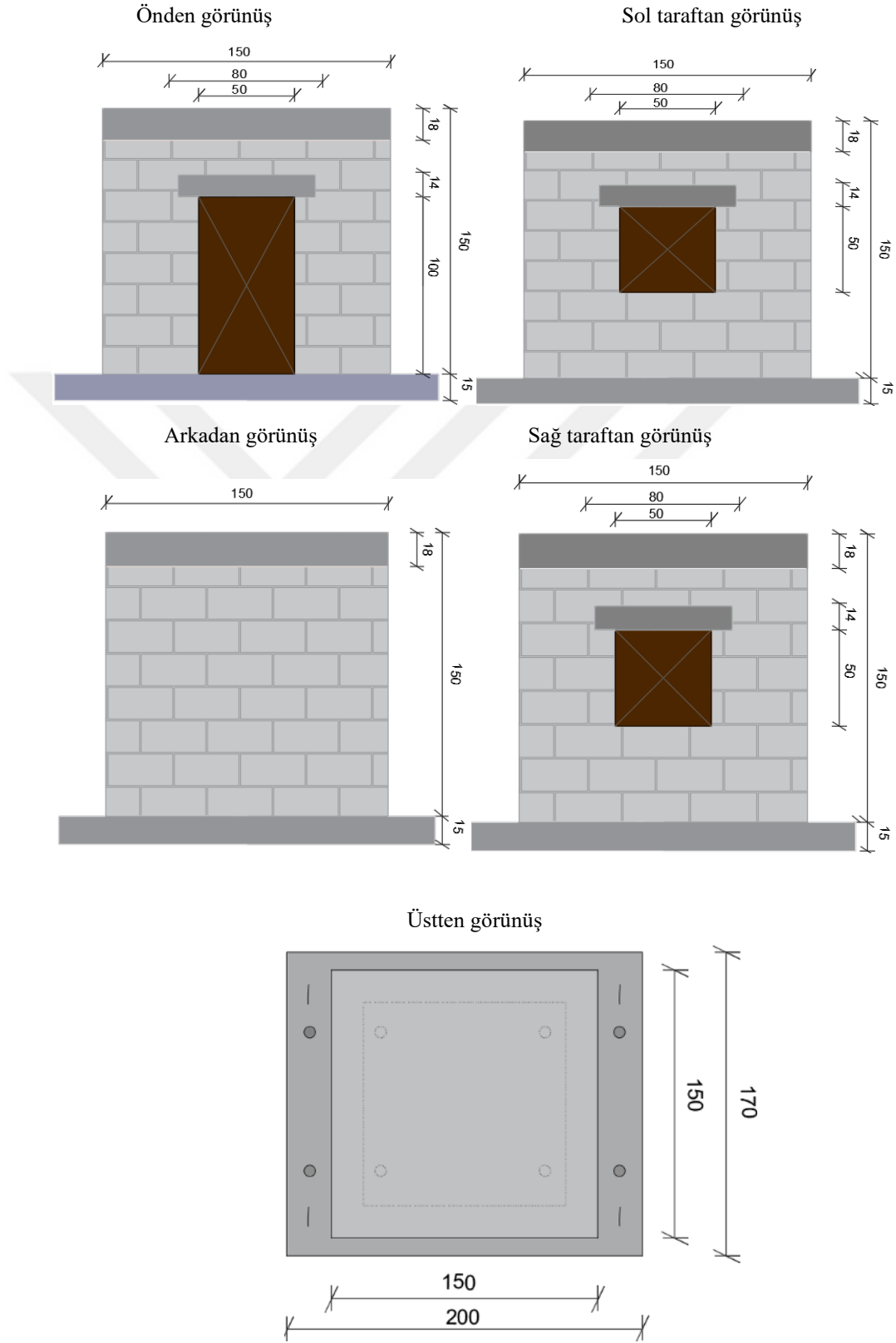
Deney düzeneğinin görünüşü Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4. Deney düzeneğinin görünüşü

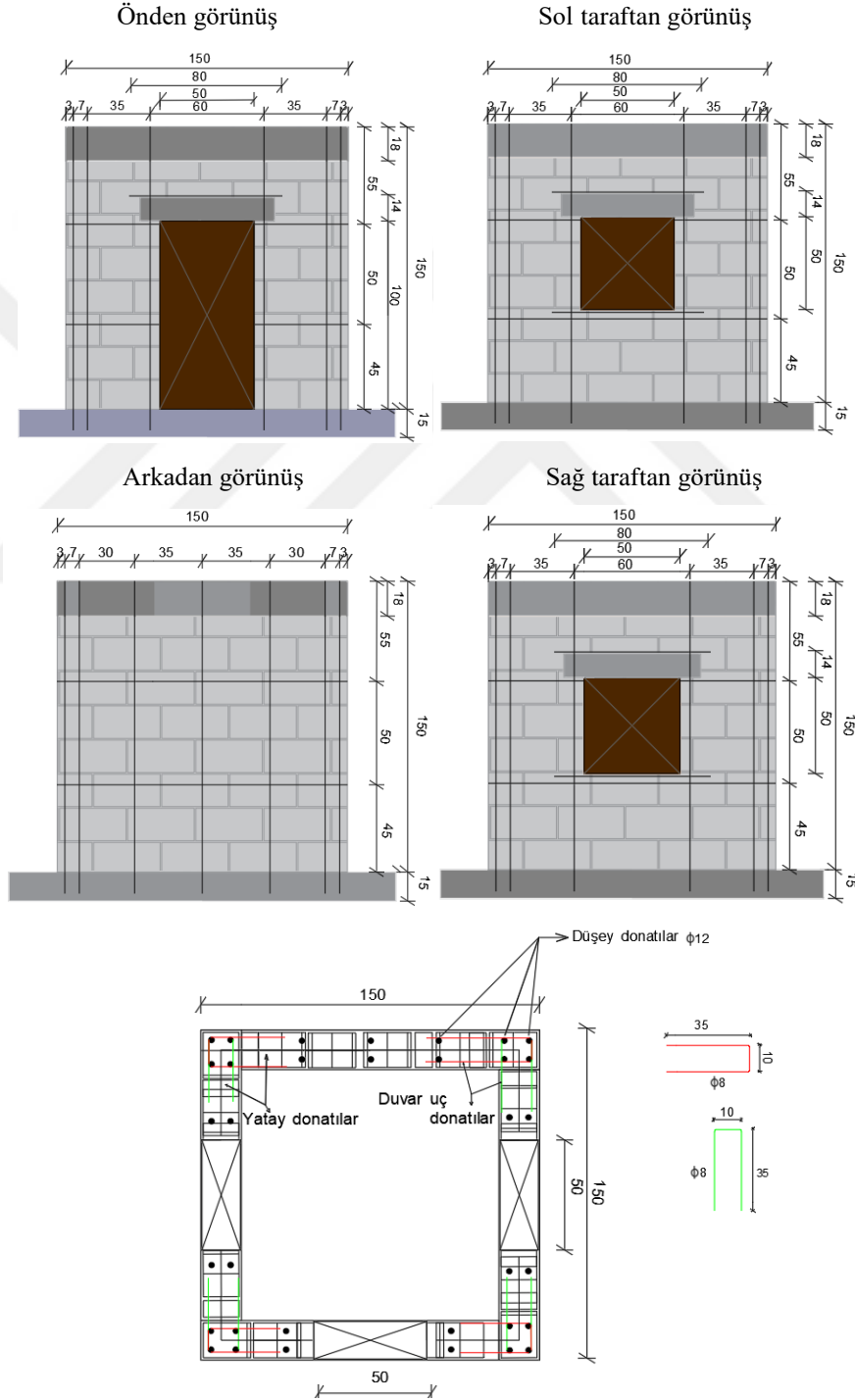
Her bir numune de bir adet kapı ve iki adet pencere bulunmaktadır. Kapının konumu numunelerin ön tarafında ve 100 cm yüksekliğinde, 50 cm uzunluğundadır. Kapı doğrudan temel seviyesinden başlamaktadır. Pencerele ise numunelerin sağ ve sol taraflarında bulunmakta ve 50 cm yüksekliğe ve uzunluğa sahiptir. Kapı ve pencere boşluklarının üstünde betonarme lentolar bulunmaktadır. Ve her iki taraftan 15 cm boyunca duvara oturmaktadır. Şekil 6.5’te donatısız olarak tasarlanan yığıma model ve

birimlerin geometrik detayları ve görünüşleri sunulmaktadır. Tüm ölçüler cm birimindedir.



Şekil 6.5. Donatısız olarak tasarlanan yığma yapı numunesinin geometrik detayları ve görünüşü

Donatılı yığma yapıda hem yatay hem de düşey donatılar TBDY 2018 kurallarına uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. 50 cm aralıklarla $\phi 12$ yatay donatı ve duvarların uç kısımlarında $\phi 8$ açık etriye yerleştirilmiştir. Kapı ve pencere boşluklarının altına ve üstüne $2\phi 12$ yatay ek donatı konulmuştur. Duvarların köşelerinde $4\phi 12$ donatı ve her 40~60 cm'de bir $2\phi 12$ düşey donatı duvar yüksekliği boyunca tuğlaların deliklerinden geçirilerek yerleştirilmiştir. Donatılı yığma numunenin donatı detayları Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Donatılı olarak tasarlanan yığma yapı numunesinin geometrik şekli ve donatı detayları

6.2. Numunelerin Üretilmesinde Kullanılan Malzemeler

Yığma yapı olarak tasarlanan numunelerin üretilmesinde önce iki numune için iki adet betonarme temel inşa edilmiştir. Temellerin inşasından sonra, sırasıyla donatılı yapı ve donatısız yapı inşa edilmiştir. Donatılı ve donatısız numunelerin duvar örümünde yatay ve düşey derzlerde kullanılan harç TS EN 1015-11'e göre küp basınç dayanımı değeri $f_{m,min} = 10.0$ MPa olacak şekilde hazırlanmıştır.

Yığma duvarların yapımında 19x29x13.5 cm boyutlarında yığma tuğlalar kullanılmıştır. Kullanılan tuğla Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Numunelerde hazır beton kullanılmıştır.



Şekil 6.7. Numune üretiminde kullanılan tuğla

6.2.1. Tuğla, beton ve harç dayanım testleri

Burada, TBDY 2018'deki kurallar dikkate alınarak, kullanılacak tuğla, beton ve harç kalitesinin minimum şartları sağlanması hedeflenmiştir. 19x29x13.5cm boyutlu taşıyıcı tuğlanın basınç dayanımının tespiti için 3 adet numune kullanılmıştır. Temelerde, döşemelerde ve kirişlerde kullanılan betonun dayanımının belirlenebilmesi için de döküm sırasında 3'er adet 15x15cm boyutlu küp numuneler alınmıştır. Aynı şekilde donatılı ve donatısız yığma yapıların üretim aşamasında kullanılan harçlardan da 3'er adet 15x15cm boyutlu küp numune alınmıştır. Alınan numuneler belirli günlerde su içerisinde bekletilmiştir. Devamında Konya Teknik Üniversitesi Malzeme

Laboratuvarında basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.8’de tuğla basınç dayanımı test numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Tuğla numunelerinin basınç dayanımı testi

Tablo 6.1 de tuğla basınç dayanımı test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.1 Tuğla basınç dayanımı test sonuçları

Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
Numune 1	5.04	
Numune 2	4.87	5.12
Numune 3	5.45	

Şekil 6.9’da beton ve harç numunelerinin basınç dayanımı testleri gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Beton ve harç numunelerinin basınç dayanımı testi

Temellere dökülen betonun, döşemeler ile kirişlere dökülen betonun, donatılı ve donatısız yığma yapılarda kullanılan harçların basınç dayanımı test sonuçları tablo 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Temel betonunun, döşeme ve kiriş betonunun, donatılı ve donatısız yığma yapı duvar harçlarının basınç dayanımı test sonuçları

Temel Beton Numune		
Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
Numune 1	28.26	
Numune 2	32.52	29.98
Numune 3	29.16	
Donatılı Yığma Yapının Harç Numunesi		
Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
Numune 1	12.52	
Numune 2	9.74	10.89
Numune 3	10.41	
Donatısız Yığma Yapının Harç Numunesi		
Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
Numune 1	9.67	
Numune 2	13.03	11.50
Numune 3	11.81	
Döşeme-Kiriş Beton Numunesi		
Numune No	Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama
Numune 1	23.22	
Numune 2	26.31	24.95
Numune 3	25.33	

6.2.2. Temellerin üretilmesi

Yığma yapılar için iki adet yüksekliği 15 cm uzunluğu 200 cm ve eni 170 cm olan temel üretilmiştir. Temelleri oluşturmak için kalınlığı 1,8 cm olan suntalam kalıplar kullanılmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Temeller için hazırlanan kalıplar

Temellerin sarsma tablasına rijit bir şekilde sabitlenebilmesi için her bir kalıpta 8 adet 5'er cm çapına sahip plastik PVC borular Şekil 6.11'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Temel kalıplarına plastik PVC boruların yerleştirilmesi

Temelerde kalıp montajı ve plastik PVC boruların yerleştirilmesinden sonra her bir kalıpta boyuna ve enine $\phi 8/15$ nervürlü donatı hem alta hem üste yerleştirilmiştir. Numunelerin vinç ile kaldırıp sarsma tablası üzerine konulması için temellerin her birine dörder adet taşıma kancası yapılmıştır (Şekil 6.12). Kalıp ve donatı montajı tamamlandıktan sonra beton dökümü esnasında oluşan basınçla açılmasını engellemek için kalıplar güçlendirilmiştir.



Şekil 6.12. Temellerin donatı imalatı ve kalıpların güçlendirilmesi

Gerekli kontroller ve hazırlıklar tamamlandıktan sonra temellere C25 beton dökülmüştür (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Temelerde beton dökümü ve vibratör kullanımı

Temellerin beton döküldükten sonraki hali Şekil 6.14'te verilmiştir.

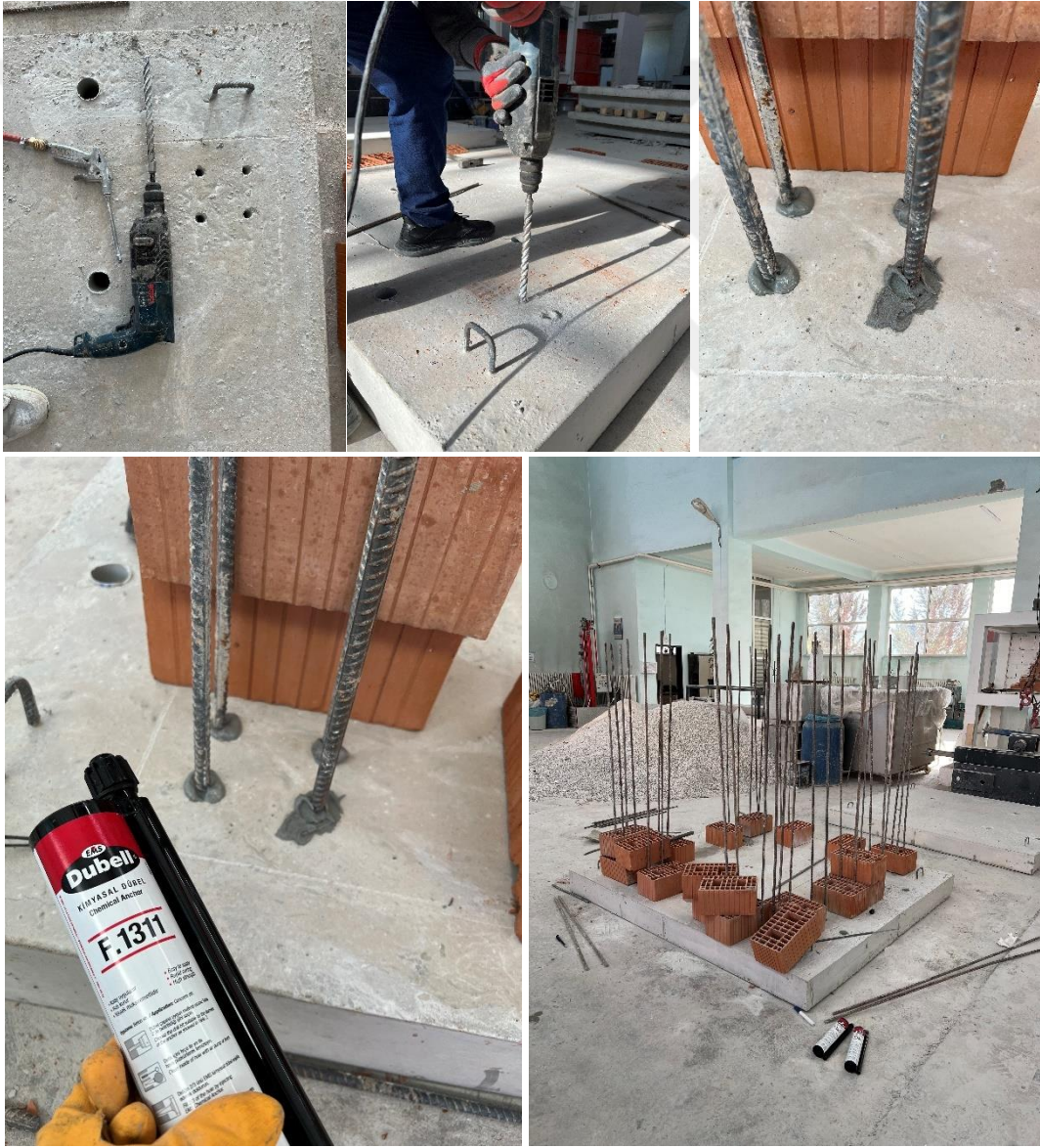


Şekil 6.14. Temellerin beton dökümü sonrasındaki hali

6.2.3. Donatılı yığma yapı numunesinin üretilmesi

Donatılı yığma yapının imalatı için öncelikli duvarlarda kullanılacak olan düşey ve yatay donatılar hazırlanmıştır. Donatılar hazırladıktan sonra, düşey donatıların bağlantısının sağlanabilmesi için daha önceden hazırlanmış bina temelinde 15 mm çapında 10 cm derinliğinde ankraj delikleri açılmıştır.

Temelde toplam 34 adet delik açılmış ve içleri hava tabancasıyla temizlenmiştir. Deliklere $\phi 12$ nervürlü donatılar epoksi (EMS Dübelle F.1311) yardımıyla ekilmiştir. Temelde delik açma ve donatı ekimi süreci Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Temellerde delik açma ve donatı ekimi süreci

Temellerde delik açma ve donatı ekimi sürecinden sonra duvar örme işlemine başlanmıştır. Kullanılacak harç laboratuvar ortamında TBDY 2018 kurallarına uygun şekilde hazırlanmıştır. 19x29x13.5 cm boyutlarında yığma tuğlaları kullanılarak şaşırtmalı şekilde yaklaşık 2 cm'lik derz aralığıyla numunenin örülme işlemine başlanmıştır. Donatılı yığma yapıda duvar örümü Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Donatılı yığma yapıda duvar örülmesi

Donatılı yığma yapının örülmesinde, 50 cm ve 100 cm yüksekliğinde yatay donatılar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen yatay ve düşey donatıların bulunduğu kısımdaki tuğla blok delikleri harçla doldurulmuştur (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. Donatılı yığma yapıda yatay donatıları yerleştirilmesi

Donatılı yığma yapı duvarlarının inşa aşaması Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Donatılı yığma yapı duvarlarının inşası

Donatılı yığma yapıda duvar örme işleminden sonra kiriş ve döşeme kalıbı hazırlanarak montajı yapılmıştır. Kalıplar beton dökümünde meydana gelebilecek basıncı karşılayacak şekilde güçlendirilmiştir.

Döşeme ve kirişlerde kullanılan donatılar laboratuvarında hazırlanmış ve yerleştirilmiştir. Şekil 6.19’da döşeme ve kirişlerin kalıp ve donatı imalatı gösterilmiştir.



Şekil 6.19. Döşeme ve kirişlerde kalıp ve donatı montajı

Kalıp imalatı, kiriş ve döşeme donatılarının yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra, numune beton dökümüne hazır hale getirilmiştir.

Beton döküm aşamasında, betonun kalıbın iç kısımlarına iyi yerleşmesi ve oluşacak hava kabarcıklarının ve boşlukların minimize edilmesi için vibratör cihazı kullanılmıştır. (Şekil 6.20).



Şekil 6.20. Donatılı yığma yapıda döşeme ve kiriş betonu dökümü

Beton dökümünden bir gün sonra yaklaşık 7 gün boyunca beton yüzeyi belirli aralıklarla sulanarak kürlenmiştir (Şekil 6.21).



Şekil 6.21. Betonun kürlenmesi

Betonda kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra kirişlerin ve döşemenin kalıpları sökülmüştür. Kalıplar söküldükten sonra yapı beyaz boya ile boyanmıştır. Ve böylece yapı sarsma tablasında yapılan teste hazır hale getirilmiştir.

Şekil 6.22’de yapının kalıp sökülmeden ve boyadan sonraki hali verilmiştir.



Şekil 6.22. Yapının kalıp sökülmeden ve boyadan sonraki hali

6.2.4. Donatısız yığma yapı numunesinin üretilmesi

Donatısız yığma numunesinin yapımında donatılı yığma numune üretiminde olduğu gibi aynı fiziksel ve mekanik özellikleri sahip kâgir birim kullanılmıştır. Harcın hazırlanması Şekil 6.23'te verilmiştir.



Şekil 6.23. Donatısız yığma numunesinde kullanılacak harcın hazırlanması

Temel hazırlanması donatılı yığma yapı ile yapılmıştır. Temelin nasıl hazırlandığı Bölüm 6.2.1'de anlatılmıştır. Daha önceden hazırlanmış olan temel üzerine bağlayıcı harç konularak numunenin örme işlemine geçilmiştir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24. Donatısız yığma yapının duvarlarının örülmesi

Donatısız yığma yapıda duvar örülmesi işleminden sonra döşeme ve kirişlerin kalıp elemanları hazırlanmıştır. Kalıp elemanlarının hazırlanmasından sonra montaj işlemine başlanmıştır. Beton dökümünde kalıpların açılmasını önlemek maksadıyla diğer numunede olduğu gibi kalıplar iki yönde de her iki taraftan aynı hizada delinmiş ve borular yerleştirilerek tayrot milleri geçirilmiştir. Şekil 6.25'te kalıp montajına ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 6.25. Donatısız yığma yapıda döşeme ve kiriş kalıplarının montajı

Kiriş ve döşeme kalıp montajı bittikten sonra donatıların montajına geçilmiştir. Diğer numunede olduğu gibi her bir kirişe boyuna 6 ϕ 12 donatı, ϕ 8/15 cm etriye yerleştirilmiştir. Döşemede alta ve üste ϕ 6/15 cm hasır donatı yerleştirilmiştir. Kirişler ve döşeme donatıları Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



Şekil 6.26. Kirişler ve döşeme donatıları

Yapının kirişler ve döşeme donatılarının montajı tamamlandıktan sonra beton döküm aşamasına geçilmiştir. Şekil 6.25'te gösterildiği gibi kirişlere ve döşemeye C25 beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünde vibratör cihazından da faydalanmıştır. Şekil 6.27'de beton dökümü, alınan beton numune ve vibratör resimleri verilmiştir.



Şekil 6.27. Beton dökümü, alınan numune ve vibratör cihazı

Beton yüzeyinde çatlakların oluşmaması için dökümden 24 saat sonra başlayarak bir hafta boyunca sulanmıştır. Numunenin kiriş ve döşeme kalıbı söküldükten sonra numune beyaz boya ile boyanmıştır. Şekil 6.28'de yapının kalıp sökümü ve boyandıktan sonraki hali verilmiştir.



Şekil 6.28. Yapının kalıp sökümü ve boyandıktan sonraki hali

6.3. Dinamik Testler

6.3.1. Sarsma tablası

Tek katlı, üç boyutlu ve yarım ölçekli donatılı ve donatısız yığma yapı numuneleri Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında bulunan x ve y doğrultusunda hareket edebilen sarsma tablası vasıtasıyla sarsılarak test edilmiştir. Deneylerde kullanılan sarsma tablasının platform boyutları 4x4 m'dir. (Şekil 6.29).



Şekil 6.29. Sarsma tablası

Sarsma tablası 10 ton yük kapasitesine sahiptir. Sarsma tablasında 2 adet Siemens servo motor olup hem (x) hem de (y) yönünde hareket ederek ± 15 cm deplasman yapabilmektedir. Şekil 6.30'de (y) yönünde ve (x) yönünde bulunan servo motor ile ilgili resimler verilmiştir. Bu çalışmada numuneler sarsma tablasının sadece (y) yönünde sarsılmıştır.



Şekil 6.30. Sarsma tablasında (y) ve (x) yönünde bulunan servo motorlar

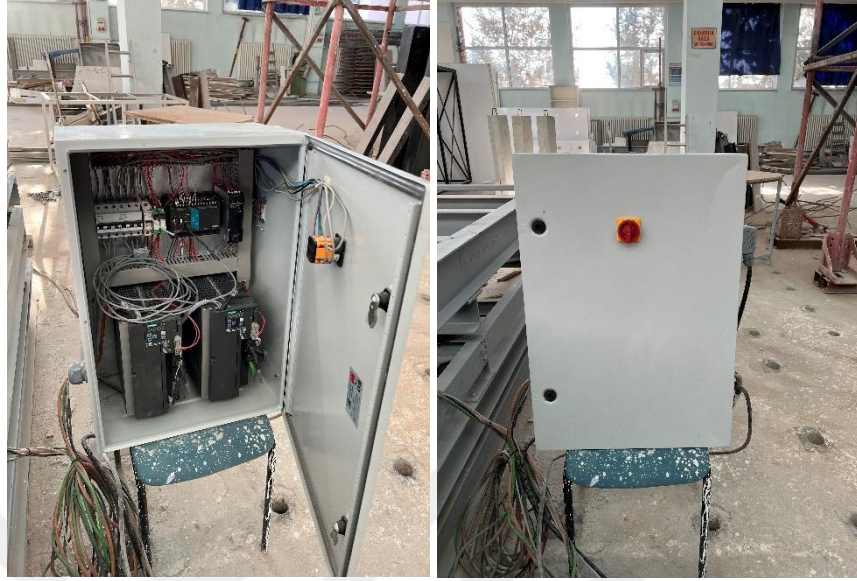
Kontrol paneli sarsma tablasında tek yönlü veya çift yönlü hareketlerini, masanın hızını, şiddetini ve yönünü koordine etmektedir. Ve test sırasında herhangi bir sorun olması durumunda tablanın hemen durdurulmasına olanak tanımaktadır (Şekil 6.31).



Şekil 6.31. Kontrol paneli

PLC (Programmable Logic Controller) kontrollü otomasyon sistemi tablanın hareketlerini hassas bir şekilde kontrol etmek için programlanmakta, PLC kontrollü

sarsma tablası, üzerindeki malzemelerin veya yapıların davranışını çeşitli titreşim düzeyleri ve şiddetler altında incelemek için kullanılmaktadır (Şekil 6.32).



Şekil 6.32. PLC kontrollü otomasyon sistemi

6.3.2. Sarsma tablası üzerinde yığma yapı temellerin sabitlenmesi

Yığma yapı deney numuneleri vinç vasıtasıyla kaldırılıp sarsma tablasına yerleştirilmiştir (Şekil 6.33). Temellerin inşasında, temelerde bırakılan 8 adet 5'er cm çapındaki delikler gijon vasıtasıyla, sıkıştırma metoduna uygun bir şekilde yapıyı tablaya rijit olarak mesnetlenmek için kullanılmıştır. Ve böylece dinamik yükleme sırasında ortaya çıkabilecek mesnet hareketi engellenmiştir.



Şekil 6.33. Numunelerin vinç vasıtasıyla sarsma tablası üzerine taşınması

Yığma yapı numunelerinin sarsma tablasına sabitlenmesi Şekil 6.34'te gösterilmiştir.



Şekil 6.34. Yığma yapı numunelerinin sarsma tablasına sabitlenmesi

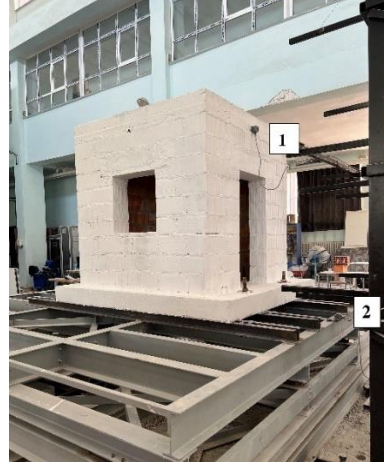
6.3.3. Veri toplama

Donatısız ve donatılı yığma yapı numuneler sarsma tablası yardımı ile dinamik testlere tabi tutulmuş ve bu esnada zamana bağlı ivme ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, deney numunelerinin yükleme yönüne göre (y doğrultusu) hem sarsma tablasında hem de yığma yapı numunesinde 1 adet Sensebox7013 TDG markalı ivmeölçer sabitlenmiştir. İvmeölçerler yardımı ile numunelerin ve tablanın ivme ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yığma yapı numunelerinin üst kısmına (kirişte) monte edilen ivmeölçerlerden tepki ivme verileri, tablaya yerleştirilen ivmeölçerden etki ivme verileri elde edilmiştir. Yığma yapı numunesinden ölçülen tepki ivme verileri, tabladaki ivmeölçerden ölçülen etki ivme verileri analiz ve hesaplarda kullanılmıştır. İvmeölçerlerin kabloları TDG Testbox 2010 dinamik veri toplama ünitesi ile bağlanmış ve ardından veri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 6.35'te TDG Testbox 2010 veri toplama ünitesi ve TDG Sensebox7013 ivmeölçerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.35. TDG Testbox 2010 veri toplama ünitesi ve TDG Sensebox7013 ivmeölçerleri

Şekil 6.36’da yerleştirilen ivmeölçer gösterilmiştir.



Şekil 6.36. Yerleştirilen ivmeölçerler; 1) Yığma yapı numunesindeki ivmeölçer, 2) Sarsma tablasındaki ivmeölçer

6.3.4. Sarsma tablası üzerinde yığma yapı numunesi ve deney düzeneği

Sarsma tablası üzerinde yığma yapı numunesi ve dinamik testlerin yapılacağı deney düzeneği Şekil 6.37’de sunulmuştur. Yığma yapı numuneleri tek katlı olduğundan numuneler üzerinde herhangi bir kütle konulmamıştır.



Şekil 6.37. Deney düzeneği; 1) Yığma yapı numunesi, 2) Sarsma tablası, 3) Kontrol paneli, 4) PLC sistemi, 5) TDG Testbox 2010 veri toplama ünitesi.

7. SARMA TABLASINDA YIĞMA YAPILARIN TİTREŞİM DENEYLERİ

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında üretilen donatısız yığma yapı ve donatılı yığma yapı numuneleri sarsma tablasında aynı koşullar altında dinamik teste tabi tutulmuştur. Donatısız yığma yapı numunesi N-01 ve donatılı yığma yapı numunesi N-02 olarak isimlendirilmiştir. İlk önce donatısız yığma yapı numunesi yani N-01 ve ardından donatılı yığma yapı numunesi yani N-02 test edilmiştir. Sarsma tablasında numunelere sinüs dalgası şeklinde dinamik yer hareketi uygulanmıştır. Hazırlanan yer hareketi numunelere 5'er kez uygulanmıştır. Böylece toplamda 10 deney yapılmıştır. Deneyler esnasında yapılar herhangi bir hasar görmemiş ve böylece numuneler elastik bölgede olarak değerlendirilmiştir. Yığma yapı numunelerinde, sarsma tablasından gelen etkiye kaşı verdiği tepki verileri analiz edilerek numunelerin dinamik davranışları belirlenmiştir.

7.1. N-01 Deney Numunesi

N-01 deney numunesi donatısız yığma yapı deney numunesidir. Bu deney numunesi beş kez zorlanmış titreşim deneyine tabi tutulmuştur. N-01 numunesinin deney öncesindeki görünümü ile ilgili fotoğraflar Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. N-01 numunesinin deney öncesindeki görünümü

N-01 numunesinin deneyleri tamamlandıktan sonra numune duvarları, pencere altı bölgesi, pencere ve kapı üstündeki bölgeleri ve diğer bölgeleri incelenmiş olup hiçbir çatlak oluşmadığı görülmüştür. N-01 numunesinin deney sonrası fotoğrafları Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. N-01 numunesinin deney sonrasındaki görünümü

7.2. N-02 Deney Numunesi

N-02 deney numunesi donatılı yığma yapı numunesidir. Bu deney numunesinde de N-01 numunesinde olduğu gibi beş kez zorlanmış titreşim deneyi yapılmıştır. N-02 numunesinin deney öncesindeki görünümü ile ilgili fotoğraflar Şekil 7.3’te verilmiştir.



Şekil 7.3. N-02 numunesinin deney öncesindeki görünümü

N-02 numune deneyleri tamamlandıktan sonra numune detaylıca incelenmiştir. Numunenin hiçbir kısmında çatlak oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu numunenin deneyden sonrası fotoğrafları Şekil 7.4'te verilmiştir.

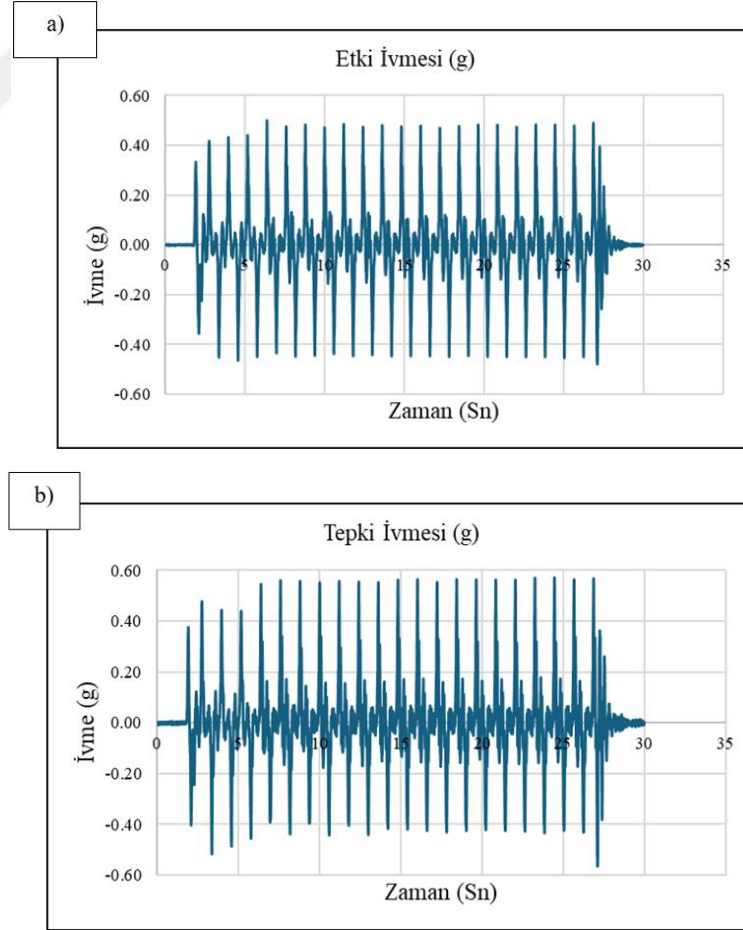


Şekil 7.4. N-02 numunesinin deney sonrasındaki görünümü

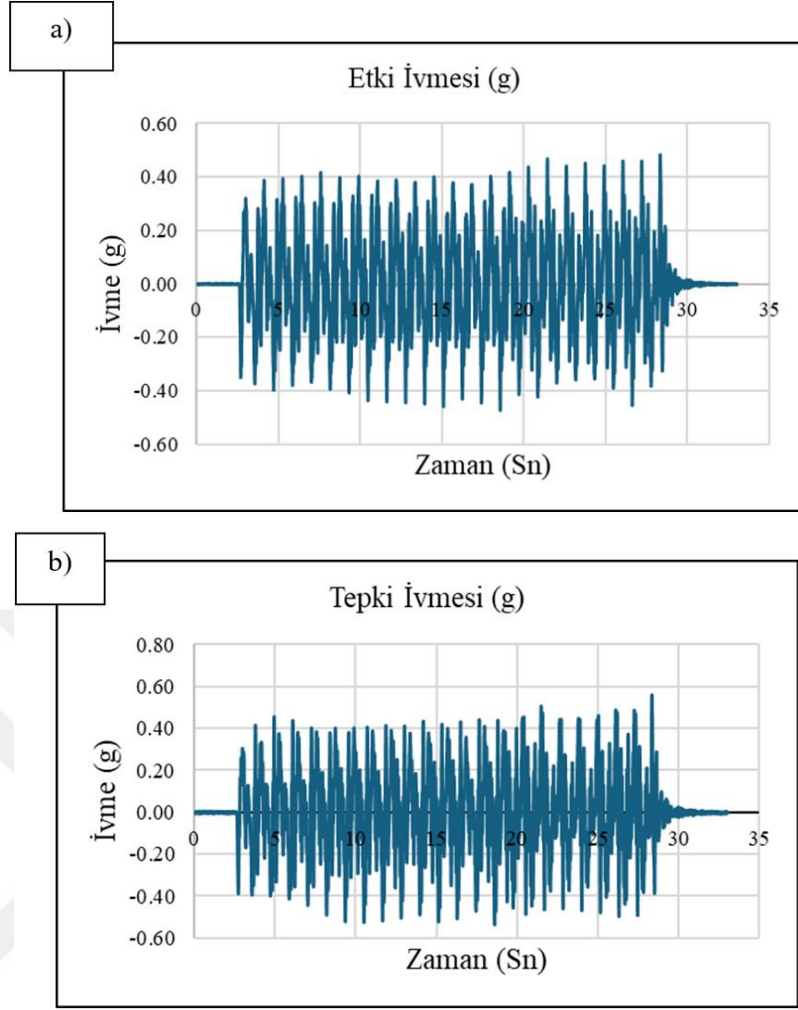
8. DİNAMİK PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ İÇİN HESAP VE MODAL ANALİZ

Bu başlık altında yığma yapı numunelerinin dinamik deneylerinden elde edilen verilerin sinyal işleme prosedürü ve numunelerin doğal titreşim frekanslarının, doğal titreşim periyotlarının, doğal sönüm oranlarının ve rijitliklerinin tespit edilmesi yöntemleri anlatılmıştır. Hesap ve analizlerde Origin Pro ve Microsoft Excel programlarından faydalanılmıştır. Yapılan deneylerden sonra ivmeölçerler yardımıyla etki ve tepki ivme-zaman verileri elde edilmiştir. Tabladaki ivmeölçerden etki verileri, yapıdaki ivmeölçerden tepki verileri elde edilmiştir. Zorlanmış titreşim uygulaması sonucunda, N-01 ve N-02 deney numuneleri için, yapıdan ve tabladan ölçülen etki ivme-zaman ve tepki ivme-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 8.1’de ve Şekil 8.2’de verilmiştir.

N-01 numunesine uygulanmış olan yer hareketinde en büyük yer ivmesi (peak ground acceleration (PGA)) değeri 0.499 g, N-02 numunesine uygulanmış olan yer hareketinde de en büyük yer ivmesi (PGA) değeri 0.483 g olarak sarsma tablası üzerindeki ivmeölçer yardımıyla ölçülmüştür.



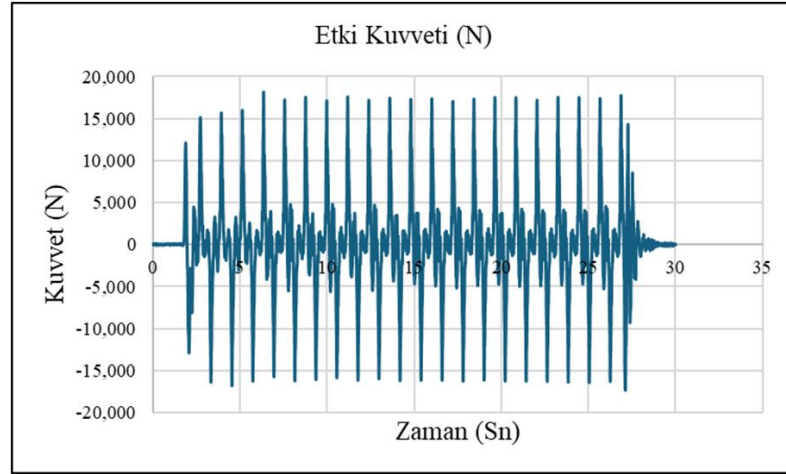
Şekil 8.1. N-01 deney numunesine ait etki ve tepki ivme-zaman grafikleri; a) Tabla etki ivme-zaman grafiği, b) Yapı tepki ivme-zaman grafiği



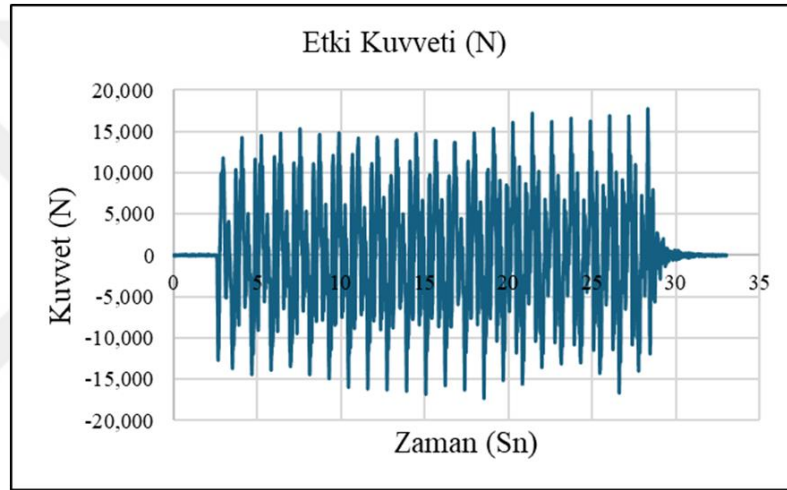
Şekil 8.2. N-02 deney numunesine ait etki ve tepki ivme-zaman grafikleri; **a)** Tabla etki ivme-zaman grafiği, **b)** Yapı tepki ivme-zaman grafiği

Elde edilen etki ve tepki verilerinde gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Öncelikle belirlenmiş süreden hem önceki hem de sonraki boş veriler silinmiştir. Sonrasında etki ivmeleri zamana bağlı kuvvete çevrilmiştir. Çevirmede etki ivmeleri (g) biriminden 9.81 m/s^2 yerçekimi ivmesi değeri ile çarpılarak (m/s^2) birimine dönüştürülmüş ve sarsma tablası üzerindeki yapı numunelerinin kütleleri ile çarpılmış ve tabladaki etki verileri bu şekilde Newton (N) biriminde kuvvete dönüştürülmüştür. Burada donatısız yığma yapı numunesinin kütlesi 3700 kg ve donatılı yığma yapı numunesinin kütlesi 3750 kg olarak hesaplanmış ve kullanılmıştır (Nakipoğlu, 2024).

Şekil 8.3 ve Şekil 5.4'ta, N-01 ve N-02 deney numunelerinin etki kuvvet-zaman grafikleri gösterilmiştir.

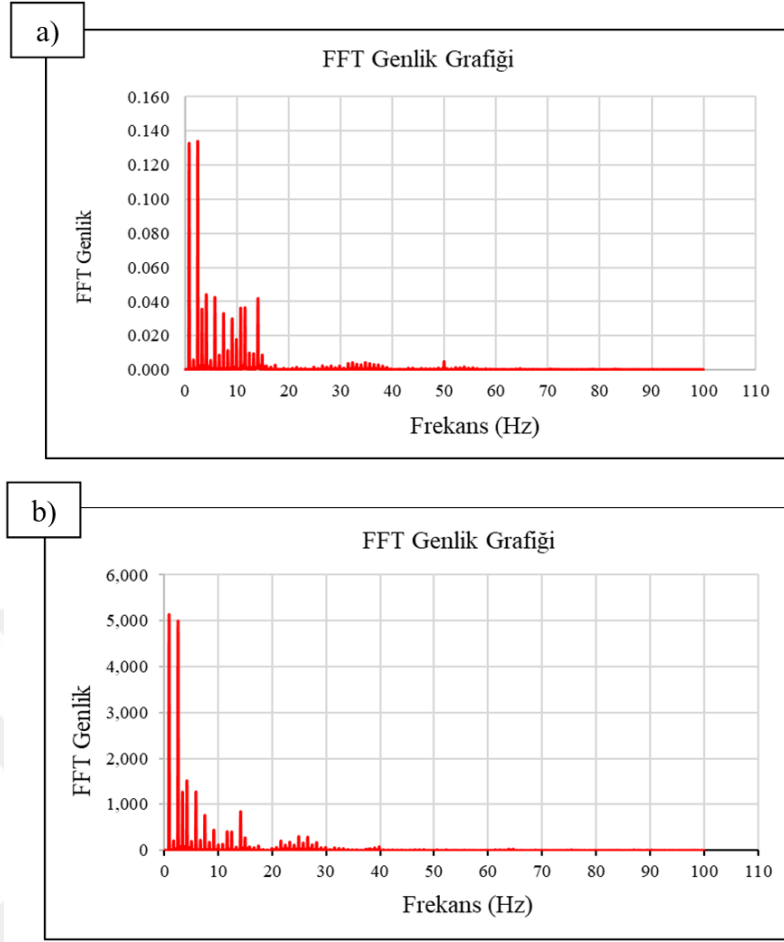


Şekil 8.3. N-01 numunesinin etki kuvveti-zaman grafiği



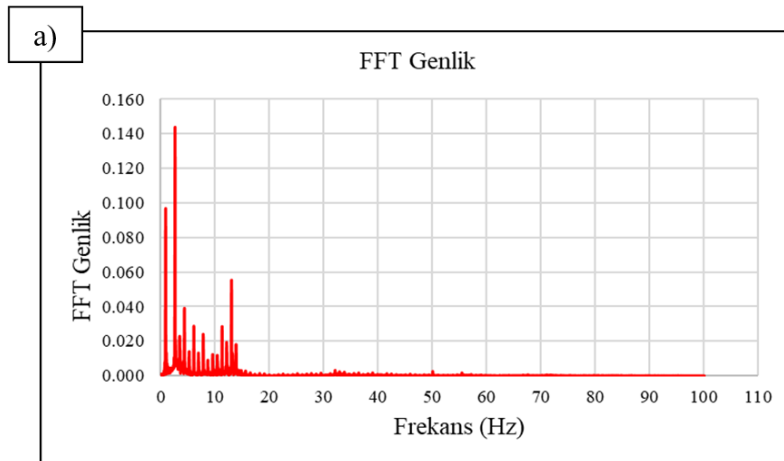
Şekil 8.4. N-02 numunesinin etki kuvveti-zaman grafiği

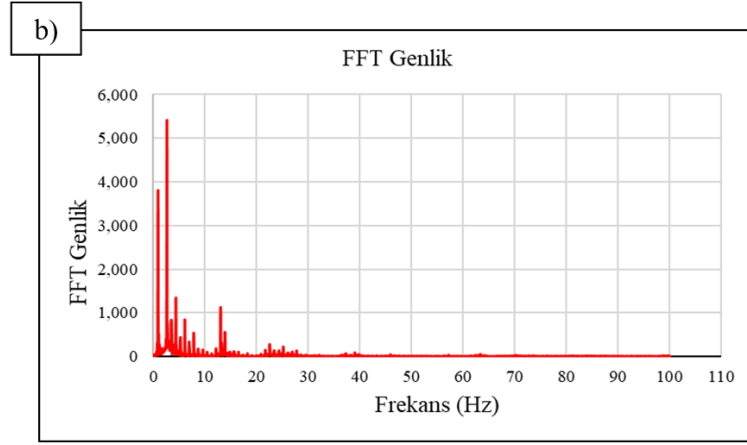
Devamında zaman tanım alanında kuvvet etkisi ve yine zaman tanım alanında ivme tepkisi, FFT (hızlı Fourier dönüşümü) ile kuvvet-frekans ve ivme-frekans şeklinde frekans tanım alanına geçirilmiştir. FFT dönüşümü esnasında oluşacak sızıntı hatasını azaltmak için uygun pencereleme fonksiyonu tanıtılmıştır. Burada Blackman ve Rectangle pencere fonksiyonları kullanılmıştır. Yapının doğal titreşim frekansını bulabilmek için FFT dönüşümü sonucunda elde edilen verilerden (reel FFT, sanal FFT, magnitud FFT, genlik (amplitüd) FFT, faz FFT) genlik FFT'si kullanılmıştır. N-01 numune verilerinde, hızlı Fourier dönüşümü yapıldıktan sonra zaman tanım alanından frekans-tanım alanına geçilerek oluşturulan FFT grafikleri Şekil 8.5'te verilmiştir.



Şekil 8.5. N-01 deney numunesine ait FFT genlik grafikleri; a) Yapı FFT grafiği, b) Tabla FFT grafiği

Aynı şekilde N-02 numune verilerinde oluşturulan FFT grafikleri de Şekil 8.6’de verilmiştir.

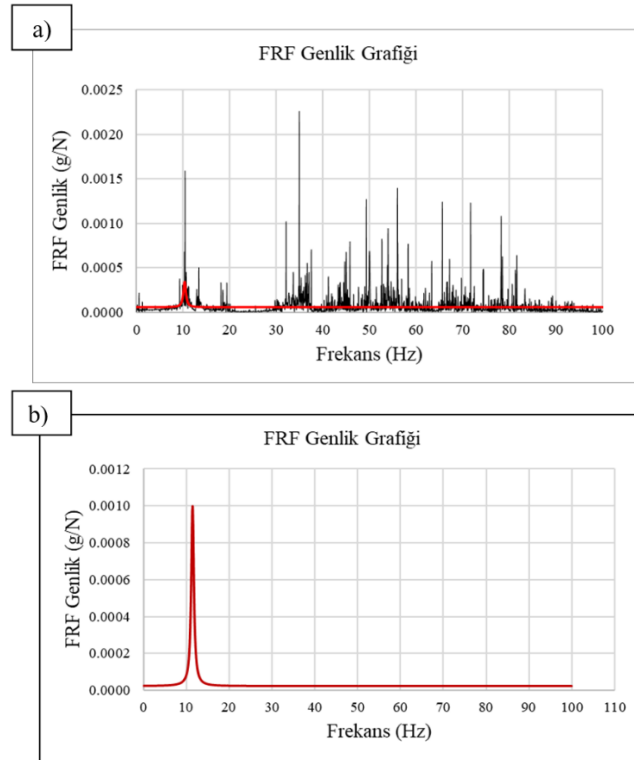




Şekil 8.6. N-02 deney numunesine ait FFT genlik grafikleri; a) Yapı FFT grafiği, b) Tabla FFT grafiği

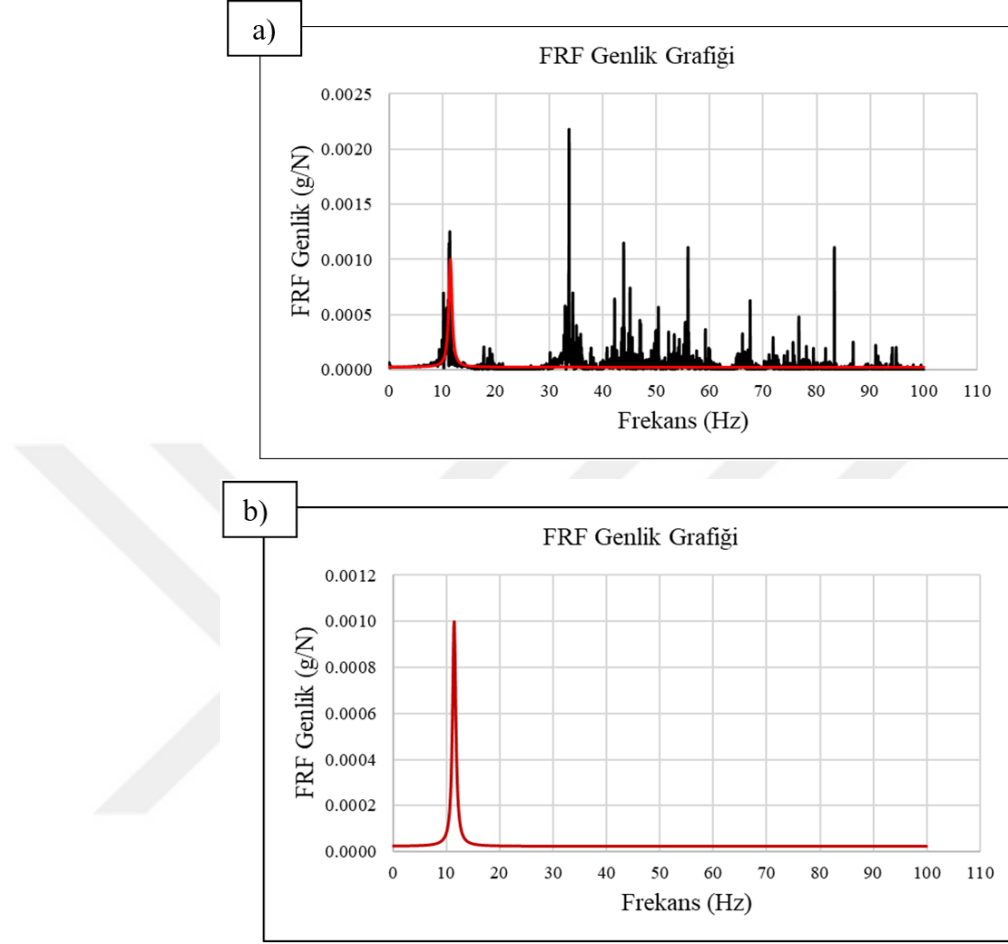
FFT işlemi sonrası tepki/etki (g/N) oranı yapılarak frekans tanım alanında genlik FRF (frekans davranış fonksiyonu veya transfer fonksiyonu) fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen FRF grafiğinde (fonksiyonunda) Voigt eğri uydurma tekniğiyle tepe tutma metoduna göre birinci mod için tepe noktası belirlenmiş ve buna denk gelen frekans işaretlenmiştir. Böylece tek katlı yığma yapıların doğal titreşim frekansları belirlenmiştir.

Şekil 8.7’de N-01 numunesinin eğri uydurmadan önceki ve sonraki FRF genlik grafikleri gösterilmektedir. Kırmızı çizgiler uydurulmuş, siyah çizgiler ise orijinal FRF grafiklerini göstermektedir.



Şekil 8.7. N-01 deney numunesine ait FRF genliği ve FRF eğri uydurulmuş genlik grafikleri; a) Orijinal FRF ve eğri uydurulmuş genlik grafiği, b) FRF eğri uydurulmuş genlik grafiği

N-01 numunesinde olduğu gibi, Şekil 8.8’de da N-02 numunesinin eğri uydurmadan önceki ve sonraki FRF genlik grafikleri verilmiştir.



Şekil 8.8. N-02 deney numunesine ait FRF genliği ve FRF eğri uydurulmuş genlik grafikleri; **a)** Orijinal FRF ve eğri uydurulmuş FRF genlik grafiği, **b)** FRF eğri uydurulmuş genlik grafiği

Numunelerin doğal sönüm oranlarının bulunabilmesi için FRF genlik grafiğinde yarım güç bant genişliği yöntemi kullanılmıştır.

Doğal titreşim periyotları ise frekansların çarpmaya göre tersi alınarak hesaplanmıştır.

Numunelerin yanal ötelenme rijitliklerinin bulabilmesi için doğal titreşim frekansları kullanılmıştır. Frekans değerlerinin karesi alınıp kütle ile çarpılarak rijitlik değerleri elde edilmiştir. Elemanlar hasar almadığı için yani elastik kaldığı için bulunan bu rijitlik değerleri başlangıç rijitliği olarak adlandırılabilir (Nakipoğlu, 2024).

Titreşim deneyleri sonucunda N-01 numuneleri için FRF grafiğinde tepe genlik yöntemiyle elde edilen frekans değerleri, yarım bant genişliği yöntemiyle elde edilen

sönüm oranları, doğal titreşim periyotları ve başlangıç rijitlikleri Çizelge 8.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. N-01 numunenin dinamik parametreleri

Deney sonucundan elde edilen dinamik parametreleri				
Numune	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Sönüm Oranı (%)	Rijitlik (N/m)
N-01	10.333	0.097	2.341	395052

Titreşim deneyleri sonucunda N-02 numuneleri için FRF grafiğinde tepe genlik yöntemiyle elde edilen frekans değerleri, yarım bant genişliği yöntemiyle elde edilen sönüm oranları, doğal titreşim periyotları ve başlangıç rijitlikleri Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. N-02 numunenin dinamik parametreleri

Deney sonucundan elde edilen dinamik parametreleri				
Numune	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Sönüm Oranı (%)	Rijitlik (N/m)
N-02	11.485	0.087	2.101	494645

Çizelge 8.3’te donatısız ve donatılı yığma numunelerin üretiminde kullanılan malzemelerin ve yapılan işçiliğin yer aldığı maliyet analizi tablosu verilmiştir.

Çizelge 8.3. N-01 ve N-02 numunelerinde malzeme ve işçilik maliyet analizi

Malzeme	N=01	N=02
Tuğla	2700 ₺	3000 ₺
Çimento	1500 ₺	1650 ₺
Donatı	1850 ₺	3150 ₺
Beton	2460 ₺	2460 ₺
Kalıp	1500 ₺	1500 ₺
Boya	250 ₺	250 ₺
Epoksi	0 ₺	450 ₺
İşçilik	6650 ₺	8550 ₺
Toplam	16910 ₺	21010 ₺

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

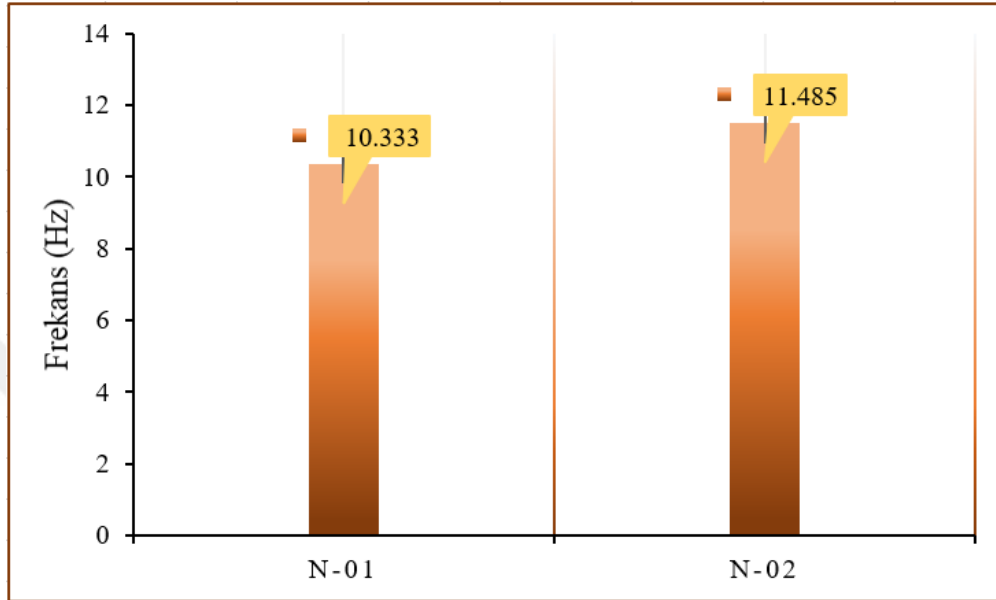
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında TBDY-2018 yönetmeliğinde yer alan dört yığma bina türünden donatısız ve donatılı yığma binaların dinamik davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 1/2 ölçeğinde tek katlı, tek açıklıklı ve üç boyutlu donatısız yığma yapı ve donatılı yığma yapı numuneleri Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında inşa edilmiştir. Numuneler TBDY-2018 kurallarına uygun olarak üretilmiştir. Üretilmiş olan bu iki yığma yapı numunesi laboratuvar ortamındaki sarsma tablasında, aynı şartlar altında zorlanmış titreşim deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneylerde yığma yapı numunelerinin dinamik parametreleri yani doğal frekansları, doğal sönüm oranları, doğal periyotları ve rijitlikleri belirlenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Numunelerin bu parametrelerinin belirlenmesi için numunelere ve sarsma tablasına ivmeölçerler konulmuştur.

Sarsma tablasında uygulanmış olan sinüs dalgası şeklinde dinamik yer hareketi neticesinde, yerleştirilmiş olan ivmeölçerler vasıtasıyla zaman tanım alanında kaydedilen ivme verileri deneysel modal analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Ve böylece dinamik parametreler ve rijitlikler bulunarak değerlendirilmiştir.

Sarsma tabasındaki motorların gücü yeterli olmadığından dolayı deneyler esnasında donatısız ve donatılı yığma yapı numunelerinde herhangi bir hasar ya da çatlak oluşması istenmemiştir. Uygulanan yer hareketi neticesinde hasar ve çatlak oluşmadığı için numuneler elastik bölgede kalmıştır. Elastik sınırdaki kalması sebebiyle numunelerin dinamik parametreleri uygun bir şekilde belirlenebilmiştir.

N-01 (donatısız yığma numune) ve N-02 (donatılı yığma numune) numunelerinin deneysel modal analiz sonuçlarına göre doğal titreşim frekansı değerleri 10.333 Hz (Hertz) ve 11.485 Hz olarak elde edilmiştir. Şekil 9.1’de N-01 ve N-02 numunelerin doğal frekans değerleri gösterilmiştir. Bu değerler 1. moda ait değerlerdir.



Şekil 9.1. Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin doğal frekansları

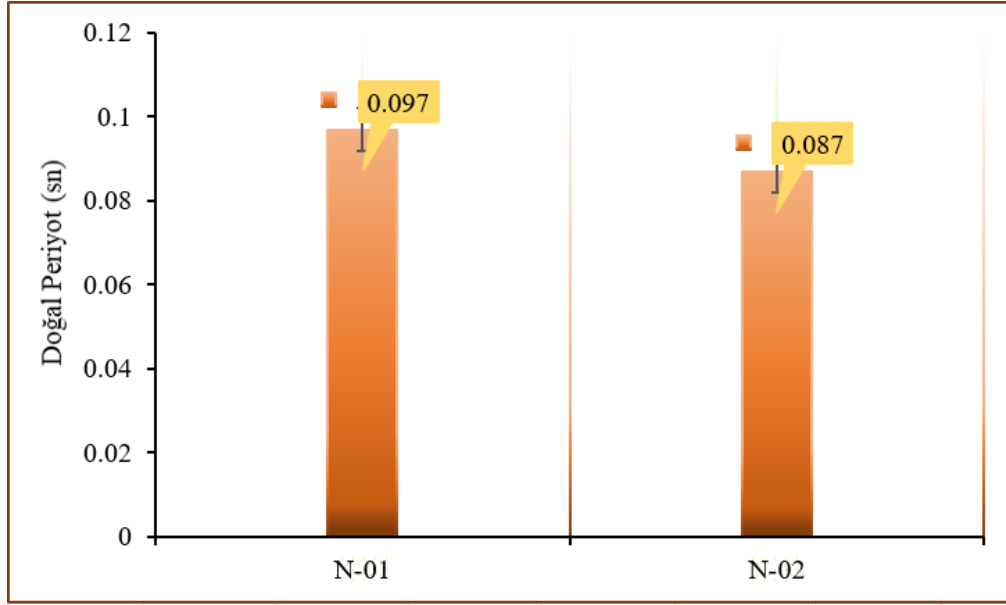
Numunelerin deneysel analizinden belirlenen frekans değerleri arasında meydana gelen yüzde fark Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1. N-01 ve N-02 numunelerinin frekans değerleri arasındaki yüzde artış

Numune	Frekans (Hz)	Artış
N-01	10.333	11.15%
N-02	11.485	

Donatısız yığma yapı ve donatılı yığma yapı numunelerinin frekans değerleri karşılaştırıldığında donatılı yığma yapının frekans değerinin donatısız yığma yapıya göre %11.15 oranında fazla olduğu görülmüştür.

Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin doğal titreşim periyodu değerleri Şekil 9.2’de verilmiştir. Buna göre donatısız yığma yapıda 1. mod periyodu 0.097 sn iken, donatılı yığma yapıda bu değer 0.087 sn olarak bulunmuştur.



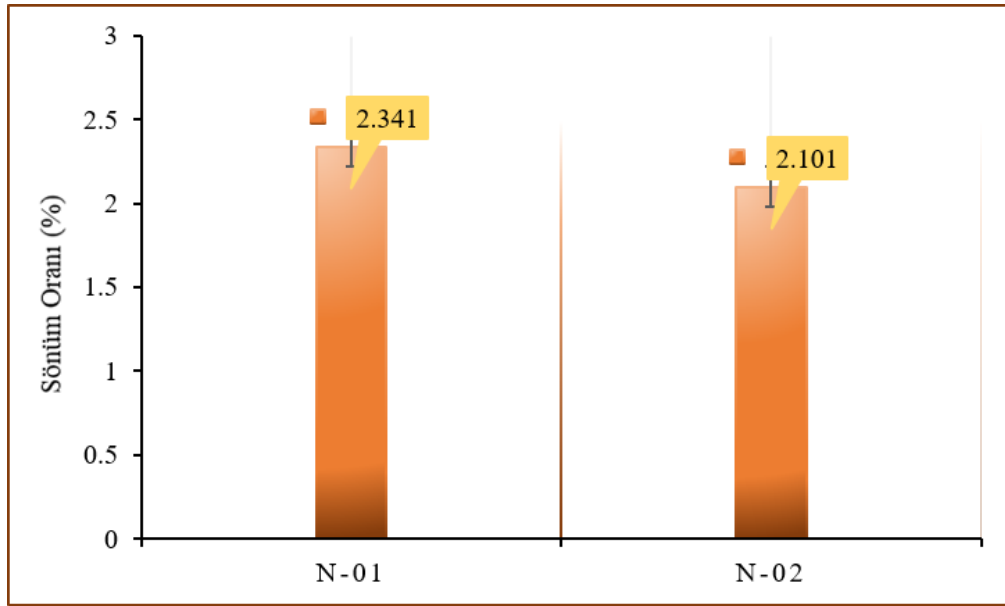
Şekil 9.2. Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin doğal titreşim periyotları

Çizelge 9.2’de deneysel olarak hesaplanan doğal periyot değerindeki yüzde değişim oranları verilmiştir. Buna göre donatılı yığma yapıda periyodun donatısız yığma yapıya göre %10.31 oranında azaldığı saptanmıştır.

Çizelge 9.2. N-01 ve N-02 numunelerin periyot değerleri arasındaki yüzde azalışı

Numune	Periyot (Sn)	% Azalış
N-01	0.097	10.31
N-02	0.087	

Sönüm oranı ile periyot genellikle doğru orantılıdır. Yani, periyot azaldıkça, sönüm oranı da genellikle azalmakta ve periyot arttıkça sönüm oranı da artma eğiliminde olmaktadır. N-01 ve N-02 numunelerinin, deneysel modal analiz sonucunda belirlenen doğal sönüm oranlarında makul bir sonuca varılmıştır. Şekil 9.3’te görüldüğü gibi donatıların etkisiyle periyot değerinde meydana gelen azalma gibi sönüm oranında da azalma saptanmıştır.



Şekil 9.3. Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları (%)

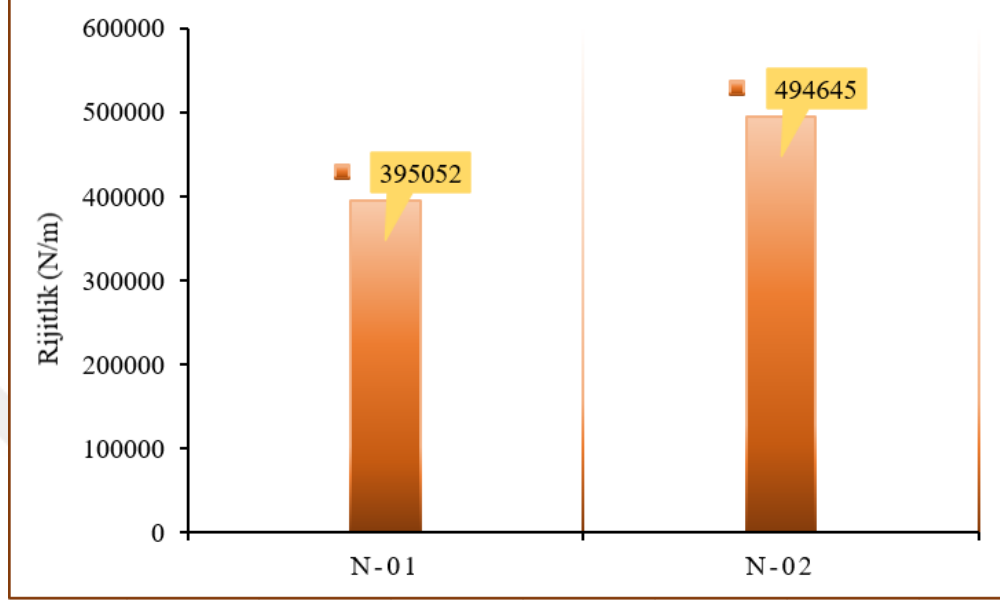
İncelendiğinde donatılı yığma yapıdaki sönüm oranı, donatısız yığma yapıya göre %10.25 daha azdır. Çizelge 9.3'te N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları arasındaki yüzde değişim gösterilmektedir.

Çizelge 9.3. N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları arasındaki yüzde değişim

Numune	Sönüm Oranı (%)	% Azalış
N-01	2.341	10,25
N-02	2.101	

Genel olarak, rijitlik ile sönüm oranı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Bu, rijitlik arttıkça sönüm oranının azaldığı ve rijitlik azaldıkça sönüm oranının arttığı anlamına gelir. Şekil 9.4'te görüldüğü gibi, yapılan deneyler neticesinde, donatılı yığma yapının donatısız yığma yapıya nazaran daha yüksek rijitlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Söylenildiği gibi, numunelere uygulanmış olan yer hareketi neticesinde yapılar herhangi bir çatlak veya hasar görmemiş ve numuneler plastik bölgeye geçmemiştir. Dolayısıyla numuneler elastik bölgede incelenmiş ve bundan dolayı donatılı yığma yapıda donatılar tam anlamıyla çalışmaya başlamadığından numuneler arasında çok büyük bir rijitlik farkı oluşmamıştır. Bu sebepten dolayı hesaplanan rijitlik değerleri başlangıç yanal ötelenme rijitlikleri olarak ifade edilebilir (Nakipoğlu, 2024).

N-01 ve N-02 numuneleri arasında %25.21 oranında rijitlik farkı olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 9.4'te numunelerin rijitlikleri arasındaki yüzde fark gösterilmiştir.

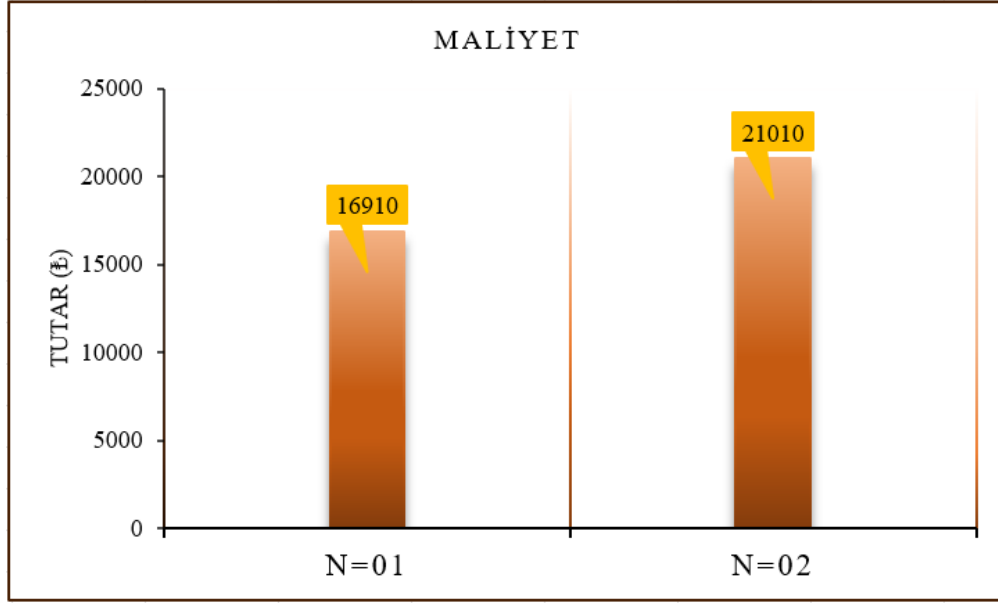


Şekil 9.4. N-01 ve N-02 numunelerinin başlangıç rijitlikleri (N/m)

Çizelge 9.4. N-01 ve N-02 numunelerinin başlangıç rijitliği değerleri arasındaki yüzde fark

Numune	Rijitlik (N/m)	% Artış
N-01	395052	25.21
N-02	494645	

N-01 ve N-02 numunelerinin maliyet analizi değerlendirildiğinde, N-01 numunesinin maliyeti yaklaşık 16910 (₺) iken, N-02 numunesinde bu rakam yaklaşık 21010 (₺) olarak hesaplanmıştır (Şekil 9.5).



Şekil 9.4. N-01 ve N-02 numunelerinin maliyet değerleri

Karşılaştırma yapılacak olursa donatılı yığma yapının maliyetinin, donatısız yığma yapıya göre %24.25 daha fazla olduğu saptanmıştır (Çizelge 9.5).

Çizelge 9.5. N-01 ve N-02 numunelerinin maliyet değerleri arasındaki yüzde fark

Numune	Tutar	% Artış
N-01	16910 ₺	24.25
N-02	21010 ₺	

Donatılı yığma yapı, duvarlarına yerleştirilen donatılarından, epoksi yapıştırıcı malzeme kullanımından ve işçilik zorluğundan dolayı donatısız yığma yapıya göre daha yüksek maliyete sahiptir.

Sonuç olarak;

- Donatılı yığma yapının rijitliği donatısız yığma yapıya göre %25.21 daha fazla bulunmuştur.
- Donatılı yığma yapının sönüm oranı, donatısız yığma yapıya göre %10.25 daha az çıkmıştır.
- Donatılı yığma yapının periyodu, donatısız yığma yapıya göre %10.31 daha az bulunmuştur.

- Donatılı yığma yapının frekansı, donatısız yığma yapıya göre %11.15 daha fazla bulunmuştur.
- Donatılı yığma yapının maliyeti, donatısız yığma yapıya göre yaklaşık %24.25 daha fazla hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde deprem etkisi altındaki donatılı yığma yapıların dayanımlarının, donatısız yığma yapılara göre oldukça fazla olduğu sarsma tablası üzerinde yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Deneylerde plastik bölgeye geçildiğinde donatıların yapının davranışına olumlu katkısı çok daha fazla olacak ve donatılı yığma yapının dayanımının çok daha fazla çıkacağı düşünülmektedir.

Diğer bir taraftan, donatılı yığma yapıların imalatı ve işçiliği oldukça zordur. Ayrıca tuğlaların içerisinde donatıların geçirilmesi sırasında kargir birimde büyük zaiyatlar olmaktadır. Bu da maliyeti artırmakta ve yapım süresini uzatmaktadır.

9.2. Öneriler

Bu tez çalışmasından elde edilen tecrübeler ve bilgilere göre gelecekte yapılacak benzer çalışmalar için bazı öneriler şöyledir;

Daha sonra yapılacak çalışmalar da numunelerde hasar durumu da incelenip plastik bölgedeki davranışınlar daha kapsamlı bir şekilde incelenebilir.

Sarsma tabası motor kapasitesi yeterli olduğu durumlarda 3 doğrultuda deprem hareketi verilerek sonuçlar araştırılabilir.

Daha fazla sensör ile deney yapılması araştırmanın hassasiyetini arttıracaktır.

Tuğla üretici fabrikaların, yönetmelik hesap kurallarına göre direkt olarak donatılı tuğla şeklinde üretim yapması donatılı yığma tipi binaların yaygınlaşmasına ve bu tip binaların inşaatında işçiliğin kolaylaştırmasına imkân sağlayacaktır.

10. KAYNAKLAR

- AFAD. (2018). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Bakanlığı: <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> adresinden alındı
- Akbaş, T. (2020, 1 29). İki Betonarme Binada Bağ Kirişleri Etkisinin Operasyonel Modal Analiz ve Sonlu Eleman Yöntemleriyle Belirlenmesi. İstanbul: Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Akdeniz, Ö. (2011, 1 27). Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi. Elazığ, Türkiye: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgündüz, N. (2004, 1). Deprem Bölgelerinde Yığma Yapı Tasarımının Yönetmeliğe Göre İncelenmesi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aköz, A. (2008, 6). Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Amani, A. (2019, 9 17). Yığma Binaların Deprem Hesaplarının Türk Deprem Yönetmelikleri Çerçevesinde İrdelenmesi. Bursa, Türkiye: Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arıcan, Y. (2010). Yığma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı. Isparta, Türkiye: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aşık, F. (2018, 7). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi. Konya, Türkiye: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü .
- Avitabile, P. (2001). Experimental modal analysis. *Sound and vibration*, pp. 35(1), 20-31.
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A., Sevim, B., Şahin, A., & Özcan, D. (2010, 12 31). Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 5185-5205.
- Bello, R. (2022, 7 4). Collapse Simulation Of Half-Scaled Unreinforced Masonry Building And Validation Of Shaking Table Tests. Trabzon, Türkiye: Karadeniz Technical University.
- Büyükgökmen, D. (2001, 6). Donatılı Yığma Yapı Tasarımı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi.
- Demirel, İ. O. (2010, 12 17). A nonlinear equivalent frame model for displacement based analysis of unreinforced brick masonry buildings. Ankara, Türkiye: Middle East Technical University Graduate School of Science.

- Döndüren, M. (2008). Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar Ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi. Konya, Türkiye: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erçolak, A. (2021). Yığma Yapıların Duvarlarının Kesme Gerilme Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması. Konya, Turkey: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ersubaşı, F. (2008). Yığma Yapıların Deprem Davranışının Sarsma Masasında Dinamik Olarak İncelenmesi ve Farklı Güçlendirme Seçeneklerinin Değerlendirilmesi. konya, Türkiye: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Goyal, A., & Agarwal, P. (2017, 2 9). Earthquake-Resistant Interlinked Block Masonry System With Energy Dissipator Viscoelastic Links. s. 04017001-13.
- Gür, D. (2013, 7 8). VLF Sinyallerinde Oluşan Tedirginliklerin Giderilmesi İçin Bir Yazılım Geliştirilmesi. Elazığ, Türkiye: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hızlı, M. (2023, 12 11). Geleneksel Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kabir, M. Z., & Rezaifar, O. (2019, 8). Shaking table examination on dynamic characteristics of a scaled down 4-story building constructed with 3D-panel system. s. 411-424.
- Kara, H. (2009, 1). Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karaahmetli, S., & Dündar, C. (2017, 6). Yapıların Dinamik Analizinde Kullanılan Sönüm Modellerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s. 23-36.
- Karataş, İ. K. (2020, 1 13). Bir eğitim binası özelinde mevcut yığma binaların deprem davranışının belirlenmesi. İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kaya, E. (2022, 6). Betonarme Kolonlarda Etriye Aralıklarının Ve Donatı Sınıfının Yapı Dinamik Davranışına Etkisi. Konya, Türkiye: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Kayırğa, O. (2017, 7). Yığma Yapıların Deprem Davranışının Analitik Ve Deneysel Olarak Belirlenmesi. Kayseri, Türkiye: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kıpçak, F. (2018, 12 3). Harman Tuğlası ile İnşa Edilmiş Yan Duvarı Boşluklu Yığma Yapıların Düzlem Dışı Davranışlarının Eğilme Masası Yardımı İle Belirlenmesi. Van, Türkiye: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Köseoğlu, G. (2011, 6). Investigation Of A Damaged Historical Mosque With Finite Element Analysis. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.
- Nakipoğlu, A. (2024, 1). Betonarme Binalarda Hasar, Onarım Ve Güçlendirmelerin Dinamik Davranışa Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Konya, Türkiye: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Özsaraç, S. (2009, 1). Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların GFRP İle Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sallio, N. (2005, 7 25). Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi. Denizli , Türkiye: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sayın, M. (2022, 6). Betonarme Yapılarda Beton Basınç Dayanımının Yapı Dinamik Davrandığına Etkisi. Konya, Türkiye: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Şerbetçigil, K. (2021, 6). Yığma Bir Binada Uygulanan Deprem Güçlendirmesinin Doğrusal Olmayan Analitik Yöntemle İncelenmesi. Konya, Türkiye: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sert, A. (2019, 7 17). Yapı Tanılama Algoritmalarıyla Özgün Yapı Dinamik Özelliklerinin Tahmini. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sert, A., & Beyan, K. (2019, 12 10). Sistem Tanılama Algoritmaları Kullanılarak Yapı Dinamik Karakteristiğinin. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s. 55-63.
- TBDY, (. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Türkoğlu, A. (2022, 1 28). Tbdy-2018 ve RYTEIE-2019 Kapsamında Yığma Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi. Kocaeli, Türkiye.
- Türkoğlu, A. (2022, 1 28). TBDY-2018 Ve RYTEIE-2019 Kapsamında Yığma Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi. Kocaeli, Türkiye: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ugurlu, K., Demir, C., & Ilki, A. (2013). Seismic Assessment Of A School Building Constructed With AAC Panels And Experienced 1999 Kocaeli Earthquake. *In Proc. SMAR 2013 2nd Conference on Smart Monitoring Assessment and Rehabilitation of Civil Structures*.
- Umudum, A. (2014, 11 20). Yapı Sistemlerinde Özdeğer Problemi ve Çözüm Yöntemleri. Erzurum, Türkiye: Atatürk Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü.
- Usta, P., & Evcı, A. (2019). Using Reinforced AAC Panels to Against Earthquake Loads. *In International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology*, pp. 435-446.

Yıldız, M. (2022). 2007-2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine Göre Yığma Okul Binalarının Yapısal Özellikleri. Bilecik, Türkiye: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

