



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KUŞATILMIŞ VE DONATILI PANEL
SİSTEMLİ YIĞMA YAPILARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Merve DURSUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran - 2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve DURSUN tarafından hazırlanan “Kuşatılmış ve Donatılı Panel Sistemli Yığma Yapıların Dinamik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 18/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği 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

Dr. Öğr. Üyesi Mohammed Gamal AL-HAGRI
(İstanbul Aydın Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 241004050 nolu 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

Merve DURSUN

Tarih

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUŞATILMIŞ VE DONATILI PANEL SİSTEMLİ YIĞMA YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Merve DURSUN

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

Danışman. Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2025, 94 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Mohammed Gamal AL-HAGRI

Türkiye’deki mevcut konut stoğunun büyük bir bölümünü yığma yapılar oluşturmaktadır. Bu yapıların büyük bir kısmı özellikle kırsal bölgelerde yoğunluktadır. Kırsal alanlarda bu yapılar genellikle ustaların ve yapı sahiplerinin deneyimlerine dayanarak inşa edilirken, şehirlerdeki yığma yapılar mühendislik ilkeleri gözetilerek yapılmaktadır. Mühendislik bilgisi kullanılmadan yapılan yığma yapıların deprem karşısındaki dayanıklılığı düşük seviyededir. Yeni inşa edilecek yığma yapılar, yönetmelikte belirlenen koşullara uygun şekilde inşa edildiğinde depreme dayanıklı yapı olarak nitelendirilebilirler. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, yığma yapıların inşasında dikkat edilmesi gereken hususları detaylı şekilde açıklamaktadır. Bunun yanı sıra, yönetmelikte yeni yapılacak yığma yapılar için farklı yığma yapı türleri de tanımlanmıştır. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin 11. bölümünde yer alan Kuşatılmış ve Donatılı Panel Sistemli yığma binaların dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Laboratuvar ortamında kuşatılmış yığma yapı ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri üretilmiş, sarsma tablasında deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden numunelerin doğal titreşim frekansları, periyotları ve sönüm oranları elde edilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kuşatılmış yığma yapı numunesinin donatılı panel sistemli yığma yapı numunesine göre frekans değerinde %5,8 oranında artış, doğal periyot değerinde %5,48 azalış ve doğal sönüm oranında %6,20 azalış olduğu görülmüştür. Numuneler arasında kuşatılmış yığma yapı numunesinin %11,94 oranında rijitliği artırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler. Yığma yapılar, kuşatılmış yığma yapı, donatılı panel sistemli yığma yapı, sarsma tablası, dinamik davranış

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DYNAMIC BEHAVIORS OF MASONRY STRUCTURES WITH CONFINED AND REINFORCED PANEL SYSTEM

Merve DURSUN

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

Advisor. Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Jury

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Mohammed Gamal AL-HAGRI

Masonry structures constitute a large portion of Turkey's current housing stock. These structures are particularly concentrated in rural areas. While these structures in rural areas are generally constructed based on the experience of master builders and building owners, masonry structures in cities are constructed with engineering principles in mind. Masonry structures constructed without engineering knowledge have low earthquake resistance. Newly constructed masonry structures can be considered earthquake-resistant if constructed in accordance with the conditions specified in the code. The 2018 Turkish Building Earthquake Code provides detailed information on the points to be considered in the construction of masonry structures. In addition, the code defines different types of masonry structures for new masonry structures. In this study, the dynamic behavior of masonry buildings with Confined and Reinforced Panel Systems, as defined in Chapter 11 of the Turkish Building Earthquake Code, was experimentally investigated. Confined masonry and reinforced panel system masonry specimens were produced in a laboratory environment and subjected to shaking table tests. The natural vibration frequencies, periods, and damping ratios of the samples were obtained from the data obtained from the experiments. When the results obtained from the experiments were examined, it was observed that the confined masonry specimen had a 5.8% increase in frequency, a 5.48% decrease in natural period, and a 6.20% decrease in natural damping ratio compared to the reinforced panel masonry specimen. Among the specimens, the confined masonry specimen increased its stiffness by 11.94%.

Keywords. Masonry structures, enclosed masonry structure, reinforced panel system masonry structure, shaking table, dynamic behavior

ÖNSÖZ

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

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

Deneysel çalışmamda bana yardımcı olan değerli emekçilerimize teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmamı yapabilmek için destek sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü'ne çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar için kullandığımız sarsma tablasını bölümümüze kazandıran Acos Makina' ya, FSM Doğan Yapı Teknolojileri Tic. San. Ltd. Şti.' ye, İnş. Müh. Adnan DOĞAN' a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmamızda kullanılmak üzere beton desteği veren KONYA HAZIR BETON' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü destek ve kuvvet veren değerli aileme çok teşekkür ederim.

Merve DURSUN

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Hedefleri	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Yığma yapılar ile ilgili yapılmış analitik çalışmalar.....	5
2.2. Yığma yapılar ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalar.....	7
3. YIĞMA YAPILAR	13
3.1.Yığma Yapıların Sınıflandırılması.....	14
3.1.1. Donatısız yığma yapılar	14
3.1.2. Donatılı yığma yapılar	15
3.1.3. Kuşatılmış yığma yapılar	16
3.1.4. Donatılı panel sistemli yığma yapılar	17
3.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler	19
3.2.1. Tuğla	19
3.2.2. Doğal yapı taşları	19
3.2.3. Kerpiç.....	20
3.2.4. Beton Briketler ve Gazbetonlar	21
3.2.5. Dolgu duvarlarda kullanılan harçlar	21
3.3. Yığma Yapıların Deprem Davranışı	22
3.4. Yığma Yapıların Türkiye Bina Yönetmeliği 2018’e Göre Analiz ve Tasarım Kuralları	25
3.4.1. Yığma yapılarda izin verilen bina yüksekliğinin belirlenmesi	25
3.4.2. Yığma yapı özelliklerinin TBDY 2018’e göre belirlenmesi	26
3.4.3. Yığma yapıların tasarım kuralları	28

3.4.4. Yığma yapılarda performans hedeflerinin belirlenmesi	32
4. YAPI DİNAMİK PARAMETRELERİ	33
5. DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ	36
5.1. Teorik Modal Analiz Yöntemi.....	36
5.2. Deneysel Modal Analiz Yöntemi.....	37
5.2.1. Geleneksel deneysel modal analiz yöntemi	37
5.2.2. Operasyonel modal analiz yöntemi.....	38
5.3 . Deneysel Modal Analiz Yönetmeyle Modal Parametrelerin Elde Edilmesi	38
5.3.1. Frekans tanım alanındaki yöntemler	39
5.3.1.1. Fourier dönüşümü	39
5.3.1.2. Transfer fonksiyonu (FRF)	41
5.3.1.3. Hızlı Fourier dönüşümü	41
5.3.1.4. Sızıntı	41
5.3.1.5. Pencereleme	41
5.3.1.6. Tepe tutma (Peak picking)	42
5.3.1.7. Yarım güç bant genişliği.....	42
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
6.1. Numuneler Hakkında Genel Bilgi	44
6.1.2. Donatılı Panel Sistemli yığma yapı numunesinin detayları.....	45
6.1.3. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin detayları.....	48
6.2. Numunelerin Üretilmesinde Kullanılan Malzemeler.....	50
6.2.1. Gazbeton malzemesinin dayanım testleri	52
6.2.2. Kullanılan harç numunesinin dayanım testleri	53
6.2.3. Kullanılan beton numunesinin dayanım testleri	53
6.3. Yığma yapı numunelerinde kullanılacak temellerin hazırlanması	54
6.4. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin üretilmesi	55
6.5. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin üretilmesi.....	60
6.6. Dinamik Testler	64
6.6.1. Sarsma tablası	64
6.6.2. Sarsma tablası üzerine numunelerin sabitlenmesi	66
6.6.3. Veri toplama	67
6.6.4. Sarsma tablası üzerinde numuneler ve deney düzeneği.....	68

7. SARSMA TABLASINDA YIĞMA YAPILARIN TİTREŞİM DENEYLERİ....	71
7.1. N-01 Donatılı Panel Sistemli Yığma Yapı Deney Numunesi.....	71
7.1. N-02 Kuşatılmış Yığma Yapı Deney Numunesi	72
8.1. Etki ve Tepki ivme - zaman grafikleri	74
8.2. Etki - Kuvvet zaman grafikleri	76
8.3. FFT- Genlik Grafikleri.....	78
8.4. FRF Genlik ve FRF Eğri Uydurma Genlik grafikleri.....	79
8.5. Frekans sonuçlarının karşılaştırılması	82
8.6. Periyot sonuçlarının karşılaştırılması.....	83
8.7. Sönüm oranlarının karşılaştırılması	84
8.8. Rijitlik değerlerinin karşılaştırılması	85
8.9. Maliyetlerin karşılaştırılması	86
9.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	88
9.1.Sonuçlar	88
9.2. Öneriler	90
10.KAYNAKÇA.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A :Etkilenen yüzey alanı

a : İvme

T : Doğal titreşim periyodu

K : Yapının rijitliği

m : Yapının kat kütlesi

Hz : Hertz

Kn : Kilonewton

Cm : Centimetre

M : Metre

Mpa : Megapascal

ω : Doğal frekans

ζ : Sönüm oranı

c : Sönüm sabiti

d : Katın yanal yük etkisiyle oluşan deplasman

F : Kata etkiyen yanal yük

ϕ : Donatı çapı

Kısaltmalar

AFAD : Afet ve acil durum yönetimi bakanlığı

BKS : Bina kullanım sınıfı

BYS : Bina yükseklik sınıfı

DD-2 : Deprem yer hareketi düzeyi

DTS : Deprem tasarım sınıfı

FFT : Hızlı fourier dönüşümü

FRF : Frekans davranış fonksiyonu

PLC : Programmable logic controller

PGA : Peak ground acceleration

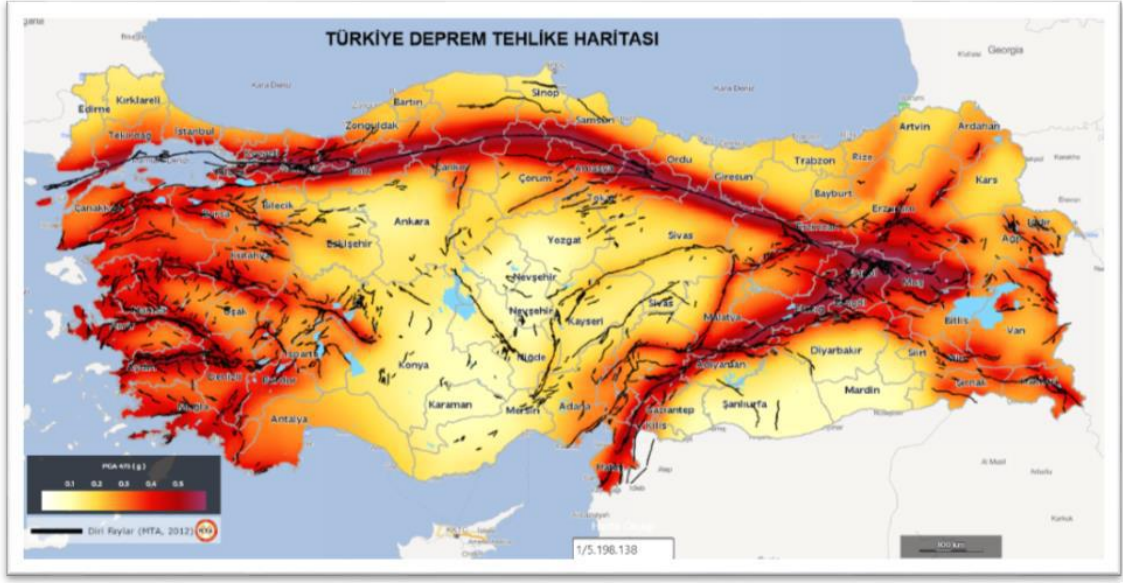
TBDY :Türkiye bina deprem yönetmeliği

N-01 : Donatılı panel sistemli yığma yapı numune

N-02 : Kuşatılmış yığma yapı numune

1. GİRİŞ

Doğal afetlerde önemli bir yer tutan ve önceden bir uyarı olmadan meydana gelen yeryüzündeki depremler, Türkiye'nin aktif deprem bölgelerinde büyük can kayıplarına neden olmaktadır. Yurdumuzun büyük bir bölümü dünyanın en aktif ve tehlikeli deprem kuşaklarının altındadır ve nüfusumuzun yüzde 90'ını deprem kuşağı üzerinde yaşamaktadır (Şekil 1.1).



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

Son zamanlarda meydana gelen depremler, mevcut yapılarımızın deprem dayanımının incelenmesi ve şiddetli başka bir depremde göçebilecek yapıların belirlenmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Oluşan depremler sonucunda meydana gelen kayıpları engellemek ve en aza indirmek için geçmiş yıllardan günümüze kadar yapılarla ilgili tasarım kriterleri belirlenmiş bunun neticesinde birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Depremler sonrası saha incelemelerinden elde edilen bilgiler ve tecrübeler doğrultusunda, binaların deprem güvenliğini artırmaya yönelik akademik çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar esas alınarak deprem yönetmeliği yeniden düzenlenmiştir. Son olarak, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 yılında yürürlüğe girmiştir.

Yığma yapılar Türkiye'nin mevcut yapılarının içinde önemli bir yere sahiptir. Yığma yapılar tuğla, taş, briket, gazbeton, ahşap ve kerpiç gibi yapı malzemelerinin harç malzemesi kullanılmasıyla oluşturulan duvarlarının yük taşıdığı yapı türleridir. Dünya'da birçok tarihi yapı yığma yapı olarak inşa edilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Dünya ve ülkemizde bulunan tarihi yığma yapılar

Ülkemizde yığma yapıların sayısı fazla olmasına rağmen, genellikle mühendislik bilgisi olmadan, mal sahipleri veya işçiler tarafından tecrübeye dayalı olarak inşa edilmektedir. Yığma yapıların diğer yapılara göre dezavantajları kullanılan malzemeler gereği ağır, gevrek olmalarıdır. Yapı ağırlığı arttıkça, deprem sırasında oluşacak kuvvetler de artmakta, bu da yapı elemanlarının büyük iç gerilmelere maruz kalmasına neden olmaktadır. Yığma yapılarıdaki bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve deprem dayanımlarını artırarak hızlı ve maliyeti düşük olacak şekilde üretim sağlamak amacıyla, TBDY 2018’de yeni yığma yapı türleri önerilmiştir. TBDY-2018 yeni malzemelerle yığma yapıların üretilmesine olanak tanıyarak, deprem etkileri altında iyi performans gösterecek yığma yapı türlerinin inşa edilmesini hedeflemektedir.

1.1. Tezin Amacı ve Hedefleri

Türkiye’deki yapıların büyük bir bölümü yığma yapı şeklindedir. Şehir merkezlerinde, yapıların yaklaşık üçte biri betonarme olup, neredeyse yarısına yakını ise yığma yapı tarzında inşa edilmiştir. Geri kalan kısmı ise kerpiç veya moloz taş gibi malzemeler kullanılarak yapılan yığma yapılarından oluşmaktadır. Kırsal bölgelerde ise yığma yapıların oranı giderek artmakta ve merkezi yerleşim yerlerindeki yığma yapı yoğunluğundan daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. İnsanlar yığma yapıları, ekonomik olması, malzeme teminin diğer yapı malzemelerine göre kolay olması, yapım yöntemlerinin ve işçiliğin kolay olmasından dolayı tercih etmektedirler. Türkiye’de meydana gelen birçok deprem, maddi ve manevi kayıplara neden olmuştur. Son yıllardaki depremler, yapı stoğumuzun deprem dayanımının incelenmesi ve olası bir depremde yıkılabilecek yapıların tespit edilmesinin önemini ortaya koymuştur. Meydana gelen depremlerin yol açtığı maddi ve manevi kayıpları önlemek veya en aza indirmek amacıyla, geçmişten günümüze yapılarla ilgili tasarım kriterleri belirlenmiş ve birçok deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yaşanan depremlerden elde edilen saha incelemeleri ve akademik çalışmalarla binaların deprem güvenliğini artırmak hedeflenmiş, bu doğrultuda deprem yönetmeliği güncellenerek son olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 yürürlüğe konmuştur. TBDY-2018’de 4 farklı yığma yapı türüne izin verilmiştir. Bunlar Donatısız yığma yapı, Donatılı yığma yapı, Kuşatılmış yığma yapı ve Donatılı panel sistemli yığma yapılarıdır.

Yığma yapıların deprem etkisi altında davranışını belirlemek önemlidir. Yapılan çalışmalarda statik olarak deprem kuvvetleri yatay yönde verilmektedir. Yapılan bu çalışmada sarsma tablası kullanılarak yığma yapıların dinamik davranışları belirlenmiştir. Özellikle deprem etkisi altında yapının periyodu ve sönüm oranı büyük önem arz etmektedir. Bu değerler belirlenerek yapının deprem davranışı ortaya konmaktadır. Ayrıca kuşatılmış yığma yapı ve donatılı panel sistemli yığma yapı ile ilgili sarsma tablası üzerinde yapılmış deneysel çalışmalara çok az rastlanmaktadır.

Bu çalışmayla ülkemizde yeni yapılacak yığma yapıların dinamik davranışlarını görmek amacıyla 1/2 ölçekte tek katlı ve tek açıklıklı, 3 boyutlu, iki tip yığma yapı (Kuşatılmış yığma yapı ve Donatılı Panel Sistemli yığma yapı) üretilmiştir. Numunelerin imalatı ve deneyler Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılmıştır.

Çalışmada kuşatılmış yığma yapı numunesi ve donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin titreşim deneyleri yapılmıştır. Deneylerde numuneler sarsma tablası vasıtasıyla farklı durumlarda zorlanmış titreşime maruz bırakılmıştır. Dinamik deneyler sırasında ivmeölçer vasıtasıyla okunacak ivme-zaman verilerden faydalanarak sistemlerin modal analizi yapılmıştır. Elde edilen doğal titreşim frekansları, periyotları ve sönüm oranları karşılaştırılarak yapıların dinamik davranışları belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar ve maliyet analizi karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde giriş ve tezin amaçları, hedefleri anlatılmıştır. Yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışından bahsedilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümü kaynak araştırmasından oluşmaktadır. Kaynak araştırması kısmı yığma yapılarla ilgili yapılmış deneysel çalışmalar ve yığma yapılarla ilgili yapılmış analitik çalışmalar olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın üçüncü bölümünde yığma yapı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü ve beşinci bölümde sırasıyla yapı dinamik parametreleri ve dinamik analiz yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın altıncı bölümünde materyal ve yöntem kısmı anlatılmıştır. Bu kısımda numuneler ve sarsma tablası hakkında bilgiler verilmiştir. Yedinci bölümde numunelerin hazırlanması detaylı olarak anlatılmıştır. Sekizinci bölümde deneyler sonucunda elde edilen verilerin analizi yapılmıştır. Son kısım olan dokuzuncu bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yığma yapılar ile ilgili yapılmış analitik çalışmalar

Sallio (2005), yaptığı çalışmada 1950 yıllarında yığma yapı olarak inşa edilen Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi binasının mevcut durumuyla kesme kuvvetlerini karşılayacak yeterli dayanım ve rijitlilikte olamaması sebebiyle incelenmiş ve yapının bazı duvarlarına rijitliğinin artırılması aynı zamanda duvar kesme dayanımlarının yeterli seviyeye ulaşması için güçlendirme metodu olan püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Yapının mevcut durumu ve güçlendirilmeden sonraki durumu SAP2000 programı ile analiz edilip karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler ve analizlerin sonucunda; güçlendirme işlemi ile yapının rijitliği artırılmıştır, duvarlara gelen kesme kuvvetleri azaltılarak kesme kapasiteleri artırılmıştır, büyük hasarlara sebep olan düzlem dışı kuvvetler ve deplasmanlar azaltılmıştır.

Aytekin (2006), yaptığı çalışmada yığma yapılar için uygulanması gereken sistemleri, karşılaşılan düzensizlikleri ve hasar seviyelerini diğer ülkelerin standartlarıyla karşılaştırarak açıklamıştır. SAP2000 programını kullanarak tuğla ve gazbeton malzemelerinin özelliklerini girdikten sonra, donatısız ve kuşatılmış yığma yapı modellerini oluşturmuştur. Bu modellerde 1999 Düzce depremi ivme kayıtları kullanılarak yapıların deprem davranışları incelenmiştir. Elde edilen yer değiştirme ve kesit etkisi sonuçları Çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

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.

Kayırğa (2017), yaptığı çalışmada yığma yapıların deprem davranışının bilinebilmesi için deneysel ve analitik çalışmalar yapmıştır. Yapmış olduğu iki aşamalı çalışmada malzeme özellikleri ve yapı davranışları incelenmiştir. Malzeme özellikleri deneylerinde harç, blok ve duvar parçası üzerine deneyler yapılmıştır. Yapı davranışı inceleme deneylerinde ise 3x3x3 m boyutlarında, tek katlı, tek açıklıklı, 1/1 ölçekli, farklı duvar boşluklarına sahip üç adet yığma yapı modeli üzerinde deney yapılmıştır. Bu modeller tersinir yatay yüke maruz bırakılmıştır. Deneysel çalışmaların her bir döngüsünde, uygulanan yük ile deplasman değerleri bilgisayar vasıtasıyla kayıt altına alınmış ve yapı üzerinde işaretlenmiştir. Analitik çalışmalar kapsamında, deneysel çalışmalarda olduğu gibi, malzeme ve yapı analizi olmak üzere iki aşamalı çalışma yürütülmüştür. Malzeme analizlerinde, deneysel çalışmaları yapılan harç, blok, duvar parçası; yapı analizleri aşamasında ise, üç farklı yığma yapı planı üzerinde SAP2000 ve ANSYS gibi sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapabilen programlarla çalışılmıştır. Deneysel ve analitik çalışma sonuçlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yığma yapıların deprem davranışı hakkında öneriler sunulmuştur.

Uzun (2017), yaptığı çalışmada çok katlı yığma bir yapının mevcut halinin ETABS programında modeli oluşturularak yapılan analizde yeterli deprem dayanımı gösterememesi sebebiyle güçlendirme yöntemleri dikkate alındığında kesme kuvvetini azaltacak bir yöntemin benimsenmesinin daha doğru olacağına karar verilmiştir. Bu nedenle yapıya etki eden kesme kuvvetini büyük oranda alacak binaya 4 köşesinde betonarme perde duvar eklenmesi suretiyle yapılan güçlendirme yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan güçlendirme sonrası ETABS da tekrar analiz yapıldığında perdelerin deprem kuvvetini güvenle taşıdığı görülmüştür.

Aşık (2018), yaptığı çalışmada 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.

Yalnız (2020), yaptığı çalışmada yığma yapılarda deprem etkisinde oluşan hasarların ve bu hasarların oluşma nedenlerinin tespit edilebilmesi için çalışmaya referans model oluşturacak basit bir yığma yapıyı ETABS programında modelleyerek, bu yöntemden elde edilen bilgiler ışığında Tarihi Konya Lisesi Binası üzerine çalışmıştır. Söz konusu okul binasında bilgisayar ortamında girilen düşey ve yatay deprem yüklerinden oluşan gerilmeler değerleri ile yönetmelik kıstaslarına bağlı kalarak alınan kesme ve basınç emniyet gerilme değerleri kıyas edilerek her bir duvar elemanı için çalışılmıştır. Çalışma sonucunda beklenildiği gibi pencere çevresinde ve pencere aralarında kalan yığma duvarlar yanal kuvvetlere karşı zayıf kalmaktadır.

2.2. Yığma yapılar ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalar

Gençer (2000), yaptığı çalışmada yapıların deprem davranışlarını anlamak amacıyla deprem sırasında olduğu gibi depremi benzeştiren dinamik yatay yüklerin uygulandığı sarsma tablasını kullanarak pomza katkılı bims bloklarla inşa edilen bir yığma yapının davranışını araştırmıştır. Deney sonuçlarında elde edilen kesme dayanım değerlerini, farklı delik oranları ve harç dayanımlarına sahip tuğlalarla gerçekleştirilen yığma yapı deneylerinden alınan kesme dayanım verileri ile karşılaştırmıştır. Sarsma tablasından elde edilen kesme dayanım değerlerinin ortalama değerde olduğu sonucuna varmıştır.

Kuran (2006), yaptığı çalışmada toplam beş farklı deney numunesi kullanmıştır. İlk olarak, düşey delikli tuğladan imal edilmiş tek katlı yığma yapıyı sarsma tablasında test ederek, ortaya çıkan hasarları gözlemlemiş ve bu bilgiler doğrultusunda yapıyı onarmıştır. Daha sonra, duvarlara yükleme yapılacak yöne göre farklı doğrultularda çelik şeritler yerleştirmiş ve dört ek deney yapmıştır. Bu yapıların dayanım, periyot, rijitlik, sönüm ve enerji tüketimi gibi performans kriterleri açısından farklılıklarını karşılaştırmıştır.

Çöğürçü (2007), yaptığı çalışmada yığma yapıları güçlendirmek için; düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlamların kontrol altına alınması düşüncesiyle epoksi reçineli FRP ile yatay derz takviyesi uygulaması analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada gerçekçi boyutlara sahip, aynı geometri ve malzeme özelliğinde 2 ayrı prototip duvar üretilmiştir. Birinci duvar deprem etkisini

modelleyen düzlem dışı tersinir yük altında denenmiş ve kırılma davranışı incelenmiştir. İkinci duvarın yatay derzleri epoksi reçineli FRP ile takviye edilmiş ve aynı şartlar altında denenerak duvarı kırılmaya karşı ne kadar güçlendirdiği incelenmiştir. Deney sonuçlarında epoksi reçineli FRP ile yatay derzlere takviye uygulanan duvarın kırılmaya karşı dayanımını 3 kat arttırdığı gözlenmiştir.

Aköz (2008), yaptığı çalışmada 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 kullanılabileceği incelenmiştir.

Döndüren (2008), yaptığı çalışmada, normal harç kullanılarak inşa edilen bir yığma duvar ile, Sikalatex katkı maddesiyle bağlayıcı özellikleri güçlendirilmiş harçtan yapılmış bir yığma duvarın, düzlem dışı kırılma davranışları karşılaştırılmıştır. Deneysel süreçte, gerçek boyutlara uygun olarak iki farklı prototip duvar üretilmiştir. Referans olarak seçilen ilk duvar, deprem etkisini taklit eden tekrarlayan yükler altında test edilmiştir. Bu test sırasında ilk çatlak oluşumu, kırılma şekli, süneklik, enerji harcaması ve çatlakların görüntüsü detaylı şekilde araştırılmıştır. İkinci duvarda ise, ön testlerde belirlenen katkı maddesi miktarı kullanılarak bağlayıcı özellik artırılmıştır ve bu duvar da aynı yük testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları, her iki duvarda gözlemlenen ilk çatlak, kırılma noktası, süneklik, enerji tüketimi ve çatlak detaylarını karşılaştırmayı mümkün kılmıştır. Sonuçlar görüleceği üzere katkı maddesi ile güçlendirilmiş harç kullanımı, duvarların kırılma sürecini geciktirmektedir.

Ersubaşı (2008), yaptığı çalışma kapsamında yığma binalarda depremden kaynaklanan çeşitli hasar tiplerini ele almış ve önlemek amacıyla kullanılabilecek farklı güçlendirme yöntemlerini sunmuştur. Ölçekli bir yapı modeli kullanarak sarsma masası ile dinamik yükleme deneyleri yapmış ve çeşitli güçlendirme teknikleri (CFRP, payanda, tel germe, donatılar) uygulamıştır. Sonuçlar, güçlendirme yöntemlerinin yapı dayanımını en az %50 oranında artırdığını göstermiştir.

Durgun, (2013), yaptığı çalışmada sarsma tablalarında yapıların titreşim ölçerler ve deplasman sensörleri ile zamana bağlı parametrelerin elde edildiğini açıklamaktadır. Bu deneylerden çıkan verilerle mod şekilleri, sönüm oranları ve yapının dinamik özellikleri analiz edilerek, gerçek yapıların davranışını taklit edebilecek modellerin oluşturulabileceğine vurgu yapmıştır.

Yedek (2013), yaptığı çalışmada düzlem dışı hareketler ve tersinir yük durumunda yığma duvarların mekanik davranışlarını araştırmış ve güçlendirme yöntemi olarak püskürtme beton kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneyleri, yalın ve güçlendirilmiş (püskürtme beton ile) örnekler üzerinde yapmış ve güçlendirilmiş örneklerin taşıma kapasitesinin arttığını, çatlakların daha küçük ve kılcal halde oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca zamanla güçlendirme yöntemi olan püskürtme betonun duvar yüzeyinden ayrılması gibi durumları gözlemlediğini rapor etmiştir.

Kıpçak (2018), yaptığı çalışmada yığma yapılar üzerine yapılan araştırmalarda, taşıyıcı duvarların düzlem dışı deplasmanlar yaptığı ve bu durumun tüm yapının göçmesine yol açabildiğini aktarmıştır. Bu sorunların çözümüne yönelik, harman tuğlaların şaşırtmalı örgü olacak şekilde inşa edilen 7 farklı model yığma duvarlar üzerinde deneyler yapılmış, kapı ve pencere açıklıklarının düzlem dışı göçmede nasıl bir etkisi olduğunu açıklanmıştır.

Güneş (2020), yaptığı çalışmada tuğla duvarlara plastik kompozit donatısı uygulayarak güçlendirme yollarını laboratuvar ortamında test eden bir çalışma yapmıştır. Toplam dokuz tuğla örneğinden bir tanesine herhangi bir uygulama yapmadan, diğerlerine çeşitli şekillerde plastik kompozit donatı uygulayarak, diyagonal yükleme testleri gerçekleştirilmiş ve kırılma ile deplasman sonuçları ortaya konmuştur. Sonuçlar, plastik kompozit donatısının güçlendirmede etkili olabileceğine işaret etmiştir.

Şerbetçigil (2021), yaptığı çalışmada 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

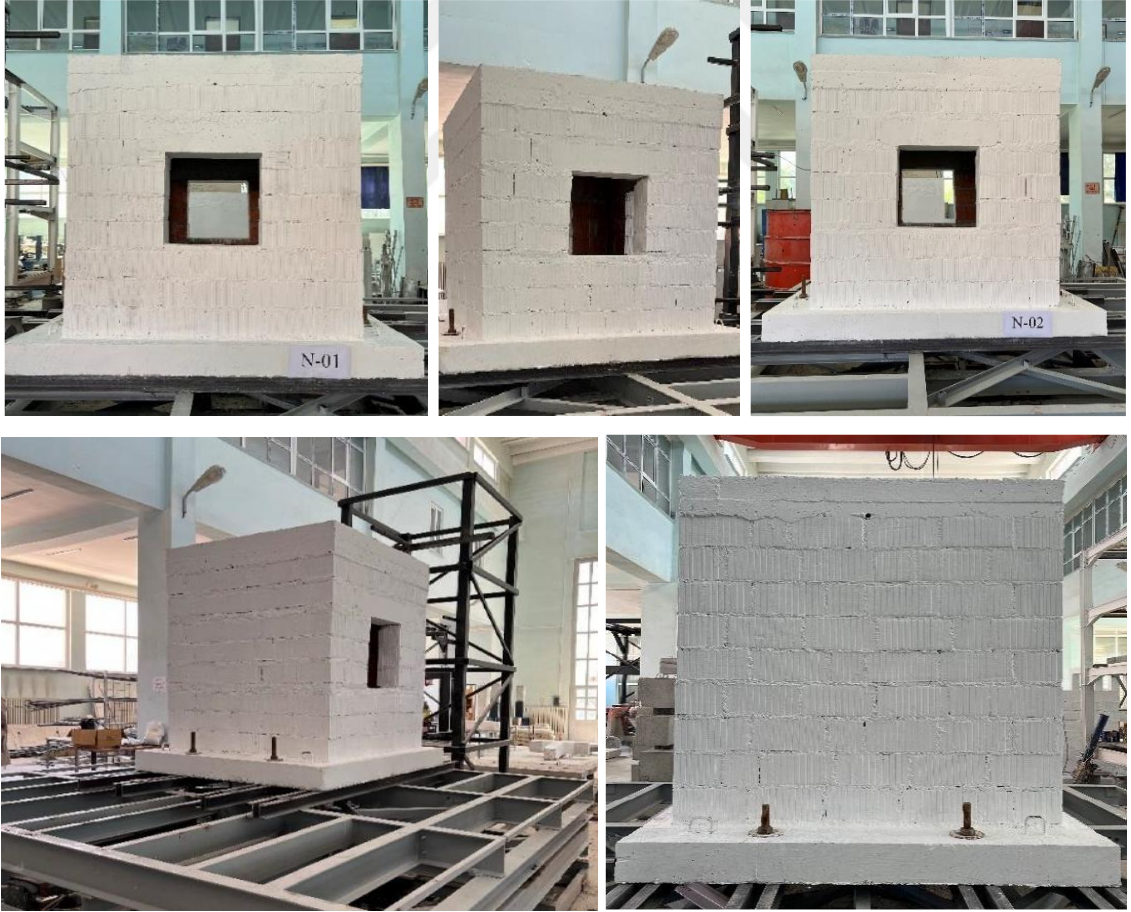
güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş hallerinde toplam kesme kuvvetine karşı kat deplasmanları bulunmuştur. Güçlendirilmiş binanın yatay yük taşıma kapasitesi önemli ölçüde artmıştır. Güçlendirilmiş bina duvarlarında, yükleme adımları sırasında meydana gelen kesme gerilmeleri, güçlendirilmemiş yapı duvarlarına göre küçülmüştür.

Kaya (2022), yaptığı çalışmada, 1/3 ölçekli altı adet farklı etriye aralıklarına ve donatı sınıfına sahip kolon örneği üzerinde sarsma tablası testi uygulayarak, kolonların doğal titreşim frekanslarını ve sönüm oranlarını ölçmüştür. Veriler, etriye aralığı ve donatı sınıfının titreşim özellikleri üzerinde yaklaşık %6-7 ve %25 oranında etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sönüm oranlarının üzerinde ise %4.98-9.6 ve %36-39 oranında etkili olduğunu göstermiştir.

Sayın (2022), yaptığı çalışmada 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. 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.

Genç (2023), yaptığı çalışmada tarihi yapıların hasarsız şekilde incelenmesini amaçlamış ve deneysel modal analiz (titreşim testleri) kullanarak gerçek yapılar üzerinde analizler gerçekleştirmiştir. Bu sayede, tarihi yapılar için başlangıç verileri elde edilmiştir. Ayrıca, laboratuvarla ölçekli kemer köprü modelleri inşa edilerek, çeşitli hasar durumları (mesnet oturması, oyulma ve deprem hasarı) simüle edilmiştir. Deneysel modal analiz ile hasarların tespiti ve onarımı için uygun yöntemler araştırılmıştır.

Mominzai (2024), yaptığı çalışmada donatılı ve donatısız yığma yapıların dinamik davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma için 1/2 ölçekte, tek katlı, tek açıklıklı, üç boyutlu donatılı ve donatısız yığma yapı numunesi üretilmiş ve sarsma tablasında deney yapılmıştır. Yapmış olduğu numuneler ve test aşaması Şekil 2.1’ de gösterilmiştir. Numunelerin hasarsız olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonucunda elde edilen doğal titreşim frekansları, periyotları, sönüm oranları ve rijitlikleri değerlendirilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarında donatılı yığma yapı numunesi, donatısız yığma yapı numunesine göre frekans değerinde %11.15 oranında artış, doğal periyotta %10.31 azalış ve doğal sönüm oranında %10.25 azalış olduğu verilerden elde edilmiştir. Numuneler arasında donatılı yığma yapı numunesinin %25.21 oranında rijitliği artırdığı gözlemlenmiştir. Numuneler maliyet açısından da karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.1. Donatılı ve donatısız yığma yapı numunelerinin sarsma masası üzerinde deneye tabii tutulması (Mominzai, 2024)

Nakipoğlu (2024) yaptığı çalışmada, 1/3 ölçekte, iki katlı, tek açıklıklı, üç boyutlu 3 adet numune üretilmiş ve sarsma tablası üzerinde zorlanmış titreşim deneyleri yapılmıştır. Deneylerde numuneler hasarsız şekilde ve kolon birleşim kısımları zayıflatılarak hasarlı, onarılmış ve güçlendirilmiş(betonarme perdeler, X şeklinde çelik çaprazlar, dolgu duvarlar) şekilde test edilmiştir. Numunelere dört farklı şiddette zorlayıcı yük uygulanarak 200'den fazla deney yapılmıştır. İvmeölçerler ve potansiyometrik cetveller vasıtasıyla alınan zamana bağlı ivme verileri ve deplasman verileri, deneysel modal analiz yöntemiyle incelenerek dinamik parametreleri belirlenmiştir. ETABS programı kullanılarak zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçları deneysel sonuçlarla büyük oranda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Betonarme perdeler vasıtasıyla yapılan güçlendirmenin her yönden daha iyi performansa sahip olduğu ispatlanmıştır.



3. YIĞMA YAPILAR

Ülkemizdeki yapıların büyük bir bölümünü yığma yapılar oluşturmaktadır. Bu yapılar, taş, tuğla, briket, doğal veya yapay malzemelerden yapılmış, düşey duvarlar biçiminde inşa edilmiştir ve hem Türkiye hem de dünyadaki yapı stoğunun önemli bir kısmını temsil etmektedir. Şehir merkezlerinde, yapıların yaklaşık üçte biri betonarme olup, neredeyse yarısına yakını ise yığma yapı tarzında inşa edilmiştir. Geri kalan kısmı ise kerpiç veya moloz taş gibi malzemeler kullanılarak yapılan yığma yapılarından oluşmaktadır. Kırsal bölgelerde ise yığma yapıların oranı giderek artmakta ve merkezi yerleşim yerlerindeki yığma yapı yoğunluğundan daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Bu oranlar, deprem bölgesinde önemli oranda yığma yapıların bulunduğunu ve nüfusun büyük kısmının bu alanlarda yaşadığını göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise, yığma yapıların yakın gelecekte de varlık gösterecekleri ve yeni yapımların da devam edeceği öngörülebilir. Bunun temel nedenleri;

- Yığma yapı inşaat teknikleri, diğer inşaat tekniklerine göre daha uygun maliyetlidir,
- Malzemelerin büyük çoğunluğu, yerel kaynaklardan kolaylıkla temin edilebilir,
- İnşaat süreci oldukça sade ve uygulaması basittir.

Bunun yanı sıra, yığma yapıların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Süneklik özelliğinin zayıf olması nedeniyle elastik bir davranış ile enerji yutma kapasitelerinin olmasıdır,
- Yapıların yerel özelliklere göre uyum sağlama imkanları sınırlıdır ve küçük hatalar özellikle depremlerde ciddi hasarlara neden olabilir,
- Yapımın kolay, mühendislik bilgisi ve kalifiye işçilik gerektirmemesi yanlış bir izlenim yaratabilir; böyle yapılsa depremler sırasında hasar veya yıkılma riski artabilir,
- Yüksek katlı yapıların inşasında, malzeme dayanımındaki yetersizlikler nedeniyle geleneksel yığma sistemleri kullanmak oldukça zordur.
- Farklı malzeme türleri kullanıldığından, bu malzemelerin özellikleri ve davranışları hakkında genel yargılara varmak zordur,

- Duvarların kalın ve ağır olması, yapıya büyük bir yük getirir; bu da depremde rijitliği ve kesme kuvvetlerini artırabilir (Aytekin, 2006)

Türkiye’de yığma yapıların yaygın olmasına rağmen, çoğu zaman mühendislik denetimi ve uzman gözetimi olmadan, mal sahipleri veya deneyimsiz işçiler tarafından inşa edilmektedir. Yığma yapıların en büyük sorunlarından biri, çok ağır ve hantal malzemelerden yapıldıkları için deprem sırasında oluşan atalet kuvvetleri de o kadar fazla olmaktadır. Ağır yapıların bu özelliği, deprem enerjisinin etkisini büyütür. Ayrıca, bu yapıların malzemeleri kırılğan olduğundan, deprem anında fazla deformasyon yapamadıkları için aniden göçme olasılığı yüksektir. Geleneksel yığma yapılar, kırılğan ve rijit oldukları için diğer yapılar gibi esneme ve enerji yutma yeteneğine sahip değildir. Bu da, deprem sırasında ortaya çıkan enerjiyi azaltma yeteneklerinin zayıf olmasına neden olur ve büyük yatay kuvvetlere maruz kalırlar. Ayrıca, bu yapıların yapımında kullanılan malzemeler kırılğanlık gösterdiği için, taşıma sınırını aşan yüklerde ani çatlamalar ve kırılmalar meydana gelebilir. Bu nedenlerle, geleneksel yığma yapılar genellikle depreme dayanıklı yapılar olarak görülmez. Ancak, tüm bunlara rağmen, yığma yapılar tamamen olumsuz yapılar olarak kabul edilmemelidir. Doğru mühendislik ve standartlara uygun inşa edildiği takdirde, güvenli ve sağlam olabilirler (Kaya, 2013).

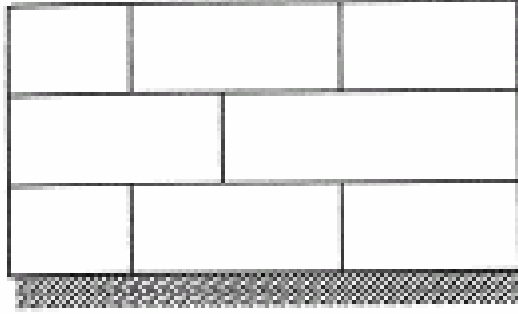
3.1.Yığma Yapıların Sınıflandırılması

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

3.1.1. Donatısız yığma yapılar

Donatısız yığma yapılar, Şekil 3.1’de görüleceği üzere düşey ve yatay yükleri doğrudan duvarlar tarafından taşınan yapılardır. Bu tip yapılarda, dolgu duvarlarda bağlayıcı madde olarak kullanılan harcın kesme dayanımı ihmal edilmemelidir. Çünkü duvardaki kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı olan ana malzeme yine harçtır. Kesme gerilmeleri harcın dayanabileceğinden fazla olursa, duvar malzemelerinin arasında çatlaklar oluşabilir. Ayrıca, bu yapılarda döşemelerin rijit diyafram gibi davranabilmesi

için yatay hatıl kullanılır. Bu hatıllar, yükleri duvarlara aktarmak, döşemeleri desteklemek ve dikey yüklerin yanında yatay deprem kuvvetlerini döşemeler aracılığıyla diğer taşıyıcı elemanlara iletmekle görevlidir. Yatay hatılların, duvarların düşey taşıma kapasitesine direkt olarak herhangi bir katkısı yoktur (Aytekin, 2006).



Şekil 3.1. Donatısız yığma duvar (Aytekin, 2006).

Şekil 3.2’ de donatısız olarak yapılmış yığma yapı örneği gösterilmiştir.

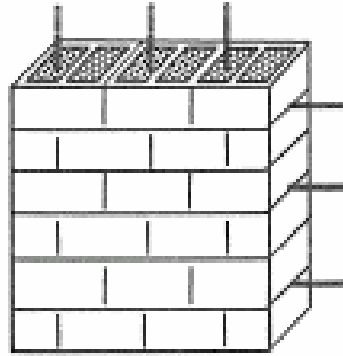


Şekil 3.2. Donatısız yığma yapı (<https://insapedia.com/yigma-yapi-nedir-yigma-bina-cesitleri-ve-ozellikleri/>)

3.1.2. Donatılı yığma yapılar

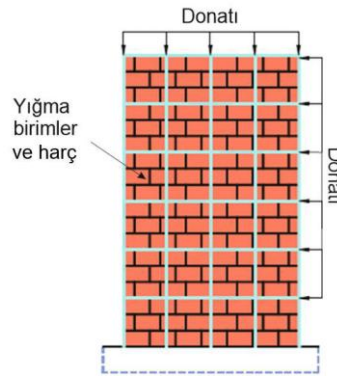
Yığma duvarlar düşey kuvvetler sonucunda meydana gelen basınç gerilmelerini güvenli bir şekilde taşımasına rağmen yatay kuvvetleri yani kesme kuvvetlerini taşımakta zorluk yaşamaktadır. Bu nedenle, deprem sırasında oluşabilecek yatay kuvvetleri karşılamak amacıyla donatılı yığma yapılar geliştirilmiştir. Bu yapıların donatısız yapılarını kıyaslandığında, donatılı yapıların deprem performansının daha yüksek olduğu görülür.

Şekil 3.3’de gösterilen bu yapılar, yatay kuvvetleri karşılamak üzere yapı malzemelerinin içerisinde donatılar içerir. Donatılı yığma yapılarda boşlukların harçla doldurulmamış olması, bu yapıların kesme dayanımlarını harçla doldurulmamış olanlara göre yaklaşık %25 oranında daha yüksek hale getirir. Ayrıca, bu yapılar için kullanılan malzemeler arasında uygun ve dayanıklı malzemeler seçmek donatısız yığma yapıya göre zordur, çünkü donatılı yığma yapılarda özel üretilmiş malzemelerin kullanılması gerekir ve bu da maliyetleri yükseltir (Aytekin, 2006).



Şekil 3.3. Donatılı içi harç ile doldurulmuş yığma yapı (Aytekin, 2006).

Donatılı olarak tasarlanmış bir yığma duvarın kesiti Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.

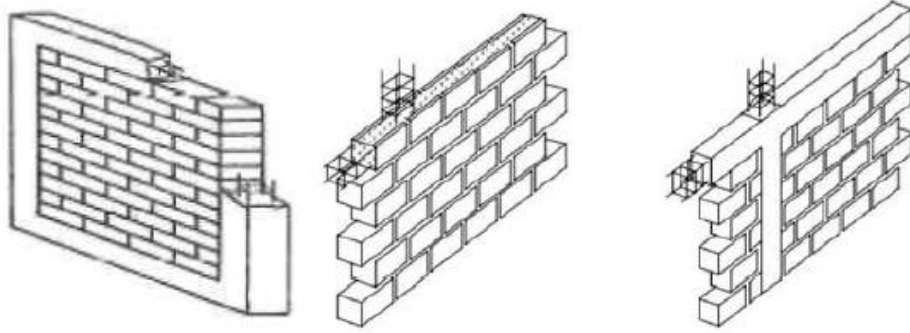


Şekil 3.4. Donatılı yığma duvar (Kömürcü, 2017)

3.1.3. Kuşatılmış yığma yapılar

Yığma yapıların deprem dayanımını artırmanın başka bir yolu ise taşıyıcı duvarların çevresine düşey ve yatay betonarme elemanlar yerleştirmektir. Bu yapı tipinde, betonarme çerçeveye alınmış duvarlar Şekil 3.5’de gösterildiği gibi, kolon ve kiriş görünümünde olmakla beraber, çalışma şekilleri kolon ve kirişten farklıdır. Bu betonarme

elemanların görevi, deprem sırasında duvarlarda oluşabilecek çatlakların gelişmesini engellemek, sınırlamak ve yapı tamamen göçmesini önlemektir. Ayrıca, bu betonarme elemanlarının yapıların rijitliğini artırmak ve döşemelerin duvarlara daha uygun şekilde mesnetlenmesini sağlamak gibi fonksiyonları da vardır (Aytekin, 2006).



Şekil 3.5. Kuşatılmış yığma yapı tipleri (Arıcan, 2010)

Kuşatılmış yığma yapı olarak yapılan bir yapı örneği Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kuşatılmış yığma yapı örneği (Smyrou, 2016)

3.1.4. Donatılı panel sistemli yığma yapılar

Önüretimli düşey gazbeton paneller, yan yana dizilerek yapıdaki taşıyıcı duvarları oluşturur. Bu paneller, betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirir. Ayrıca, panellerde bulunan yivlerde yer alan donatılar, temel ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlanır; böylece süneklik düzeyi yüksek yapılar ortaya çıkar.

Gazbeton, hafif beton sınıfına ait, içi gözenekli ve çimento, kum, kireç, alüminyum tozu ile su karışımı içeren malzemedir. Bu malzeme, ağır olmayan yapılar inşa edilmesine olanak tanırken aynı zamanda yüksek taşıma kapasitesi sunar. Malzeme iyi ısı ve ses yalıtımı sağlar, yangına dayanıklıdır ve kolaylıkla işlenebilir. Bu özellikleri sayesinde gazbeton, ekonomiklik ve pratiklik açısından tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Gazbeton yapı sistemleri, taşıyıcı duvarlar ile çatı ve döşeme panellerinden oluşur. Taşıyıcı duvarlar, yatay veya dikey biçimde yerleştirilebilen, blok şeklinde veya donatılı paneller halinde olabilir. Duvar blokları genellikle 0.60 metre uzunluğunda, 0.25 metre yüksekliğinde ve çeşitli kalınlıklarda üretilir. Duvar ve döşeme panelleri ise 0.1 ila 0.3 metre arasında kalınlığa sahip ve en fazla 6 metre uzunluğundadır, bu da onları çeşitli inşaat ihtiyacına uygun hale getirir. Yaygın kullanılan kalınlık 0.20 metredir. Döşemeler, duvar panellerinin üstüne yerleştirilen 30 cm yüksekliğindeki hatıllar ile montelenir. Ayrıca, katlar arasında bırakılan filiz boyu en az 50φ boyutundadır. Bu paneller, hem yatay hem de dikey doğrultuda donatı içerir. Üretim sırasında içlerine yerleştirilen donatılar, uygun biçimde çekilir, kaynaklanır ve ardından korozyona karşı dayanıklı hale getirilmek üzere özel karışımlar ile kaplanır (Özeren, 2017), (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Donatılı panel sistemli yığma yapılar (Türkoğlu A. , 2022)

3.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler

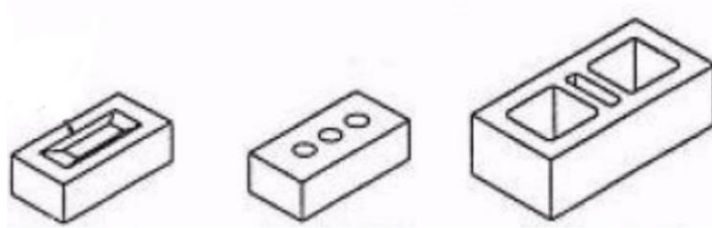
3.2.1. Tuğla

Tuğla, temel maddesi olan kil, kum, kül ve suyun yoğurulup çamur haline getirilip şekil verilmesinden sonra, yüksek sıcaklıklarda pişirilerek oluşan dayanıklı yapı malzemesidir. Şekil 3.8’ de tuğla ile örülen yığma duvar görülmektedir.



Şekil 3.8. Yığma tuğla duvarı (Erçolak, 2021)

Şekil 3.9’ da yığma yapılarda ve diğer yapı türlerinde kullanılan tuğla tipleri verilmiştir.



Şekil 3.9. Tuğla tipleri, a)Dolu tuğla (Harman tuğlası), b)Delikli tuğla, c)Boşluklu tuğla (Erçolak, 2021)

3.2.2. Doğal yapı taşları

Doğal taşlar, doğada kendiliğinden bulunan ve dayanıklılığı yüksek olan taşlardır. Sertliği, işlenebilirliği, harçlara yapışma özelliği, aşınmaya ve don olaylarına karşı direnç göstermeleri nedeniyle geçmişten beri yapı sektöründe kullanılmaktadırlar. Kumtaşı, granit ve kireçtaşı gibi taşlar, en yaygın doğal taş örneklerindendir (Güneş, 2020). Şekil 3.10’da doğal taşlar ile örülen yığma duvar görülmektedir.



Şekil 3.10. Doğal yapı taşları

3.2.3. Kerpiç

Toprağın saman ve suyla karıştırılıp uygun kalıplara döküldükten sonra güneşte kurutma yöntemiyle hazırlanan yapı ürününe kerpiç denir (Şekil 3.11). Kerpiç, taş, tuğla veya briket üretiminin zor ve maliyetli olduğu, ekonomik seviyeleri düşük, kurak bölgelerde ve sel tehlikesinin bulunmadığı alanlarda tercih edilen, maliyeti düşük ve yüksek ısı yalıtımı sağlayan bir yapı malzemesidir (Erçolak, 2021).

Malzeme temini ve üretim kolaylığı nedeniyle, tarih boyunca sürekli olarak kullanılmış bir yapı malzemesidir.

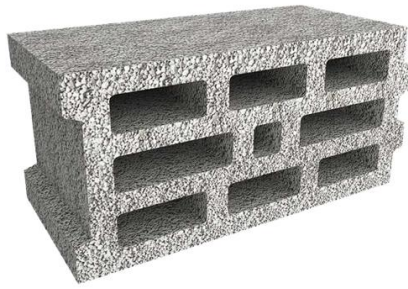


Şekil 3.11. Kerpiç yapı örneği

3.2.4. Beton Briketler ve Gazbetonlar

Türkiye özellikle kırsal kesimlerde, tuğla üretiminin olmadığı, nakliyenin zor ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, hafif agreganın çokça bulunduğu bölgelerde beton briketler ve gazbetonlar taşıyıcı veya dolgu duvarlar olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Aytekin, 2006), (Şekil 3.12).

Bu malzemeler, çimento harcıyla örüldüklerinde, yapı bütünlüğünü sağlamak amacıyla yatay ve dikey hatılların kullanılmasıyla birlikte tercih edilir (Erçolak, 2021).



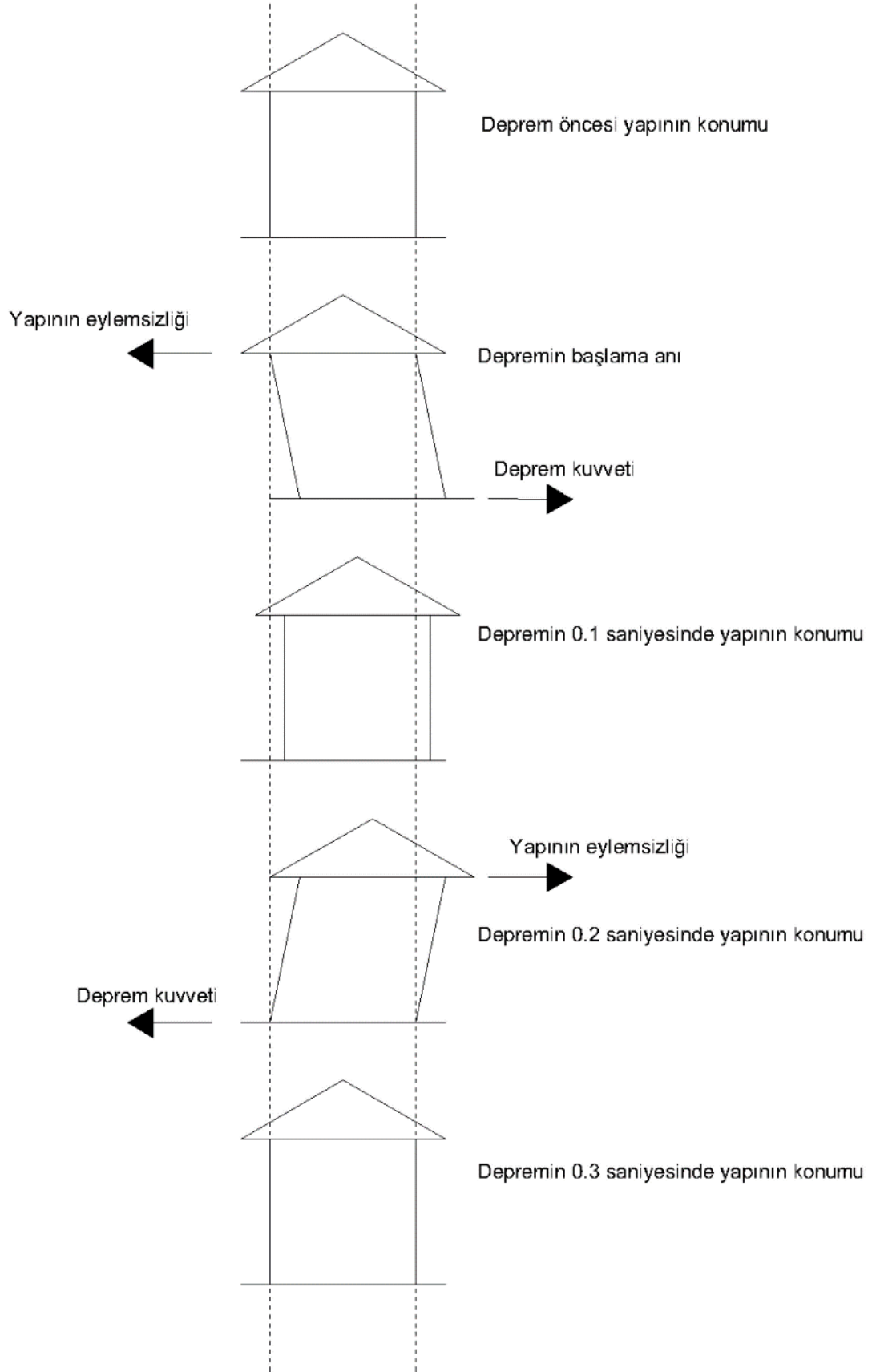
Şekil 3.12. Beton briketler ve Gazbeton

3.2.5. Dolgu duvarlarda kullanılan harçlar

Taşıyıcı ve dolgu duvar elemanlarını birbirine bağlayan malzemeye harç denir (Şekil 3.13). Bu harçlar, çeşitli malzemelerin karıştırılmasıyla, genellikle harçlar için kullanılan kum ile bağlayıcı olan çimento, kireç veya söndürülmüş kireç tozuyla karıştırılarak hazırlanır. Su ve gerektiğinde katkı maddeleri eklenerek hazırlanan harçlar, duvarların örülmesi sırasında temel yapı taşları olarak kullanılır (Orulkaya, 2019).



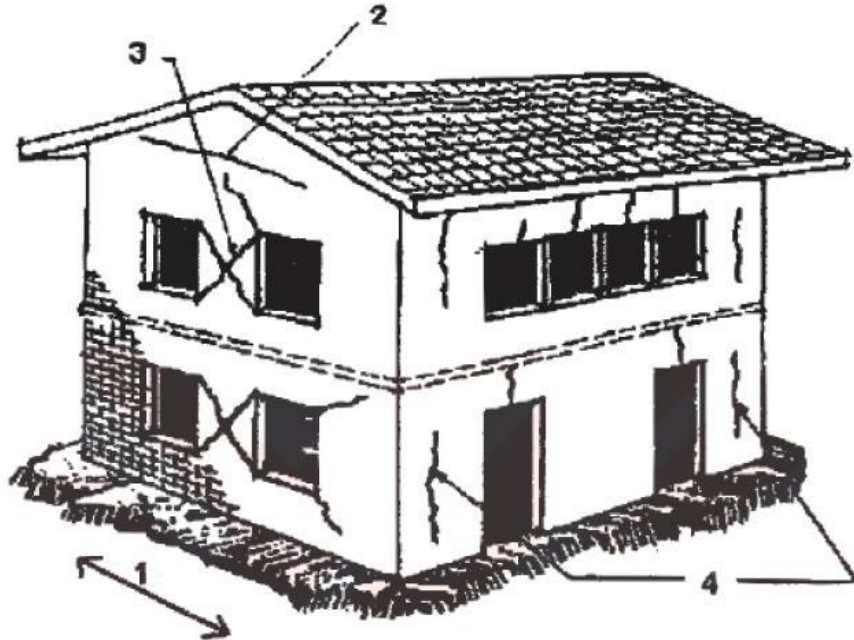
Şekil 3.13. Duvar örgü harcı



Şekil 3.15. Deprem etkisindeki yığma bina deprem davranışı (Öztaş, 2009)

Yığma yapılar gevrek ve kırılgan nitelikte oldukları için, deprem enerjisini sönümlemekte zorlanır. Betonarme yapılarda olduğu gibi, yığma yapılarda da donatılar kullanılabilir. Donatı kullanımı, deprem enerjisinin etkisini belli ölçülerde azaltabilir. Depremlerden kaynaklanan yatay kuvvetlerin yapı üzerindeki etkisi, yapının kat sayısına ve tasarımına göre değişiklik gösterebilir, bu durumda yapıların aldığı hasarların boyutunu ve şeklini etkiler (Öztaş, 2009).

Yığma yapılar üzerinde oluşan çatlaklar ve hasarların yönü, büyüklüğü ve şekli, yapıların dış duvarlarındaki pencere ve kapı açıklıklarının konumuna, duvarlarda oluşan dikey gerilmelere ve yatay deprem kuvvetlerine bağlıdır. Bu durum, yapıların farklı tasarım ve kullanım koşullarına göre değişen çeşitli hasar şekillerine neden olabilir. Şekil 3.16' da görüldüğü üzere yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar deprem doğrultusunda, kalkan duvarlarında yatay çatlaklar şeklinde, pencere açıklıkları arasındaki dolu duvarlarda diyagonal çatlaklar ve duvarlarda düşey çatlaklar şeklinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.16. Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar

1-Deprem doğrultusu 2-Kalkan duvarlarında yatay çatlaklar 3-Pencere açıklıkları arasındaki dolu duvar parçasında diyagonal çatlaklar 4-Duvarlardaki düşey çatlaklar (Şerbetçigil, 2021)

3.4. Yığma Yapıların Türkiye Bina Yönetmeliği 2018'e Göre Analiz ve Tasarım Kuralları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'in 11. bölümünde belirtilen koşullara uygun olacak şekilde yığma yapılar tasarlanmalıdır. Bu yönetmelikte, yığma yapılar dört ana kategoriye ayrılmıştır.

3.4.1. Yığma yapılarda izin verilen bina yüksekliğinin belirlenmesi

TBDY 2018' e göre izin verilen bina yüksekliğini belirleyebilmek için bina kullanım sınıfı (BKS) ve Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS) değerlerine bakarak Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) belirlenir. Sonra Deprem Tasarım Sınıfına göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) belirlenir. BYS ve DTS yardımı ile izin verilen kat yükseklikleri bulunmuş olur.

Yığma bina türleri için izin verilen en çok kat adetleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu katlara ek olarak her bina için çatı alanı, temel alanının yüzde 25'ini aşamaz. Ayrıca bir adet bodrum kat yapılmasına izin verilir.

Çizelge 3.1. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY 2018).

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Bina yükseklik sınıflarına göre belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısını gösteren değerler çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları(TBDY 2018).

E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ	R	D	BYS
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	$BYS \geq 7$
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	$BYS \geq 7$
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	$BYS = 8$
E22. Donatısız yığma binalar	2,5	1,5	$BYS = 8$

3.4.2. Yığma yapı özelliklerinin TBDY 2018’e göre belirlenmesi

Taşıyıcı yığma duvarlarda yatay ve düşey bütün derzler bağlayıcı harç kullanılarak doldurulacaktır. Donatılı panel sistemlerinde ise, paneller arasında bulunan yivlere uygun donatılar yerleştirilir ve bu yivler de harçla doldurulur. Yığma taşıyıcı duvarlar tuğla gazbeton, doğal taş veya yapay taşlarla oluşturulacaktır. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler yapı tipine ve delik oranına göre iki ana gruba ayrılmışlardır. Bu gruplar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kargir birimlerin delik oranlarına göre gruplandırılması (TBDY 2018).

Kargir Birim Cinsi	Grup 1	Grup 2
Tuğla	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$
Beton	$\alpha \leq \%35$	$\%35 < \alpha \leq \%50$

Yığma yapıların tasarımında kullanılacak malzemelerin performans kriterleri TS EN 722-1 standardına göre belirlenir. Bu standart, kargir birimlerin en küçük basınç dayanımlarının yatay derzlere dik doğrultuda en az 5.0 MPa olması gerektiğini, yatay derzlere paralel doğrultuda ise en az 2.0 MPa olması gerektiğini belirtir.

Ayrıca, donatılı panellerden oluşan binalarda kullanılacak panellerin tasarımı ve üretimi, TS EN 12602 standardına uygun olmalıdır. Duvar ve döşeme panellerinde kullanılacak malzemenin, gazbeton 5 sınıfından düşük olmaması gerekir. Paneller arasındaki yivlere yerleştirilecek donatılar ise S420, B420C veya B500C sınıfında olmalı ve donatı çapı 12 mm'den küçük olmamalıdır. Yivlerin çapı ise, donatı çapının en az 5 katı olmalıdır.

Yığma yapılar için kullanılacak harçların dayanımı da TS EN 1015-11 standardına göre belirlenir. Süneklik düzeyi sınırlı sisteme sahip yapılarda, en küçük küp basınç dayanımı 5 MPa, süneklik düzeyi yüksek yapılarda ise bu değer 10 MPa olmalıdır. Yine, paneller arasındaki yivlerin içine doldurulan çimento şerbetinin basınç dayanımı en az 10 MPa olmalıdır.

Duvarların karakteristik basınç dayanımları, TS EN 105-1 standardına uygun olarak yapılan deneyler veya TS EN 772-1 ve TS EN 1015-11 standartlarına göre elde edilen verilerle Çizelge 3.4'de belirtilen değerlerle belirlenir.

Çizelge 3.4. Yığma taşıyıcı duvarların karakteristik basınç dayanımı (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

Çizelge 3.4' de verilen değerler 0.8 katsayısı ile çarpıldığında duvarın karakteristik basınç dayanımı bulunur. Arada kalan değerler ise orantı kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \leq 0.10 f_b \quad (3.1)$$

Duvarların karakteristik kesme dayanımı (f_{vko}), TS EN 1052-3 ya da TS EN 1052-4 de belirtilen standartlara bağlı olarak yapılan deneyler ile Çizelge 3.5'e göre belirlenmelidir.

Çizelge 3.5. Duvarların Başlangıç Kesme Dayanımları (TBDY 2018)

Kargir birim	Genel amaçlı harç ^(*)		İnce tabaka harç
Tuğla	M10-M20	0.30	0.30
	M2.5-M9	0.20	
	M1-M2	0.10	
Beton	M10-M20	0.20	0.30
Gazbeton	M2.5-M9	0.15	0.30
Doğal veya Yapay Taş	M1-M2	0.10	Kullanılamaz

Tasarım dayanımları belirlenirken yığma malzemede γ_m ve donatıda γ_s malzeme katsayıları kullanılacaktır. Donatılar için kullanılan azaltma katsayısı γ_s 1,15 olarak kabul edilecek, γ_m ise gaz beton malzemeler için 1,75, diğer malzemelerde 2,0 olarak kabul edilmelidir.

Duvarların elastisite modülü (E_{duv}), TS EN 1052-1 standardındaki deneylerle belirlenir. Eğer bu testler yapılmamışsa, analizler için E_{duv} değeri $750f_k$ olarak alınabilir. Bu değer donatılı panellerde $450f_k$ olarak alınmalıdır. Ayrıca, duvarların kayma modülü, elastisite modülünün %40'ı olarak hesaplanır.

3.4.3. Yığma yapıların tasarım kuralları

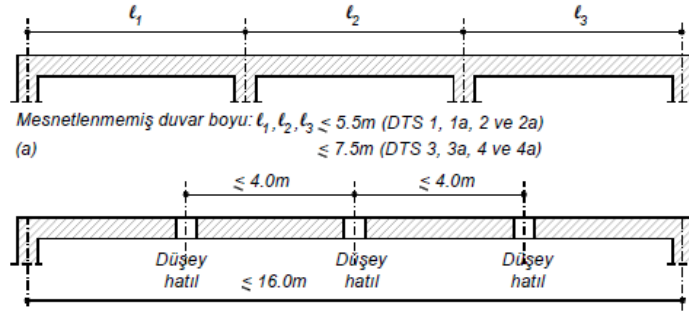
Kuşatılmış yığma binalarda, yapıların rijit diyafram etkisi sağlanması için en az 100 mm kalınlığında betonarme döşeme yapılmalı, bu döşeme en az 300 mm kesit yüksekliğinde 6 ϕ 12 boyuna, ϕ 8/150 mm enine donatılı yatay hatıllarla mesnetlenmelidir. Yatay hatıllar, en az duvar kalınlığı kadar genişlikte olmalı ve düşey aralıkları 4 metreyi aşmamalıdır. Benzer şekilde, donatılı panellerden oluşan binalarda, döşemeler de yine bu panellerle yapılmalı ve her iki yönde rijit diyafram gibi davranmalıdır.

Taşıyıcı olan duvarlar, Çizelge 3.6'ya uygun olmalı ve bu kurallara uymayanlar taşıyıcı eleman olarak dikkate alınmaz.

Çizelge 3.6. Kesme kuvveti etkisindeki yığma duvarlarda uygulanacak geometrik şartlar (TBDY 2018).

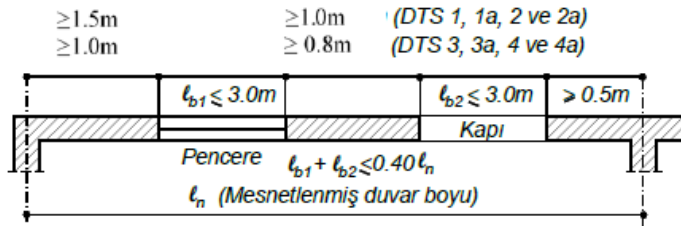
Yığma Tipi	$(t_{ef})_{\min}$ (mm)	$(h_{ef} / t_{ef})_{\max}$
Donatısız yığma, doğal veya yapay kesme taş ile	350	9
Donatısız yığma, diğer kargir birimler ile	240	12
Kuşatılmış yığma	240	15
Donatılı yığma	240	15
Donatılı panel sistemler	200	15

Kuşatılmış yığma yapılarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler, Şekil 3.17’de verilen şartlara uyacaktır. Donatılı panel sistemli yapılarda Şekil 3.17’de verilen boyut sınırları %20 oranında arttırılabilir.



Şekil 3.17. Düşey hatıllar arası mesafeler

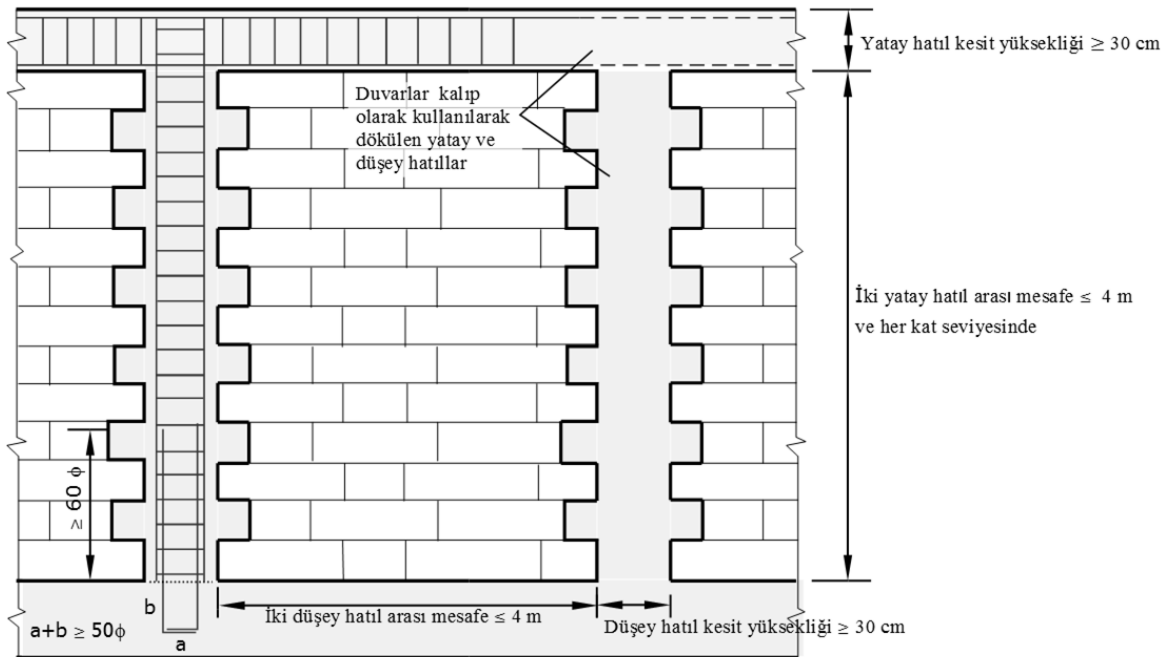
Kapı ve pencere boşluklarının üzerine betonarme lentolar konulacaktır. Lentoların duvara oturan bölümlerinin boyu en az 200 mm olacaktır. Lento yüksekliği minimum 150 mm olacaktır. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları için Şekil 3.18’de verilen kurallara uyulacaktır.



Şekil 3.18. Taşıyıcı duvarlarda bırakılması gereken kapı ve pencere boşlukları

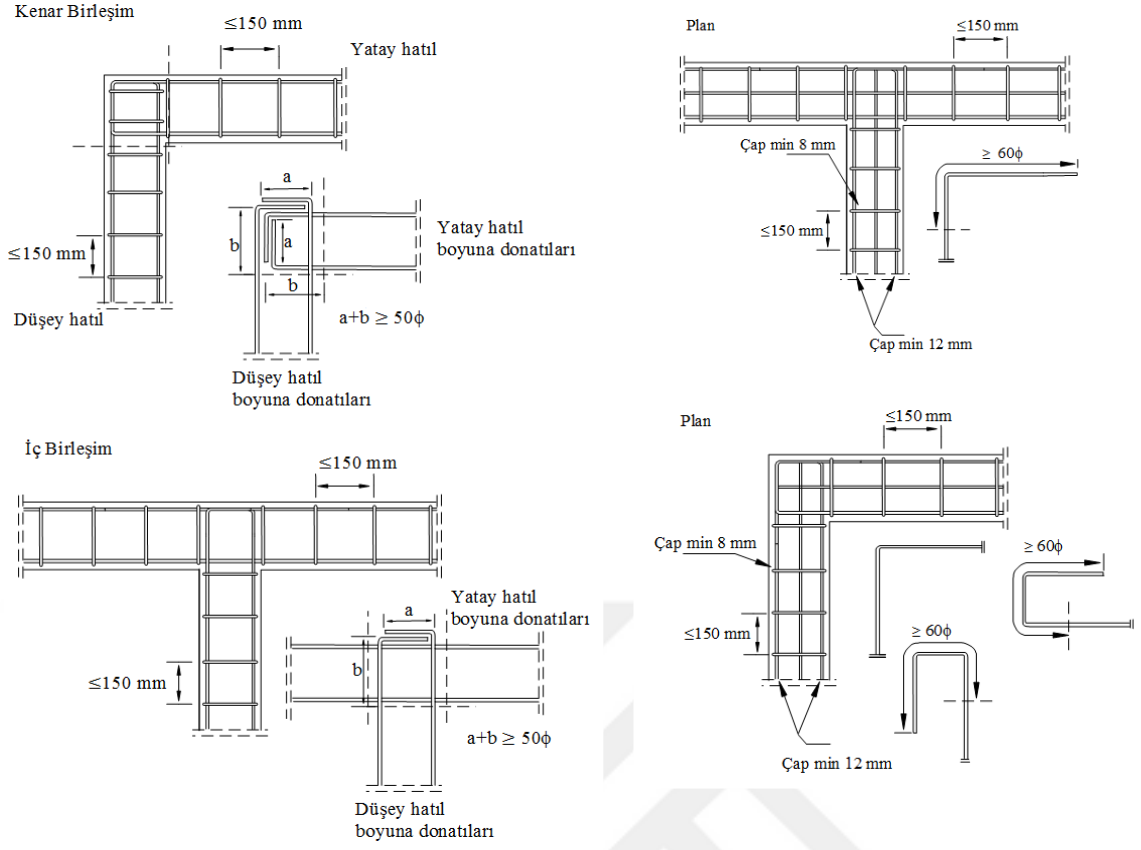
Kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların serbest kenarlarında, alanı 1.5 m^2 'den büyük olan duvar boşluklarının her iki tarafında, her 4 metrede bir ve hatıllar arasındaki mesafe de 4 metreyi geçmeyecek şekilde duvar uzunluklarında, İki taşıyıcı duvarın birleştiği noktalarda düşey hatıl inşa edilmelidir.

Düşey hatılların enkesit yüksekliği en az 300 mm olmalı, ve bu hatıllardaki boyuna donatılar $6\phi 12$, enine donatılar ise $\phi 8/150 \text{ mm}$ çapında olmalıdır. Ayrıca, düşey hatılların enkesit genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olmalı ve donatılar arasındaki bindirmeli ekler 60ϕ 'dan kısa olamaz (Şekil 3.19).



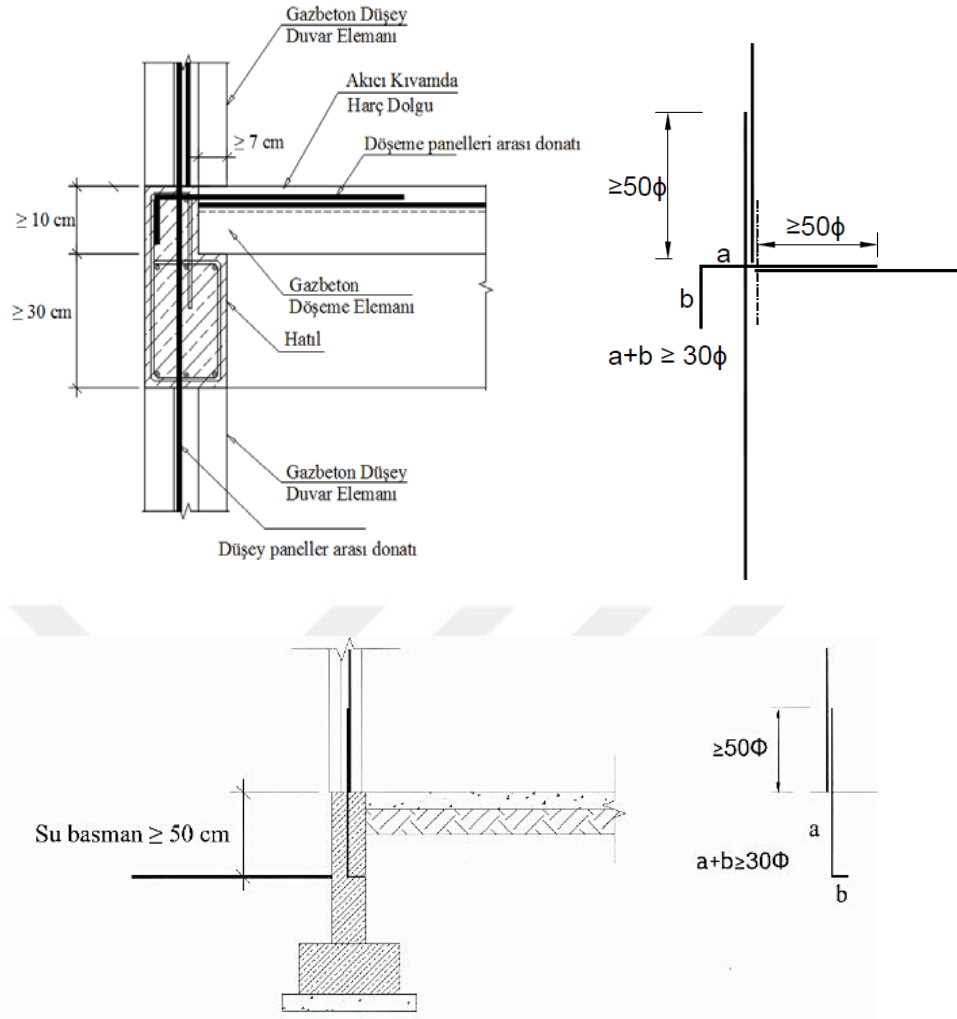
Şekil 3.19. Kuşatılmış yığma yapı yatay ve düşey hatıl detayları

Kuşatılmış yığma yapı yatay ve düşey hatılların birleşim detayları Şekil 3.20' de gösterildiği gibi olmalıdır.



Şekil 3.20. Kuşatılmış yığma yapı donatı detayları

Donatılı panellerden oluşan binalarda, döşemelerin yine donatılı panellerle yapılması durumunda, bu döşemelerin hem yatay hem de düşey yönde rijit diyafram etkisi gösterecek şekilde düzenlenmesi gerekir. Panellerin döşemeleriyle betonarme hatıllara ve temele bağlantıları, Şekil 3.21'deki şartlara uygun şekilde yapılmalıdır.



Şekil 3.21. Donatı panelli sistemli yığma yapı betonarme hatıl ve temel bağlantı detayları

3.4.4. Yığma yapılarda performans hedeflerinin belirlenmesi

Yığma yapıların performans seviyeleri, TBDY'nin Bölüm 15.2. ve Bölüm 11'e göre yapılan incelemeler ve hesaplamalar doğrultusunda belirlenir. Eğer, yapının her iki doğrultusunda bulunan duvarlarının kesme kuvveti dayanımları, uygulanan deprem sırasında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterliyse, bu yapı sınırlı hasar performans seviyesine ulaşmış olur.

Deprem etkisi altında herhangi bir katta, bu koşulu sağlamayan duvarlar varsa ve bu duvarların toplam kat kesme kuvvetine katkısı %40'tan az ise, yapı kontrollü hasar seviyesine ulaşmış kabul edilir. Ancak, duvarların toplam katkısı %40'tan fazla olursa, yapı yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır.

4. YAPI DİNAMİK PARAMETRELERİ

Servis ömrü boyunca yapıya etkiyen ve yapıların dizaynında önemli bir yer tutan fiziksel etkenlere yük denir. Yapıya etkiyen yükler zati (ölü) yük, hareketli yük ve dinamik yük olarak sınıflandırılır. Eğer yapıya uygulanan yüklerin şiddeti ve yönü zaman içinde değişiyorsa, bu yük türü dinamik yük olarak adlandırılır. Deprem, rüzgar, titreşen makineler ve trafik gibi unsurlar, dinamik yüklerin örnekleridir. Yapı dinamiği ise, bu tür dinamik yükler altında yapıların davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Bir yapının dinamik davranışını anlamak için, yapıya ait bazı temel parametrelerin bilinmesi gerekir. Bu parametreler şunlardır; yapının doğal frekansı, sönüm oranı ve mod şekilleridir. Bu parametreler, yapıların tasarımında ve dinamik yüklerin hesaplanmasında kullanılır. Ayrıca, yapıların geometrisi ölçümlerle belirlenebilirken, malzeme özellikleri zamanla değişiklik gösterebilir ki bu değişiklikler de göz önünde bulundurulmalıdır (Vural, 2017).

4.1. Doğal Titreşim Periyodu

Bir yapının önemli dinamik parametrelerinden biri olan doğal titreşim periyodu, yapının bir tam titreşim turunu tamamlaması için geçen süreyi ifade eder. yapının kütlesi arttıkça periyot artar. Genellikle (T) ile gösterilir ve şu formüle göre hesaplanabilir.

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

T = Doğal titreşim periyodu (Sn)

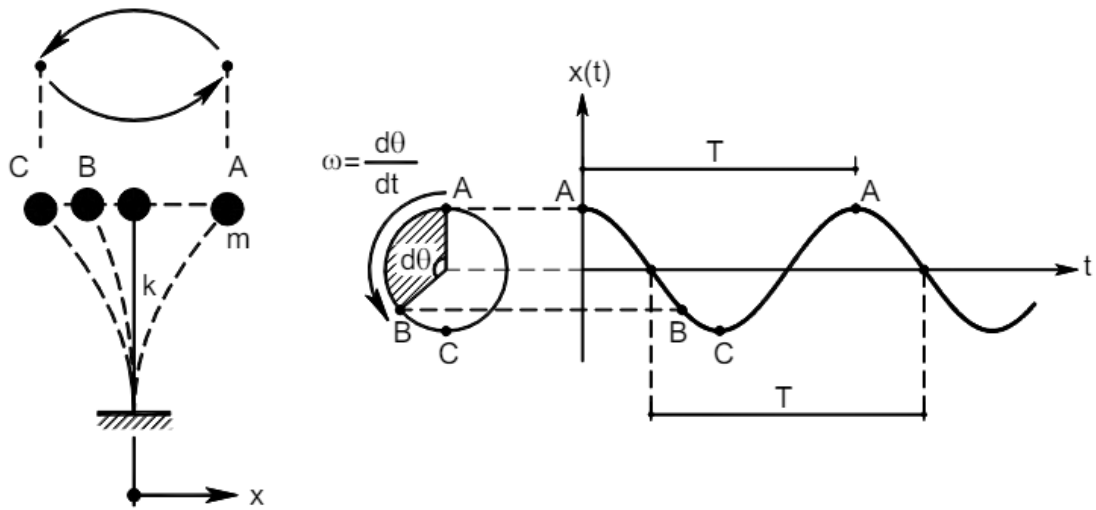
M = Yapının kütlesi (Kg)

K = Yapının rijitliği (N/m)

Deprem mühendisliğinde, bir yapının doğal titreşim periyodunun bilinmesi yapının dinamik yükler altında davranışını incelemek için önemlidir ve bu bilgiler, yapıların dinamik analizlerinde diğer yapı parametrelerinin belirlenmesinde rol oynar.

4.2. Doğal Titreşim Frekansı

Yapının doğal titreşim frekansı, yapının bir saniyede kaç kez salınım yaptığını belirtir ve yapının doğal titreşim periyodunun tersidir. Doğal titreşim frekansı (f) ile tanımlanır ve birimi Hertz (Hz) ya da 1/sn'dir. Açısal doğal frekans titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterildiğinde birim zamanda taranan açıdır ve rad/sn birimindedir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, bir periyotluk süre geçtiğinde taranan açı 2π radyan olacaktır.



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

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

4.3. Sönüm Oranı

Sönüm oranı, bir yapının hareket enerjisini ne kadar hızlı dağıttığını gösteren önemli bir parametredir. Bu oran, yapı hareketleri sırasında enerjinin ne kadar zaman içinde yok olduğunu ölçer.

Sönüm oranı boyutsuzdur ve genellikle, kritik sönüm oranına oranı şeklinde ifade edilir; yani, yapının hareket enerjisinin minimum seviyede tutulabilmesi için gereken en düşük sönüm miktarıdır.

Sönüm oranının belirlenebilmesi için Denklem 4.4 kullanılır.

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

ζ = Sönüm oranı

c = Sönüm sabiti

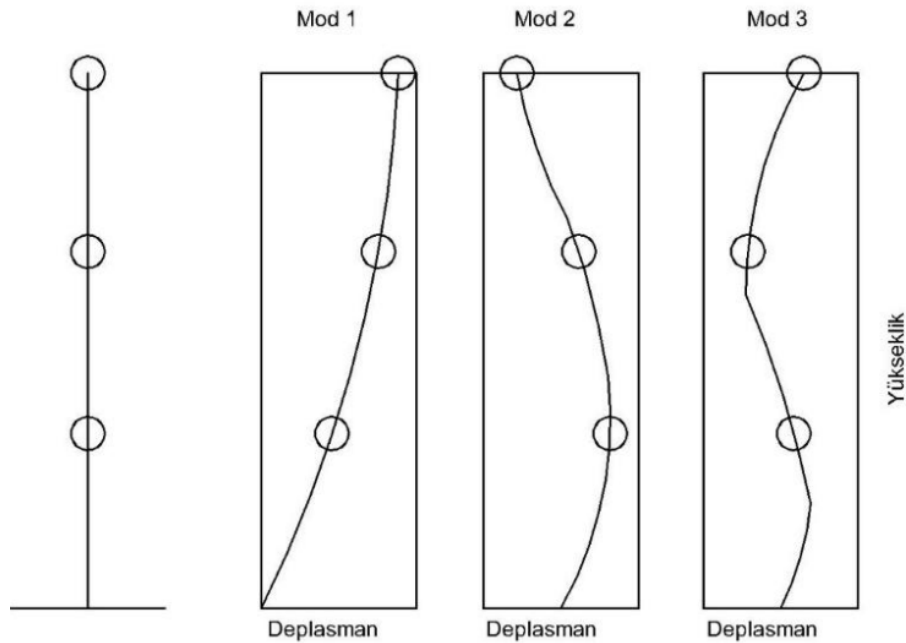
m = Yapının kütle

ω_n = Doğal titreşim frekans

4.4. Mod Şekilleri

Mod şekilleri, yapıların dinamik analizlerdeki en temel kavramlardan biridir. Bir yapı, kendi doğal frekansında titreştiğinde, o titreşim sırasında aldığı şekil mod şekli olarak adlandırılır (Sayın, 2022).

Her bir mod şekli, kendi özgü frekansında gerçekleşir ve yapı kütlesi, rijitliği ve sönüm oranına göre farklılık gösterir. Örneğin, üç katlı bir yapının farklı mod şekilleri, Şekil 4.2’de gösterildiği gibi değişebilir (Nakipoğlu, 2024).



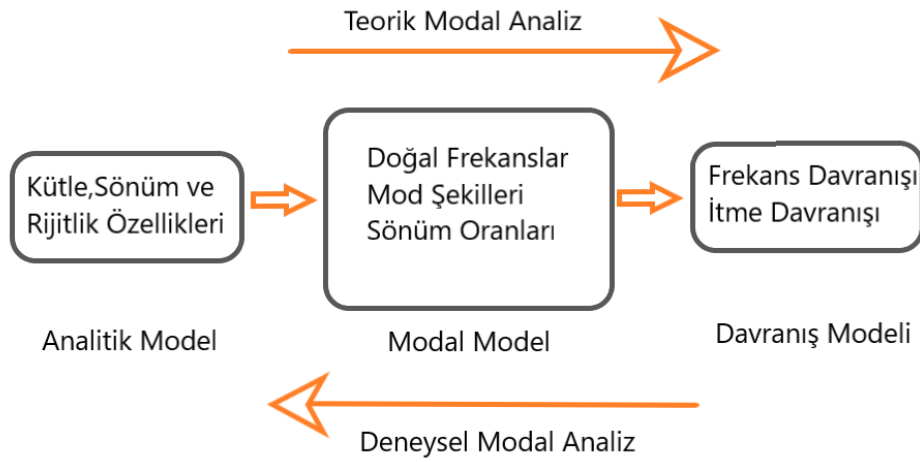
Şekil 4.2. Üç katlı bir yapı için mod şekilleri (Nakipoğlu, 2024)

5. DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Her yapı, kendine ait doğal frekansları ve mod şekilleriyle tanımlanır. Bu parametreler yapının karakteristiği olarak kabul edilir ve yapıların davranışını belirleyen önemli unsurlardır. Bu karakteristikler, yapının toplam kütlesi ve rijitliğine bağlıdır. Bu parametrelerin bilinmesi yapıya etki edebilecek herhangi bir yük altında yapının nasıl davranacağını anlamak ve yapı güvenliğini sağlamak açısından büyük önem taşır.

Yapıların dinamik yükler altında gösterdiği davranışlar, çeşitli belirsizlikler içerir. Bu belirsizlikler, sadece yüklerin etkisinin değişkenliğiyle değil, aynı zamanda yapıların dinamik parametrelerindeki belirsizlikler nedeniyle de ortaya çıkar. Bu nedenle, gerçekçi ve doğru sonuçlar elde edilebilmesi için, yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel yöntemlerle belirlenmesi gerekir. Bu sayede, yapıların gerçeğe yakın dinamik davranışları daha güvenilir ve doğru bir şekilde ortaya konabilir (Kocaman, 2017).

Şekil 5.1’de verilen şematik gösterimde teorik ve deneysel modal analiz işlem sırası verilmiştir.



Şekil 5.1. Teorik modal analiz ve deneysel modal analizde oluşturulan modeller ve işlem sırası (Kaya, 2022)

5.1. Teorik Modal Analiz Yöntemi

Modal analiz, bir yapının doğal frekansları, sönüm oranları ve deformasyona bağlı mod şekillerini belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. Bu analiz, yapının dinamik özelliklerini matematiksel olarak belirlemeye dayanır (Kocaman, 2017).

İki temel başlık altında incelenir.

- Tek Serbestlik Dereceli Sistemler (TSDS). Bu sistemlerin titreşimleri, sadece bir hareket serbestliği ile ortaya çıkar.
- Çok Serbestlik Dereceli Sistemler (ÇSDS). Bu sistemlerde, yapının birden fazla hareket serbestliği bulunur ve titreşim davranışları buna göre analiz edilir.

5.2. Deneysel Modal Analiz Yöntemi

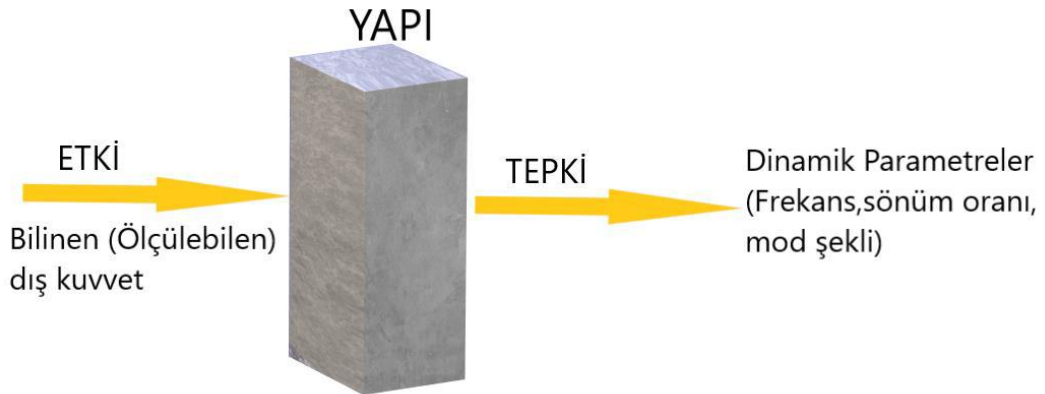
Yapıların dinamik özelliklerini belirlemenin pratik ve güvenilir yollarından biri olan deneysel modal analiz, ölçüm yapılan yapılarda hasar riski olmadan kullanılabildiği için tercih edilir (Türker, 2011).

Deneysel modal analiz, kullanılan titreşim etkisinin bilinip bilinmediğine göre iki ana yöntem altında sınıflandırılır.

- Geleneksel deneysel modal analiz
- Operasyonel modal analiz

5.2.1. Geleneksel deneysel modal analiz yöntemi

Bu yöntemde, yapıya bilinen büyüklükte bir kuvvet uygulanır ve yapının tepkisi ölçülür (Şekil 5.2). Kuvvetin genliği ve zamanla değişimi bilinir, böylece yapının dinamik karakteristikleri belirlenir (Bayraktar, ve diğerleri, 2010).

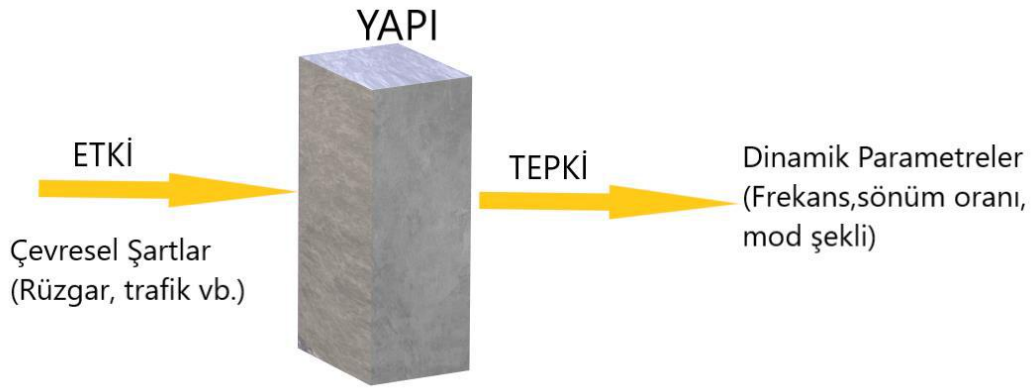


Şekil 5.2. Geleneksel deneysel modal analiz yöntemi (Kaya, 2022)

5.2.2. Operasyonel modal analiz yöntemi

Operasyonel modal analiz, yapıların karakteristiklerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir ve bu yöntemde yapı, doğrudan bilinen bir kuvvetle uyarılmaz. Bunun yerine, taşıt yükleri, rüzgar veya yayaların yürüyüşü gibi çevresel etkilerle uyarılır (Şekil 5.3). Bu uyarımlar sonucunda oluşan titreşimler, zaman ve frekans ortamında analiz edilerek yapının doğal frekansları, sönüm oranı ve mod şekili gibi dinamik özellikleri ortaya çıkarılır (Güneş, 2017).

Bu analiz yönteminde, yapı üzerinde doğrudan kuvvet uygulanmadığı için hasar riski yoktur. Bu nedenle, özellikle tarihi köprüler, barajlar, camiler ve kubbeler gibi yapıların dinamik analizinde bu yöntem tercih edilir. Yapıların dinamik karakteristikleri deneysel yöntemler ya da teorik hesaplamalarla belirlenir. Operasyonel modal analizde elde edilen veriler, yapıya gerçek ortamda yapılan ölçümlerden alınmış olduğundan, teorik hesaplamalara göre daha güvenilir ve gerçekçi sonuçlar sağlar (Semiz, 2020).



Şekil 5.3. Operasyonel modal analiz yöntemi (Kaya, 2022)

5.3 . Deneysel Modal Analiz Yönetmeyle Modal Parametrelerin Elde Edilmesi

Titreşim deneyleri sonucunda, yapıların modal parametrelerini doğru şekilde belirlemek için önce ham verilerin uygun şekilde işlenmesi gerekir. Bu aşamada, birçok bilgisayar programı kullanılarak alınan ham sinyaller ivme-zaman, hız-zaman veya deplasman-zaman verilerine dönüştürülür. Daha sonra, bu veriler üzerinde çeşitli işlemler yapılır. hata giderilir, kalibrasyon sağlanır, filtreler uygulanır ve sinyal analizleri gerçekleştirilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra, yapıların modal parametreleri, deneysel verilerden çıkarılır. Kullanılan temel yöntemler, frekans tanım alanı ve zaman tanım alanı yöntemleridir (Nakipoğlu, 2024).

Frekans tanım alanında ayrıştırma yöntemi, gelişmiş bir tepe seçme yöntemidir. Geliştirilmiş Frekans Alanında Ayrıştırma Yöntemi, yapıların dinamik özelliklerine zaman tanım alanındaki güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak Ters Fourier Dönüşümü vasıtasıyla ulaşmaktadır (Sayın, 2022).

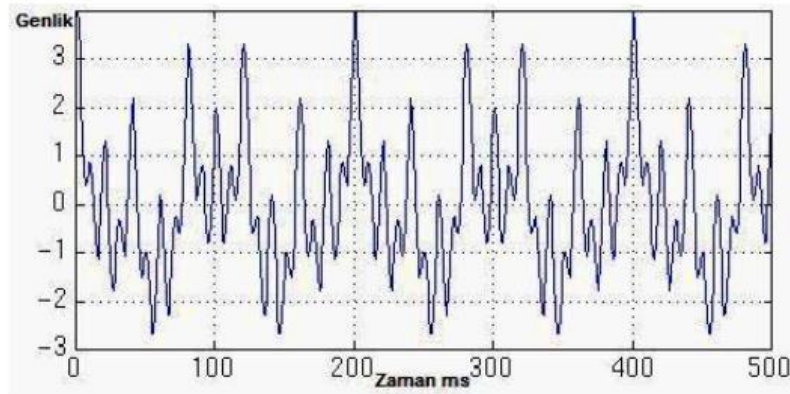
5.3.1. Frekans tanım alanındaki yöntemler

5.3.1.1. Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümü, dinamik analizlerde, titreşim verilerini işlerken ve modal parametreleri belirlerken sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, deney sırasında ölçülen zamana bağlı veriler, hesaplamaların ve analizlerin kolaylaştırılması amacıyla Fourier dönüşümü kullanılarak frekans tanım alanına geçirilir (Nakipoğlu, 2024).

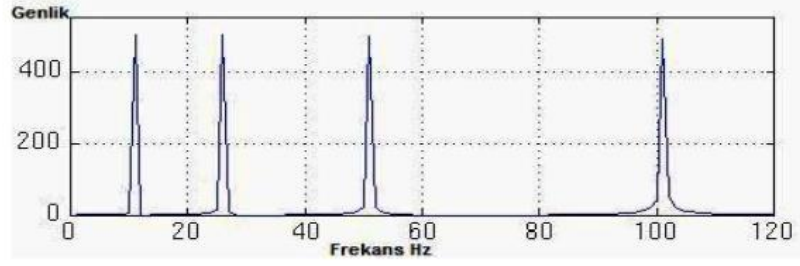
Fourier dönüşümleri iki ana kategoriye ayrılır. Sürekli (durağan olmayan) Fourier dönüşümleri ve durağan sinyallerin Fourier dönüşümleri olacak şekilde ikiye ayrılır.

Şekil 5.4’de durağan bir sinyal gösterilmektedir.



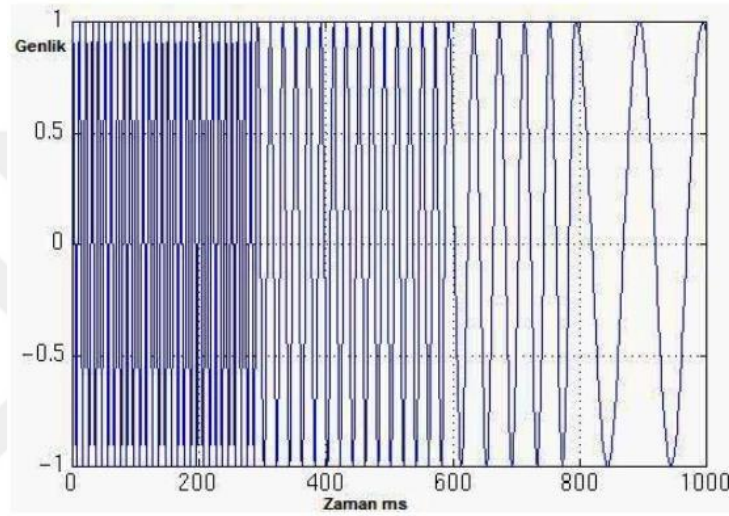
Şekil 5.4. Durağan sinyal (Gür, 2013)

Şekil 5.4’ de verilmiş olan durağan sinyalin fourier dönüşümü Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



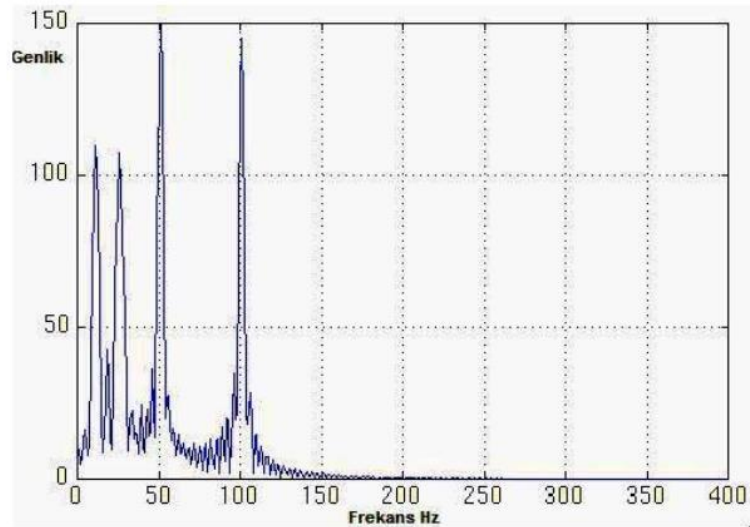
Şekil 5.5. Durağan sinyalin fourier dönüşümü (Gür, 2013)

Şekil 5.6’da Sürekli (durgun olmayan) sinyal gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Sürekli sinyal (Gür, 2013)

Şekil 5.7’de ise durağan olmayan sinyalin fourier dönüşümü gösterilmiştir. Frekanslar ise farklı genliklerdedir.



Şekil 5.7. Durağan olmayan fourier dönüşümü (Gür, 2013)

5.3.1.2. Transfer fonksiyonu (FRF)

Transfer fonksiyonu veya frekans davranış fonksiyonu (FRF), deneysel modal analizde yapıların dinamik özelliklerini ortaya çıkarmada temel bir araçtır. Bu fonksiyon, titreşim testi sırasında elde edilen etki ve tepki verileri kullanılarak oluşturulur. FRF, bir sistemdeki etki ile tepki arasındaki ilişkiyi frekans alanında gösterir. Yani frekans tanım alanındaki tepkinin etkiye oranını belirler. Bu sayede, yapıların doğal frekansları ve diğer dinamik özellikleri bu fonksiyon kullanılarak belirlenir (Nakipoğlu, 2024).

5.3.1.3. Hızlı Fourier dönüşümü

Hızlı Fourier dönüşümü (FFT), Fourier dönüşümünü optimize eden ve hesaplama süresini büyük ölçüde azaltan bir algoritmadır. Bu yöntem, özellikle zaman tanım alanında ölçülen sinyallerin frekans tanım alanına çevrilmesinde çok önemli bir araçtır. FFT sayesinde, ölçüm sonuçlarının baskın frekans bileşenleri ve mod şekilleri gibi kritik bilgiler hızlıca belirlenebilir (Sayın, 2022).

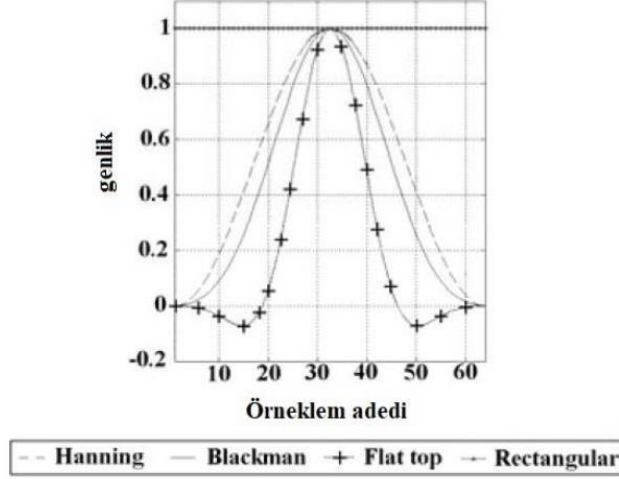
5.3.1.4. Sızıntı

Sızıntı, dijital sinyal işleme sırasında sıkça karşılaşılan ve ciddi bir hatadır. Bu hata, özellikle FFT kullanılarak zaman alanındaki sinyallerin frekans alanına aktarılması sırasında ortaya çıkar. Sızıntı, frekans spektrumunda gerçek olmayan veya istenmeyen frekans bileşenlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu etki, ölçüm ve analizlerin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir. Ancak, çeşitli teknikler kullanılarak bu sızıntı etkisi azaltılabilir (Kaya, 2022).

5.3.1.5. Pencereleme

Pencereleme, FFT analizi sırasında gözlenen sızıntı etkisini azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. FFT örneklenen sinyalleri periyodik kabul ederek işler ama gerçek sinyaller genellikle periyodik değildir. Bu durumda, frekans alanında hatalı bileşenler veya sızıntı oluşabilir. Pencereleme, sinyale belirli bir ağırlık veya kısıtlama uygulayarak, bu hataları en aza indirir (Avitabile, 2001).

Farklı analiz ihtiyaçlarına uygun çeşitli pencereleme fonksiyonları mevcuttur. Bu fonksiyonlar, sinyale uygulanan ağırlıklandırma sayesinde, sızıntı ve diğer analiz hatalarını azaltmayı amaçlar. Şekil 5.8’de, yaygın kullanılan bazı pencereleme fonksiyonları gösterilmektedir (Nakipoğlu, 2024).



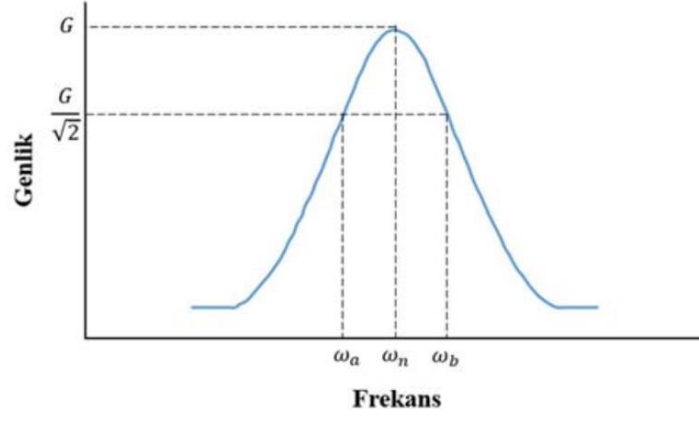
Şekil 5.8. Pencere fonksiyon çeşitleri (Nakipoğlu, 2024)

5.3.1.6. Tepe tutma (Peak picking)

Tepe tutma veya tepe seçme yöntemi, frekans tanım alanında çalışan bir analiz tekniğidir ve özellikle rezonans frekanslarını belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde, yapıların frekans davranış fonksiyonu (FRF) grafiği incelenerek en yüksek tepe noktaları tespit edilir. Bu tepe noktaları, sistemin rezonans frekanslarını gösterir ve böylece yapıların dinamik karakteristikleri ortaya çıkarılır. Bu yöntemin diğer adı ise tepe genliği yöntemidir (Nakipoğlu, 2024).

5.3.1.7. Yarım güç bant genişliği

Yarım güç bant genişliği, deneysel modal analizde yapıların sönüm oranlarını belirlemek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Yarım güç bant yöntemi yardımıyla sönüm oranı bulunabilmesi için Şekil 5.9’daki grafik üzerinde işaretlenen tepe noktası G değeri $\sqrt{2}$ ’ye bölünerek elde edilen değerlere denk gelen ω_a ve ω_b belirlenmektedir. Verilen denklem yardımıyla yapının sönüm oranı belirlenebilmektedir (Karaahmetli & Dünder, 2017).



Şekil 5.9. İvme - transfer fonksiyonu (Karaahmetli & Dündar, 2017)

$$\zeta = \frac{(\omega_b - \omega_a)}{2\omega_n} \quad (5.1)$$

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

ω_n = Doğal titreşim frekansı

ζ = Doğal sönüm oranı

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada 1/2 ölçekte tek katlı üç boyutlu TBDY-2018’de yer alan kuşatılmış yığma yapı ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri üretilmiş, 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. Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri sarsma tablası üzerinde yükler altında test edilmiştir.

6.1. Numuneler Hakkında Genel Bilgi

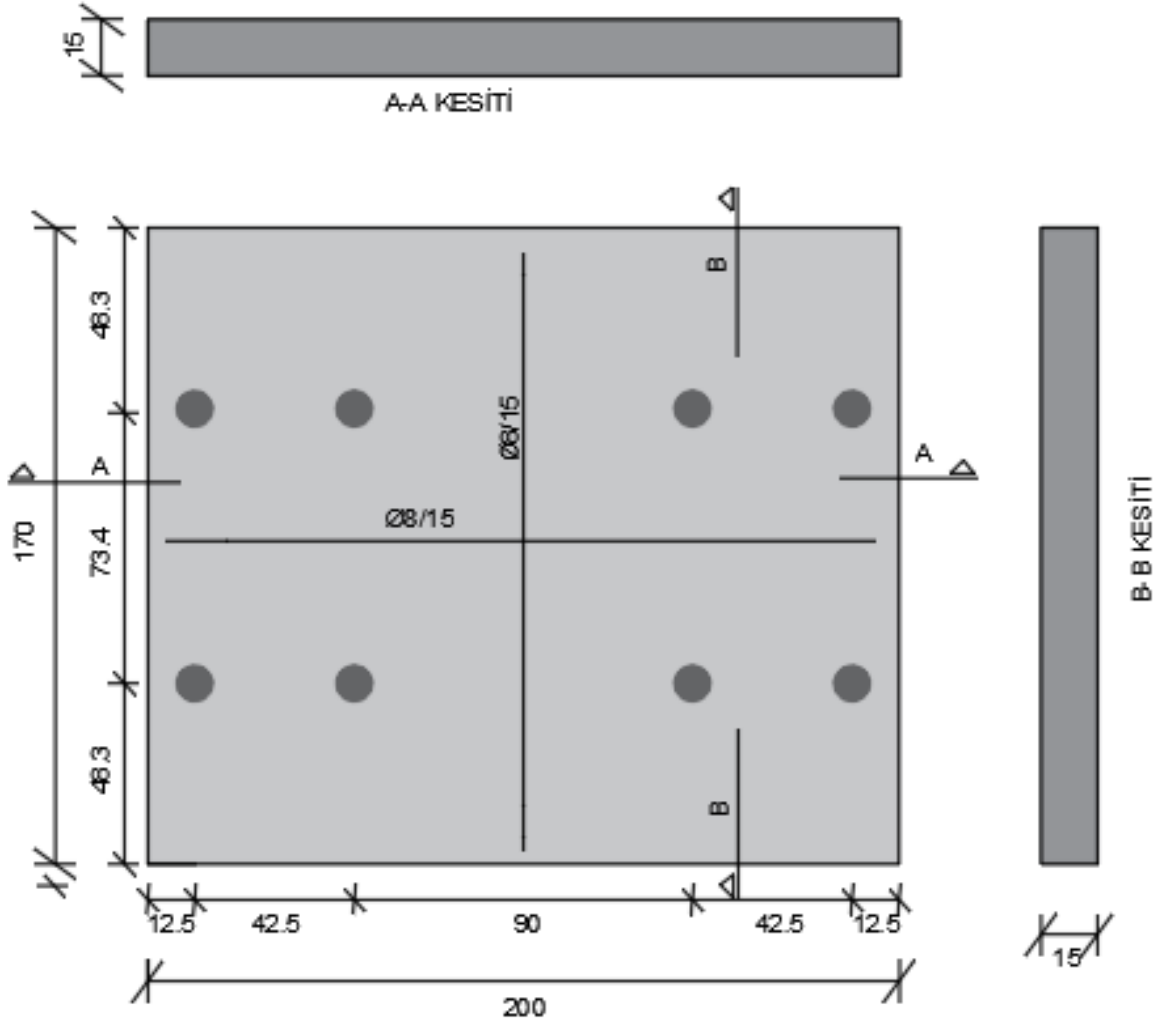
Bu çalışmada aynı geometrik özelliklere sahip kuşatılmış yığma yapı ve donatılı panel sistemli yığma yapı sarsma tablasında dinamik etki altında test edilmiştir. Çalışmada kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

TBDY-2018’e göre minimum şartları sağlayarak hazırlanan deney numunelerinin yapımında dikkate alınan hususlar aşağıda verilmiştir.

- Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma numuneler için aynı geometrik özellikleri sahip temeller inşa edilmesi, (Temellerle ilgili veri kaydı yapılmadığı ve dinamik parametreleri araştırılmadığı için Mominzai, 2024 tezinde kullandığı temeller kullanılmıştır.)
- Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma numunelerde aynı yönlerde 100x50 cm boyutlarında kapı ve 50x50 cm boyutlarında iki pencere boşluğu bırakılması, (Bırakılan pencere ve kapı boşlukları TBDY-2018’de belirtilen şartlara uygundur.)
- Kuşatılmış yığma numunede kullanılan yapılan yatay ve düşey hatıllar ile donatılı panel sistemi oluşturan elemanların TBDY-2018’de belirtilen özelliklere uygun şekilde tasarlanması,
- Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı numunelerinin karşılaştırılabilmesi için iki numunede de gazbeton kullanılmasıdır.

Öncelikle, iki numune için mevcutta bulunan iki adet boyutları (200 x 170 x 15 cm) olan temel üzeri temizlenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Deneye tabi tutulacak kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapıların plan boyutları (150 x 150 cm)'dir ve temel üstünden (165 cm) yüksekliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

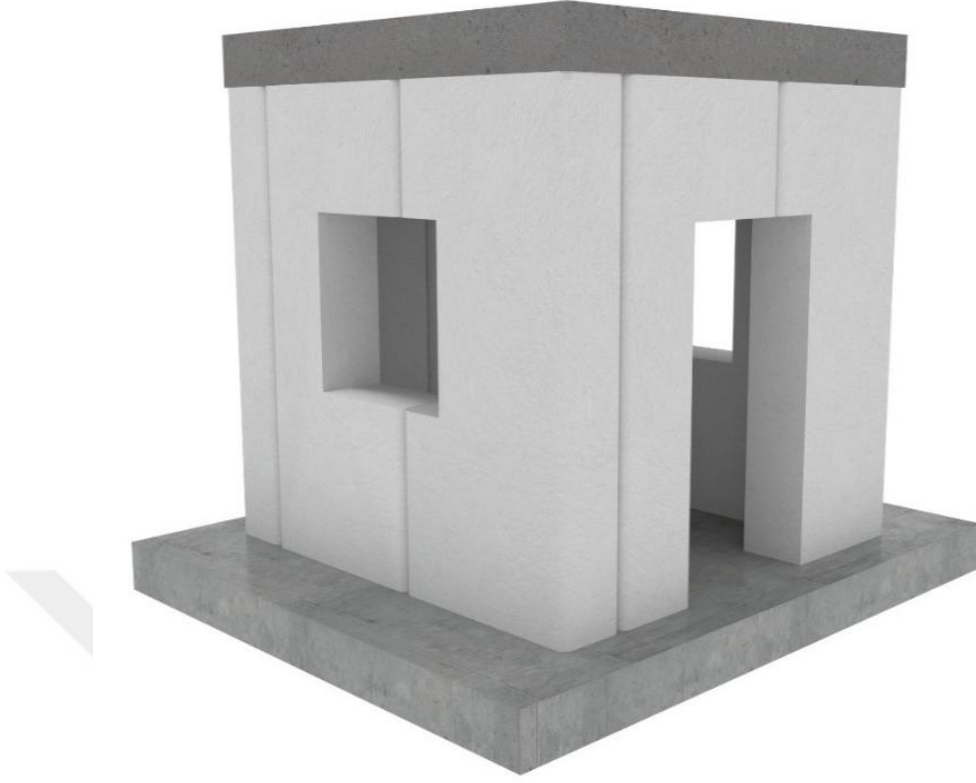
Kullanılan temelin planı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Temel planı

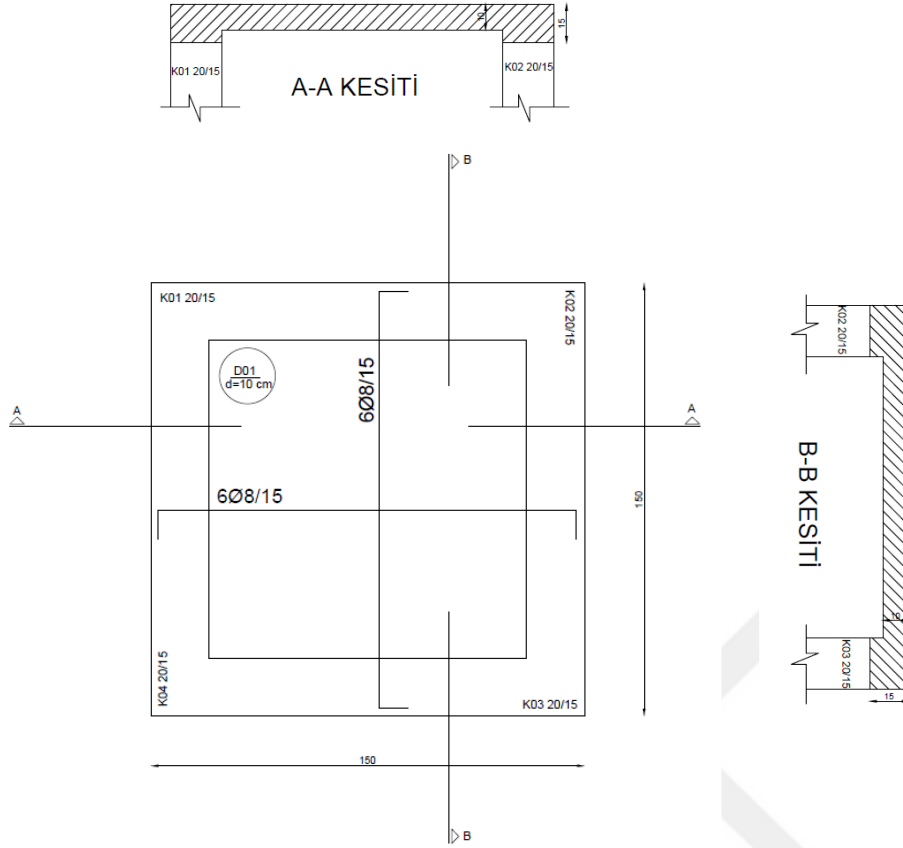
6.1.2. Donatılı Panel Sistemli yığma yapı numunesinin detayları

Deneyleri yapılacak olan donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin üç boyutlu görünüşü, Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



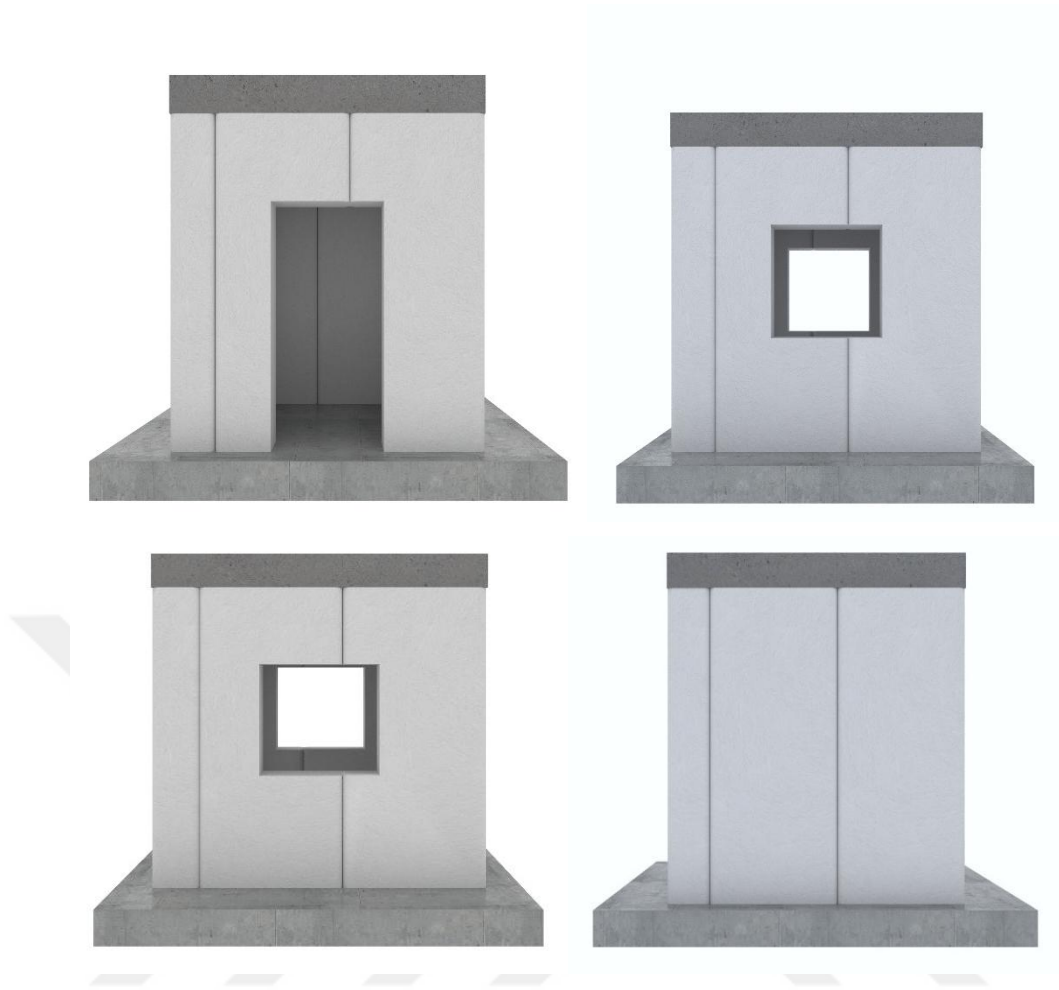
Şekil 6.2. Donatılı panel sistemli yığma yapının 3 boyutlu görünüşü

Bu yapıdaki döşeme, rijit diyafram etkisini sağlamak amacıyla 10 cm kalınlıkta seçilmiştir. Döşemelerde, üst ve alt kısımlarda $\phi 8/15$ aralıklarla donatılar yer almaktadır. Ayrıca, döşeme 15 cm kesit yüksekliğine sahip boyuna $4\phi 12$, enine ise $6\phi 8/15$ cm donatılara sahip yatay hatıllarla desteklenmiştir. Yatay hatılın genişliği, duvar kalınlığı kadar alınmıştır, detaylar Şekil 6.3’de gösterilmektedir. Bu yapıda kullanılacak panellerin tasarım ve üretimi, TS EN 12602 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Duvar ve döşeme panellerinde, Gazbeton 5 sınıfından daha düşük kalitede gazbeton kullanılmamıştır. Paneller arasında bulunan yivlere yerleştirilecek donatılar, S420 sınıfında ve çapı 12 mm’dir. Yivlerin çapı ise, kullanılacak donatı çapının en az 5 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca, paneller arasındaki yivlere doldurulacak çimento şerbetinin basınç dayanımı 10.0 MPa’dan az olmayacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 6.3. Donatılı panel sistemli yığma yapının yatay hatıl ve döşeme detayları

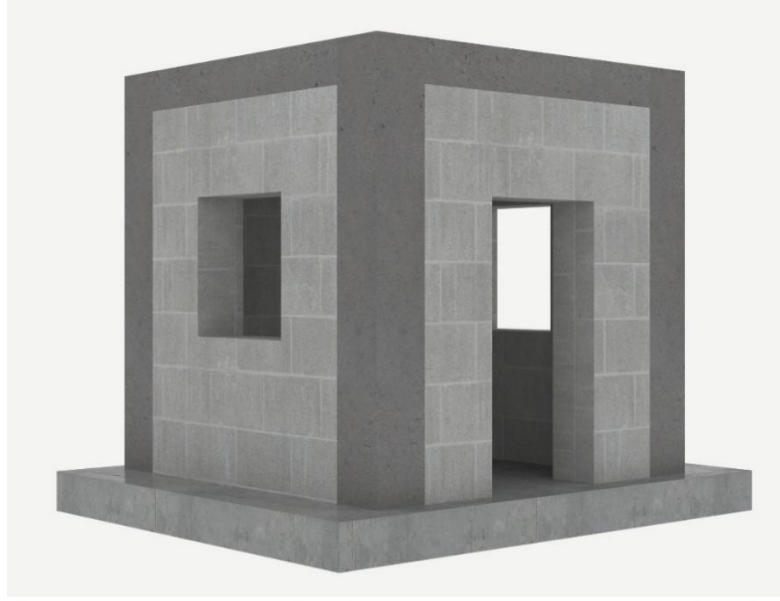
Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinde bir adet kapı ve iki adet pencere bulunmaktadır. Kapının konumu numunelerin ön tarafında ve 100x50 cm boyutlarındadır. Kapı temel seviyesinden başlamaktadır. Pencereleler ise numunelerin sağ ve sol taraflarında bulunmakta ve 50x50 cm ölçülerine sahiptir. Şekil 6.4’de donatılı panel sistemli yığma yapı olarak tasarlanan modelin geometrik detayları ve görünüşleri sunulmaktadır. Tüm ölçüler cm birimindedir.



Şekil 6.4. Donatılı panel sistemli yığma yapının cephelerden görünümü

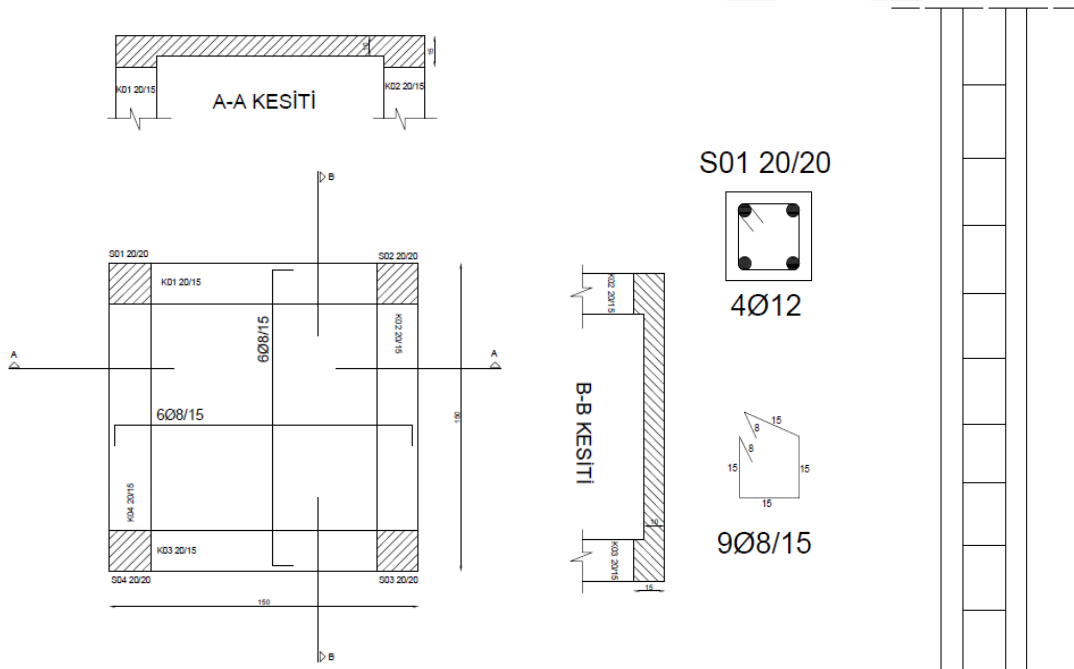
6.1.3. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin detayları

Deneyleri yapılacak kuşatılmış yığma yapı numunesinin 3 boyutlu görünüşü Şekil 6.5’de gösterilmiştir. Kuşatılmış yığma yapı numunesinde rijit diyafram etkisinin sağlanması için döşeme 10 cm kalınlığında seçilmiştir. Döşemelerde altta ve üstte $\phi 8/15$ aralıklarla donatı kullanılmıştır. Döşeme 15 cm kesit yüksekliği sahip boyuna $4\phi 12$, enine $6\phi 8/15$ cm donatılara sahip yatay hatıllarla ve boyuna $4\phi 12$, enine $9\phi 8/15$ cm donatılara sahip düşey hatıllarla mesnetlenmiştir. Ayrıca yatay ve düşey hatılın genişliği duvar kalınlığı kadar alınmıştır.



Şekil 6.5. Kuşatılmış yığma yapının 3 boyutlu görüntüsü

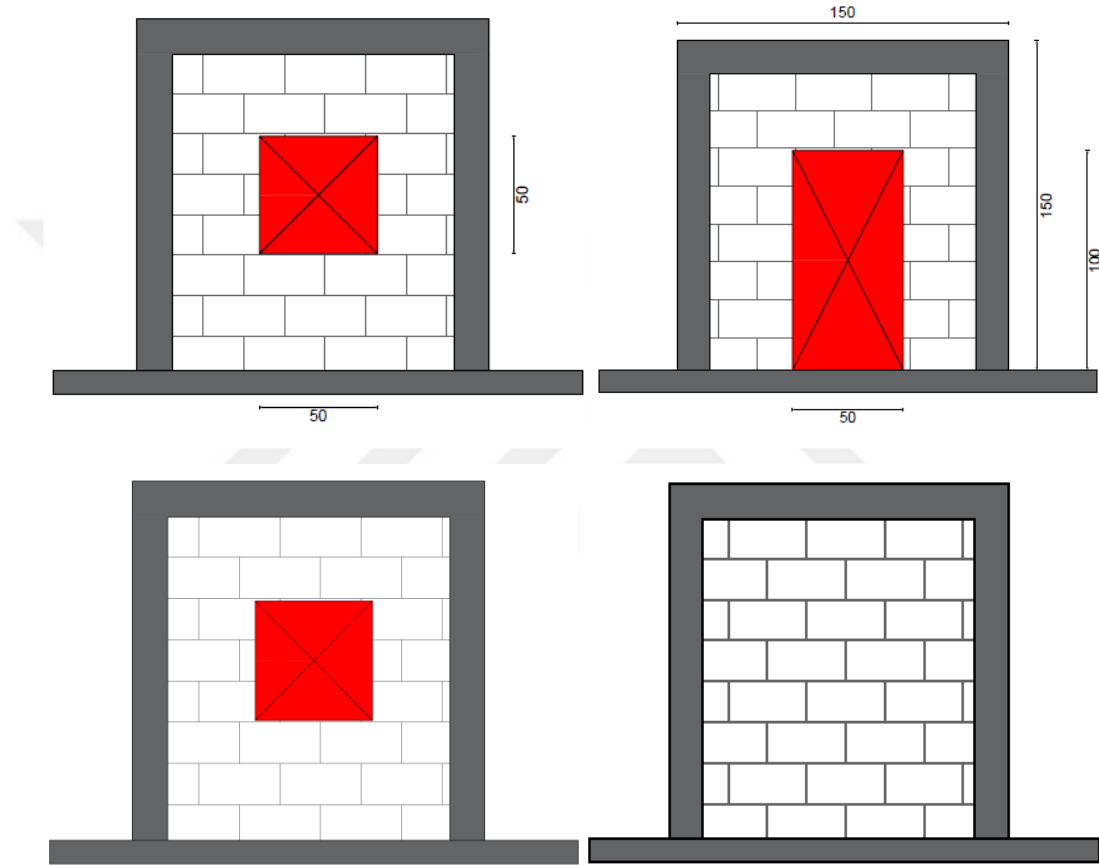
Şekil 6.6’da döşeme, yatay ve düşey hatılların detayları gösterilmiştir. Kuşatılmış yığma yapının dolgu duvarları gazbetondan örülmüştür. Duvar örümünde kullanılan harç TBDY-2018’de belirtilen değerlere uygun olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 6.6. Kuşatılmış yığma yapının döşeme, yatay ve düşey hatıl detayları

Kuşatılmış yığma yapı numunesinde bir adet kapı ve iki adet pencere bulunmaktadır. Kapının konumu numunelerin ön tarafında ve 100x50 cm

boyutlarındadır. Kapı doğrudan temel seviyesinden başlamaktadır. Pencereleler ise numunelerin sağ ve sol taraflarında bulunmakta ve 50 cm yüksekliğe ve uzunluğa sahiptir. Kapı ve pencere boşluklarının üstünde donatıdan lentolar bulunmaktadır. Ve her iki taraftan 15 cm boyunca duvara oturmaktadır. Şekil 6.7’de kuşatılmış yığma yapı olarak tasarlanan modelin geometrik detayları ve görünümü sunulmaktadır. Tüm ölçüler cm birimindedir.



Şekil 6.7. Kuşatılmış yığma yapının cephelerden görünümü

6.2. Numunelerin Üretilmesinde Kullanılan Malzemeler

Kuşatılmış yığma yapı numunesinde kullanılacak olan G4 gazbeton ve donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinde kullanılacak olan G4 donatılı duvar paneli malzemesi, numunelerin duvar örümünde yatay ve düşey derzlerde kullanılan harç kuşatılmış yığma için 5,0 MPa, donatılı panel sistem için paneller arasındaki yivlere doldurulacak çimento şerbetinin basınç dayanımı 10.0 MPa olacak şekilde hazırlanmıştır.

Kuşatılmış yığma duvarların yapımında 20x25x60 cm boyutlarında G4 gazbeton tuğla kullanılmıştır. Kullanılan malzeme Şekil 6.8’ de gösterilmektedir. Döşeme, yatay ve düşey hatılarda ise C25 hazır beton kullanılmıştır. Döşeme, yatay ve düşey hatılarda kullanılan donatılar ise S420 $\phi 8$ ve $\phi 12$ ’dir.



Şekil 6.8. Kuşatılmış yığma yapı numunesinde kullanılan G4 gazbeton

Donatılı panel sistemli yığma yapının duvar panellerinde G4 taşıyıcı özelliği bulunan 20x60x140 cm boyutlarında hazır donatılı panel kullanılmıştır. Kullanılan malzeme Şekil 6.9’ da gösterilmiştir. Döşeme ve yatay hatıl için C25 hazır beton kullanılmıştır. Döşeme ve yatay hatılarda kullanılan donatılar ise S420 $\phi 8$ ve $\phi 12$ ’dir.



Şekil 6.9. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinde kullanılan duvar paneli

6.2.1. Gazbeton malzemesinin dayanım testleri

Burada, TBDY 2018'deki kurallar dikkate alınarak, kullanılacak gazbeton malzemesinin minimum şartları sağlanması hedeflenmiştir. 20x25x60 cm boyutlu taşıyıcı G4 gazbeton tuğlanın ve donatılı panel sistemli yapı için kullanılan duvar panelini basınç dayanım değerleri firmadan alınmıştır. Çizelge 6.1'de gazbeton tuğlasının basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Gazbeton blok basınç dayanım değerleri

Üretim Sınıfı	Kuru Birim Hacim Ağırlığı	Ortalama Basınç Dayanımı	Isıl İletkenlik Değeri (λ_{hesap})	Tasarım Ağırlığı	Nakliye Ağırlığı	Yangına Tepki Sınıfı	Yangın Dayanım Süresi	Boyutlar		Üretim Standardı
	kg/m ³	N/mm ²	W/Mk	kg/m ³	kg/m ³		dk	Lxh cm	d cm	
G2/0,40	400	≥2,50	0,11	490	560	A1	EI 120 EI360	60X25	7,5-8,5-9-10-12,5-13,5-15-17,5-19-20-22,5-25-27,5-30-32,5-35-37,5-40	TS-EN771-4 CE EPD UTO
G4/0,55	550	≥5,0	0,18	670	770	A1	EI 120 EI 360	60X25	10-12,5-13,5-15-17,5-19-20-22,5-25-27,5-30-32,5-35-37,5-40	

Çizelge 6.2' de ise donatılı panel sistemli yığma yapıda kullanılan duvar panelinin basınç dayanım değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Donatılı taşıyıcı duvar paneli basınç dayanım değerleri

Üretim Sınıfı	Kuru Birim Hacim Ağırlığı	Ortalama Basınç Dayanımı	Isıl İletkenlik Değeri (λ_{hesap})	Tasarım Ağırlığı	Nakliye Ağırlığı	Yangına Tepki Sınıfı	Yangın Dayanım Süresi	Boyutlar			Üretim Standardı
	kg/m ³	N/mm ²	W/Mk	kg/m ³	kg/m ³		dk	L max cm	t cm	w cm	
G4/0,55	550	≥5,0	0,18	690	810	A1	REI 120 REI 360	450	20-22,5-25-27,5-30	60	TS-EN 12602 CE

6.2.2. Kullanılan harç numunesinin dayanım testleri

Kuşatılmış yığma yapıların üretim aşamasında kullanılan harçlardan da 3'er adet 10x10x10 cm boyutlu küp numune alınmıştır (Şekil 6.10). Aynı şekilde donatılı panel sistemli yapı numunesinin yivleri arasına dökülecek çimento şerbetinden 3'er adet 10x10x10 cm boyutlu küp numune alınmıştır (Şekil 6.10). Alınan numuneler belirli günlerde su içerisinde bekletilmiştir. Konya Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında basınç testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.10. Harç numunelerinin basınç dayanımı testi

Harç numunelerinin basınç dayanım değerleri Çizelge 6.3' de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Harç numuneleri basınç dayanımı değerleri

Kuşatılmış Yığma Yapının Harç Numunesi		
Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama
Numune 1	11,05	10,71666667
Numune 2	10,3	
Numune 3	10,8	
Donatılı Panel Sistemli Yığma Yapının Harç Numunesi		
Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama
Numune 1	11,5	10,5333
Numune 2	10,4	
Numune 3	9,7	

6.2.3. Kullanılan beton numunesinin dayanım testleri

Döşemelerde yatay ve düşey hatılarda kullanılan betonun dayanımının belirlenebilmesi için de döküm sırasında 3'er adet 15x15x15cm boyutlu küp numuneler alınmıştır (Şekil 6.11). Alınan numuneler belirli günlerde su içerisinde bekletilmiştir.

Devamında Konya Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında basınç testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Beton numunelerin basınç dayanımı testleri

Beton numunelerinin basınç dayanım değerleri Çizelge 6.4' de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Harç numuneleri basınç dayanımı değerleri

Yatay, Düşey Hatıl ve Döşeme Betonu		
Numune No	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama
Numune 1	35,6	35,4167
Numune 2	38,6	
Numune 3	32,05	

6.3. Yığma yapı numunelerinde kullanılacak temellerin hazırlanması

Yığma yapı numunelerinde kullanılacak temellerin ölçüleri 200x170x15 cm boyutlarındadır. Maliyet artışı olmaması, temellerle ilgili veri kaydı yapılmaması ve temellerdeki dinamik parametreler araştırılmadığı için Mominzai, 2024 tezinde kullandığı temeller kullanılmıştır. Temeller numunelerin kurulumu için hazır hale getirilmiştir. Şekil 6.12' de temellerin numuneler için hazırlanma aşamaları gösterilmiştir. Önceki numuneler vinç ile kurulum yapılacak alana taşınmıştır. Daha sonra ise betonarme temele zarar vermeyecek şekilde üzerindeki numuneler temizlenmiştir. Şekil 6.12' de görüldüğü üzere donatılı yığma yapıda kullanılan $\phi 12$ 'lik filizler aynı şekilde kullanılmak üzere bırakılmıştır.



Şekil 6.12. Temellerin hazırlanması

6.4. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin üretilmesi

Kuşatılmış yığma yapı numunesinin üretimi için öncelikle temel hazır hale getirilmiştir. Daha sonra düşey hatıl boyutu belirlenerek duvarlar örülmeye başlanmıştır. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin duvarında kullanılacak harç laboratuvar ortamında TBDY-2018 kurallarına uygun şekilde hazırlanmıştır. 20x25x60 cm boyutlarında G4 taşıyıcı gazbeton tuğla kullanılarak şaşırtmalı şekilde yaklaşık 1,5 – 2 cm'lik derz aralığı ile numunenin örülmesi işlemine başlanmıştır. Kuşatılmış yığma yapının duvar örümü işlemi Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Kuşatılmış yığma yapıda duvar örülmesi

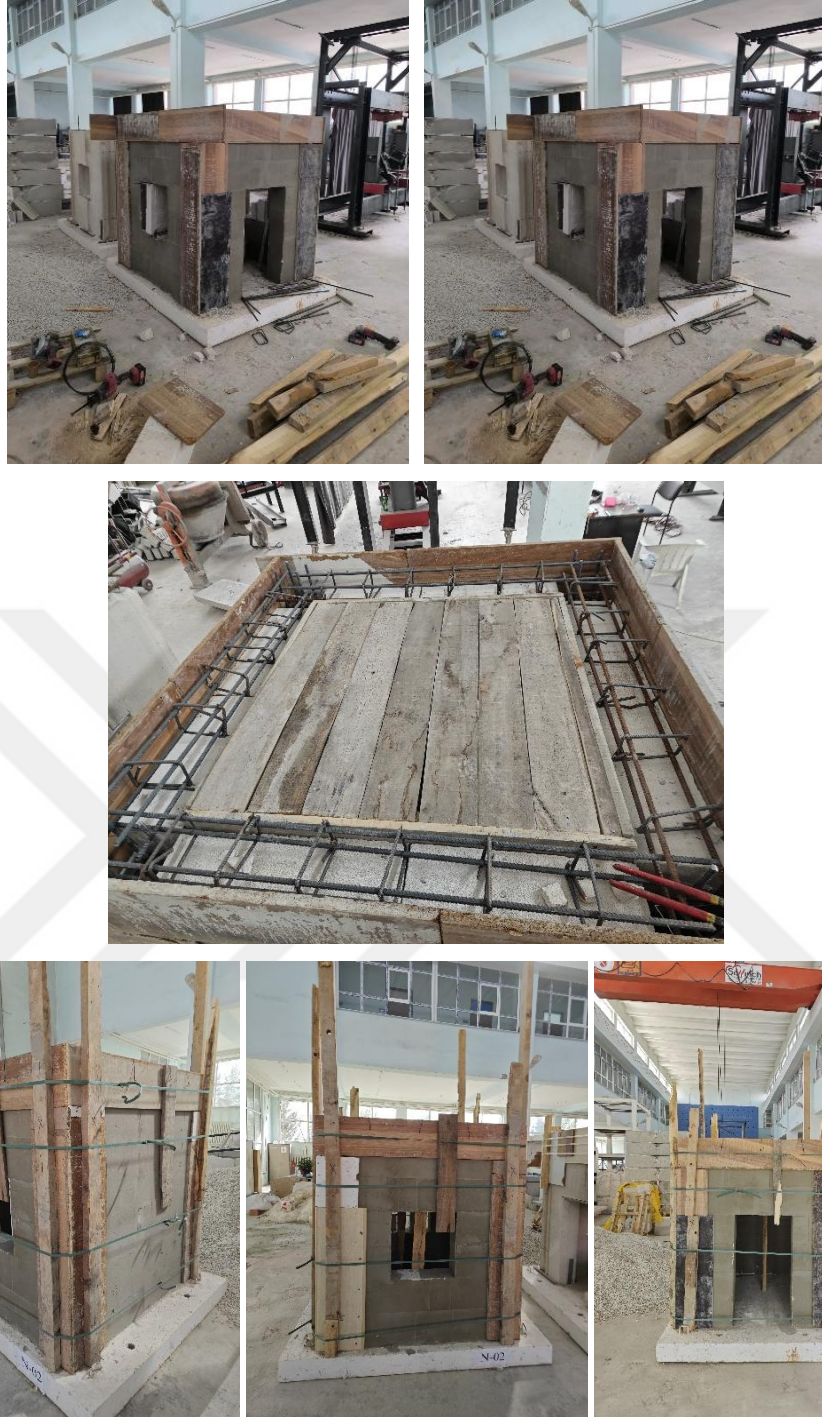
Kuşatılmış yığma yapının örümünde 50x100 cm boyutlarında kapı ve 50x50 cm boyutlarında 2 adet pencere boşlukları bırakılmıştır. Pencere boşluklarının üzerine iki adet $\phi 12$ donatıdan lento konulmuştur. Duvarlar örülürken düşey hatıl boşlukları bırakılmıştır.

Kuşatılmış yığma yapıda duvar örme işlemi tamamlandıktan sonra yönetmeliğe uygun olacak şekilde düşey ve yatay hatıl donatıları yerleştirilmiştir (Şekil 6.14). Düşey ve yatay hatıllarda 4 $\phi 12$ boyuna donatı kullanılmıştır. Düşey hatılın bindirme boyu yönetmeliğe uygun olarak $>60\phi$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Düşey hatılların boyuna donatıları yatay hatılın içerisinde kalacak şekilde düzenlenmiştir. Düşey ve yatay hatıllarda $\phi 8/15$ enine donatı kullanılmıştır.



Şekil 6.14. Kuşatılmış yığma yapı düşey ve yatay hatıl donatılarının yerleştirilmesi

Daha sonra ise düşey hatıl, yatay hatıl ve döşeme kalıbı hazırlanmıştır. Kalıpların beton dökümünde ve vibratör tutulması sırasında meydana gelecek basınçtan dolayı açılmasını engellemek için kalıplar takviyeler ile güçlendirilmiştir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin kalıp imalatının tamamlanması ve güçlendirilmesi

Kalıp imalatı tamamlandıktan sonra döşeme donatıları yönetmeliğe uygun olacak şekilde yerleştirilmiştir. Donatıların yerleştirilmesi işlemi tamamlandıktan sonra numune beton dökümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 6.16).



Şekil 6.16. Kuşatılmış yığma yapı döşeme donatılarının yerleştirilmesi

Beton döküm aşamasında, betonun kalıbın iç kısımlarına iyi yerleşmesi ve oluşacak hava kabarcıklarının en az seviyeye oluşması için vibratör cihazı kullanılmıştır. Beton dökümü esnasında 3'er adet 15x15x15 cm'lik küp numunesi alınmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. Kuşatılmış yığma yapı numunesine beton dökümü ve vibratör tutulması

Beton dökümünden bir gün sonra beton yüzeyi 7 gün boyunca belirli aralıklarla sulanarak kürlenmiştir. Betonda kürleme işleme tamamlandıktan sonra yatay, düşey hatlı ve döşeme kalıpları sökülüştür. Kalıplar söküldükten sonra kirişe 1 cm boyutunda delik açılmış ve dübel yerleştirilmiştir (Şekil 6.18). Bunun amacı sarsma tablasındaki hareketin sensöre aktarılması içindir. Kalıplar söküldükten sonra sıva işlemi yapılmıştır. Böylece kuşatılmış yığma yapı numunesi sarsma tablasında yapılacak testler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6.18. Kuşatılmış yığma yapı numunesinin kalıp sökümü ve sensör için yer ayarlanması

6.5. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin üretilmesi

Donatılı panel sistemli yığma yapının üretimi için öncelikle temel hazır hale getirilmiştir. Daha sonra duvar panellerinin yerleri belirlenmiştir. Yerleri belirlendikten

sonra 100x50 cm boyutlarında kapı ve 50x50 cm boyutlarında iki adet pencere boşluğu açılmıştır. Pencere boşlukları açıldıktan sonra paneller vinç ile taşınarak yerleştirilmeye başlanmıştır. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin yivlerine yerleştirilecek olan donatı için temelde delik açılmıştır. Daha sonra $\phi 12$ donatı deliğe yerleştirilmiş ve epoksilenmiştir. Yivlere yerleştirilen donatılar uzun bırakılarak yatay hatıl ile mesnetlenmesi sağlanmıştır. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin yivleri arasında kullanılacak harç laboratuvar ortamında TBDY-2018 kurallarına uygun şekilde hazırlanmıştır. 20x60x150 cm boyutlarında duvar paneli kullanılarak numunenin örülmesi işlemine başlanmıştır. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin temel üzerinde sabit durması için temele ankraj çubukları ile tutturulmuş ve demirlerle sabitlenmiştir. Donatılı panel sistemli yığma yapının duvar panellerinin yerleştirilmesi işlemi Şekil 6.19’da gösterilmiştir. Paneller yerleştirildikten sonra yivlere hazırlanan çimento harcı dökülmüştür.





Şekil 6.19. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin hazırlanması

Panellerin yerleştirilmesi ve yivlere çimento harcı dökülmesinden sonra döşemenin mesnetlenmesi için yatay hatıl donatısı döşenmiştir. Yatay hatılda $4\phi 12$ boyuna donatı ve $\phi 8/15$ enine donatı kullanılmıştır. Yatay hatıl donatısı döşendikten sonra döşeme kalıbı çakılmıştır. Beton dökümü sırasında kalıpta herhangi bir sorun yaşanmaması için alttan takviyeler ile desteklenmiştir. Döşeme kalıbı çakıldıktan sonra döşeme donatıları $\phi 8/15$ cm arayla döşenmiştir. Donatılar döşendikten sonra yatay hatıl kalıbı çakılmıştır. Kalıpta beton dökümü sırasında sorun yaşanmaması için takviyeler ile güçlendirilmiştir. Böylece donatılı panel sistemli yapı numunesi beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Şekil 6.20’de detaylar gösterilmiştir.





Şekil 6.20. Donatılı panel sistemli yapı numunesinin kalıp ve donatılarının hazırlanması

Donatılı panel sistemli yapı numunesine beton dökülmeden önce son kontroller yapılmış ve beton dökülmüştür. Beton dökümüne başlanmadan 3'er adet 15x15x15 cm boyutlarında küp numunesi alınmıştır (Şekil 6.21).



Şekil 6.21. Donatılı panel sistemli yığma yapı numunesine beton dökümü ve numune alınması

Betonun kalıba iyice yerleşmesi ve hava kabarcığı kalmaması için vibratör tutulmuştur. Kalıplar söküldükten sonra kirişe 1 cm boyutunda delik açılmış ve tij yerleştirilmiştir yerleştirilen tij epoksi ile sabitlenmiş ve bulon ile sıkıştırılmıştır. Bunun amacı sarsma tablasındaki hareketin sensöre aktarılması içindir (Şekil 6.22).



Şekil 6.22. Donatılı panel sistemli yığma yapı kalıp sökümü ve sensör yerinin ayarlanması

6.6. Dinamik Testler

6.6.1. Sarsma tablası

$\frac{1}{2}$ ölçekli, tek katlı ve üç boyutlu kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarında bulunan tek eksenli doğrultusunda hareket edebilen sarsma tablası ile dinamik parametrelerinin belirlenebilmesi için teste tabii tutulmuştur. Deneylerde kullanılan sarsma tablası 4x4 m boyutlarındadır. Aşağıdaki şekilde sarsma tablası görülmektedir (Şekil 6.23).



Şekil 6.23. Sarsma Tablası

Kullanılacak sarsma tablası 10 ton yük taşıma sahiptir. Sarsma tablasını x ve y yönünde hareket ettirecek iki adet Siemens servo motora sahiptir. Sarsma tablası x ve y yönünde ± 15 cm deplasman yapabilmektedir. Fakat motor kapasitesi tam kullanılamadığı için tek yönde hareket ettirilmiştir. Sarsma tablasında deplasman yapmaya yarayan servo motor şekil 6.24’ de gösterilmiştir. Numuneler sarsma tablasında sadece y yönünde harekete tabii tutulmuştur.



Şekil 6.24. X ve Y yönünde bulunan Servo Motorlar

Kontrol paneli sarsma tablasının tek ve çift yönlü hareketini, tablanın hızını, şiddetini ve yönünü kontrol etmektedir. Kontrol paneli sayesinde test aşamasında karşılaşılabilecek herhangi bir sorunda sarsma tablasının hemen durdurulmasını sağlamaktadır. Şekil 6.25’ de kontrol paneli gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Kontrol Paneli

Servo motorların beyni olan ana kontrol sistemi PLC (programlanabilir mantıksal denetleyici) kontrollü otomasyon sistemi tablanın motorlarındaki dönme hareketlerini doğrusal harekete dönüştürmek için programlanmakta ve tabla üzerindeki yapıların davranışını çeşitli titreşim düzeyleri ve şiddetler altında incelemek için kullanılmaktadır (Şekil 6.26).



Şekil 6.26. PLC Kontrollü Otomasyon Sistemi

6.6.2. Sarsma tablası üzerine numunelerin sabitlenmesi

Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri vinç yardımıyla sarsma tablasının üzerine yerleştirilmiştir. Temellerde bırakılmış olan delikler gijonlar vasıtasıyla yapı sarsma tablasına rijit olacak şekilde mesnetlenmiştir (Şekil 6.27). Bu şekilde dinamik yükleme esnasında ortaya çıkabilecek mesnet hareketleri engellenmiştir.



Şekil 6.27. Numunelerin vinç ile taşınması ve sarsma masasına bağlanması

6.6.3. Veri toplama

Kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı numuneleri sarsma tablası ile dinamik testlere tabii tutulmuştur. Sarsma tablası ile zamana bağlı ivme ölçümleri yapılmıştır. Deney numunelerine yükleme yönüne göre y doğrultusunda ve sarsma tablasına z yönünde 1 adet Sensebox7013 TDG markalı ivmeölçerler sabitlenmiştir. Bu sensörler sayesinde ivme değerleri ölçülmüştür. Numunelere monte edilen ivmeölçerlerden tepki ivme verileri, tablaya yerleştirilen ivmeölçerlerden ise etki ivme verileri elde edilmiştir. Elde edilen ivme veri değerleri analiz ve hesaplarda kullanılmıştır. İvmeölçerler TDG Testbox 010 dinamik veri toplama ünitesine bağlanmış ve elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 6.28’ de ivme ölçerler ve veri toplama ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 6.28. İvme ölçerler ve veri toplama ünitesi

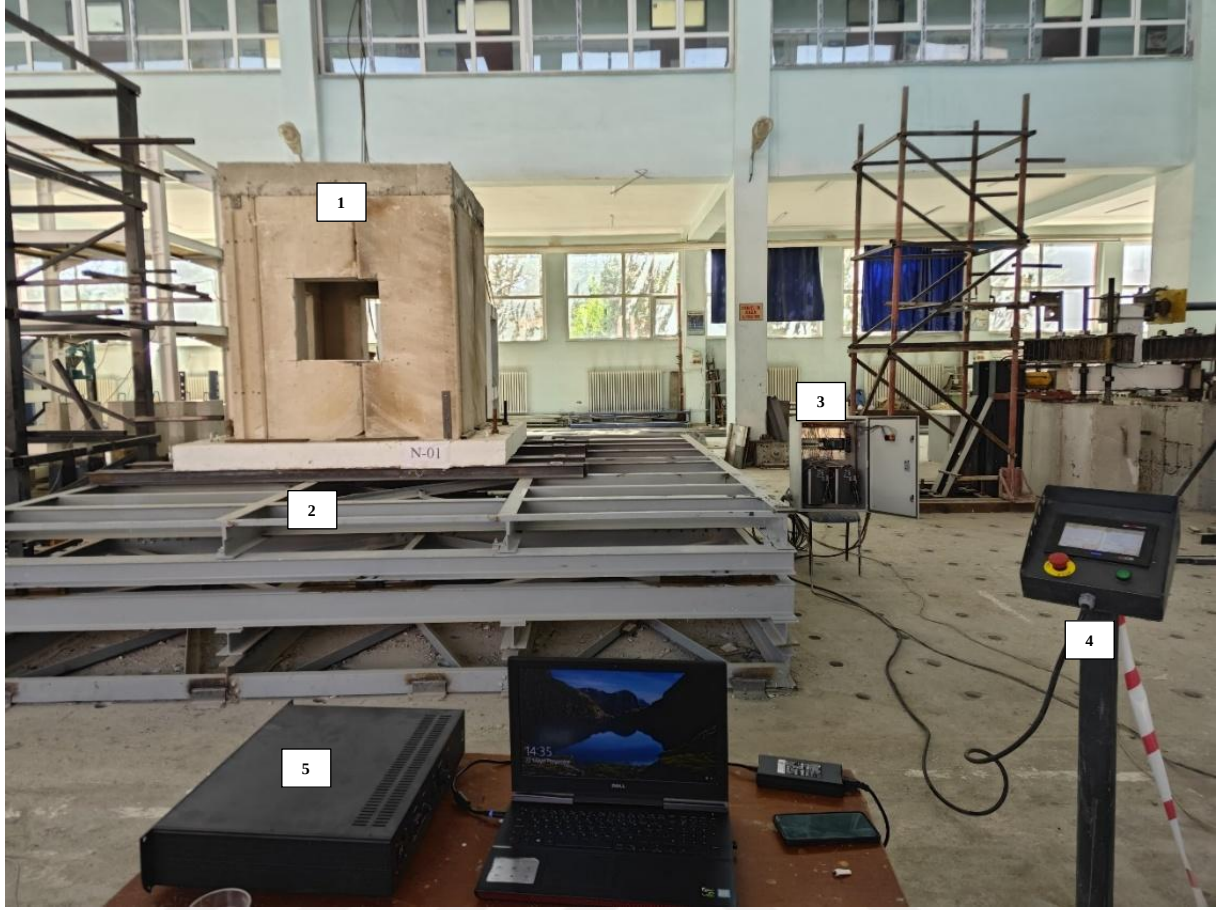
Şekil 6.29’da numunelere ve sarsma masasına bağlanan ivmeölçer sensörler görülmektedir.



Şekil 6.29. Numunelere ve sarsma masasına sensörlerin bağlanması

6.6.4. Sarsma tablası üzerinde numuneler ve deney düzeneği

Hazırlanan donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin deney düzeneği Şekil 6.30’ da gösterilmiştir. Hazırlanan numuneler tek katlı 1.5 m boyutunda olduğu için sarsma esnasında herhangi bir devrilme yaşanmayacağı için üzerine ağırlık konulmamıştır.



Şekil 6.30. N01 Deney düzeneği; 1) Yığma yapı numunesi, 2) Sarsma tablası, 3) Kontrol paneli, 4) PLC sistemi, 5) Veri toplama ünitesi.

Hazırlanan kuşatılmış yığma yapı numunesinin deney düzeneği Şekil 6.31’de gösterilmiştir.



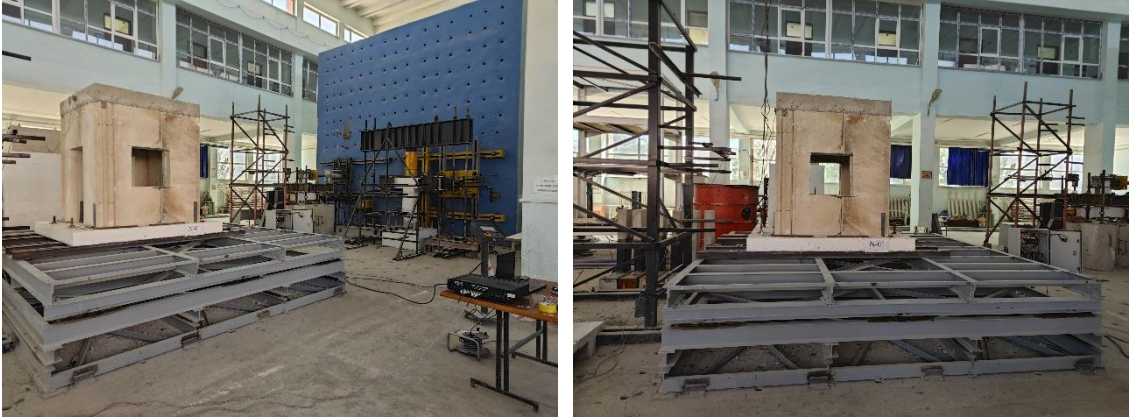
Şekil 6.31. N02 Deney düzeneği; 1) Yığılma yapı numunesi, 2) Sarsma tablası, 3) Kontrol paneli, 4) PLC sistemi, 5) Veri toplama ünitesi.

7. SARSMA TABLASINDA YIĞMA YAPILARIN TİTREŞİM DENEYLERİ

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında hazırlanan kuşatılmış yığma yapı ve donatılı panel sistemli yığma yapı örnekleri, aynı koşullar altında sarsma tablası üzerinde dinamik testlere tabi tutulmuştur. Donatılı panel sistemli yığma yapı örneği N-01 olarak adlandırılırken, kuşatılmış yığma yapı örneği N-02 olarak isimlendirilmiştir. Öncelikle N-01 numunesi, ardından N-02 numunesi test edilmiştir. Her iki numuneye de sarsma tablasından sinüs dalgası şeklinde dinamik yer hareketi uygulanmıştır. Uygulanan bu hareket, her bir numuneye toplamda 10'ar kez olmak üzere toplamda 20 deneyi kapsamaktadır. Testler sırasında, yapıların herhangi bir zarar görmediği ve elastik bölgede oldukları tespit edilmiştir. Yığma yapı örneklerinin sarsma tablasından gelen etkiye karşılık verilen tepki verileri analiz edilerek, yapıların dinamik davranışları belirlenmiştir.

7.1. N-01 Donatılı Panel Sistemli Yığma Yapı Deney Numunesi

N-01, donatılı panel sistemli yığma yapı deney numunesidir. Bu numune, toplamda on defa gerçekleştirilen zorlanmış titreşim testine maruz bırakılmıştır. N-01 numunesinin deney öncesindeki görünümü Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. N-01 Donatılı Panel Sistemli yığma yapı numunesinin deney öncesindeki görünümü

N-01 donatılı panel sistemli yığma yapı numunesinin deneyleri sona erdikten sonra, duvarları, pencere altı alanları, pencere ve kapı üstü bölgeleri ile diğer bölümleri detaylı şekilde incelenmiş ve herhangi bir çatlak oluşmadığı tespit edilmiştir. N-01 numunesinin deney sonrası çekilen fotoğrafları Şekil 7.2'de yer almaktadır.



Şekil 7.2. N-01 Donatılı Panel Sistemli yığma yapı numunesinin deney sonrasındaki görünümü

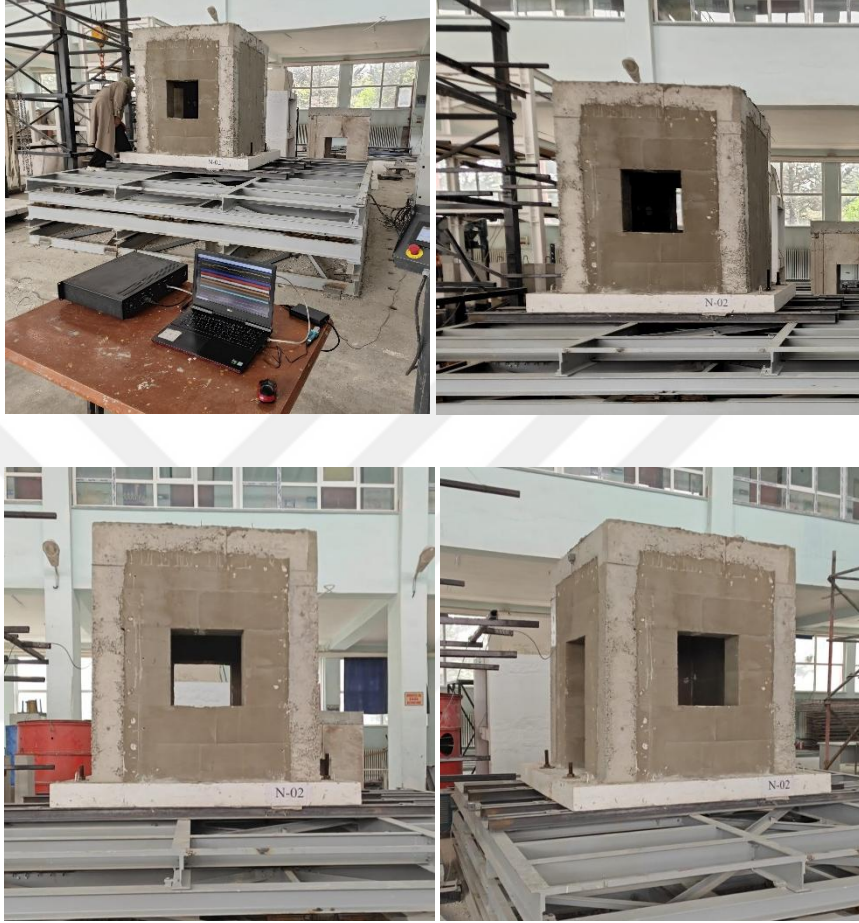
7.1. N-02 Kuşatılmış Yığma Yapı Deney Numunesi

N-02, kuşatılmış yığma yapı deney numunesidir. Bu numune, toplamda on defa gerçekleştirilen zorlanmış titreşim testine maruz bırakılmıştır. N-02 numunesinin deney öncesindeki görünümü Şekil 7.3'de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. N-02 Kuşatılmış yığma yapı numunesinin deney öncesindeki görünümü

N-02 kuşatılmış yığma yapı numunesinin deneyleri sona erdikten sonra, duvarları, pencere altı alanları, pencere ve kapı üstü bölgeleri ile diğer bölümleri detaylı şekilde incelenmiş ve numunede herhangi bir çatlak oluşmadığı tespit edilmiştir. N-02 numunesinin deney sonrası çekilen fotoğrafları Şekil 7.4’de yer almaktadır.



Şekil 7.4. N-02 Kuşatılmış yığma yapı numunesinin deney sonrasındaki görünümü

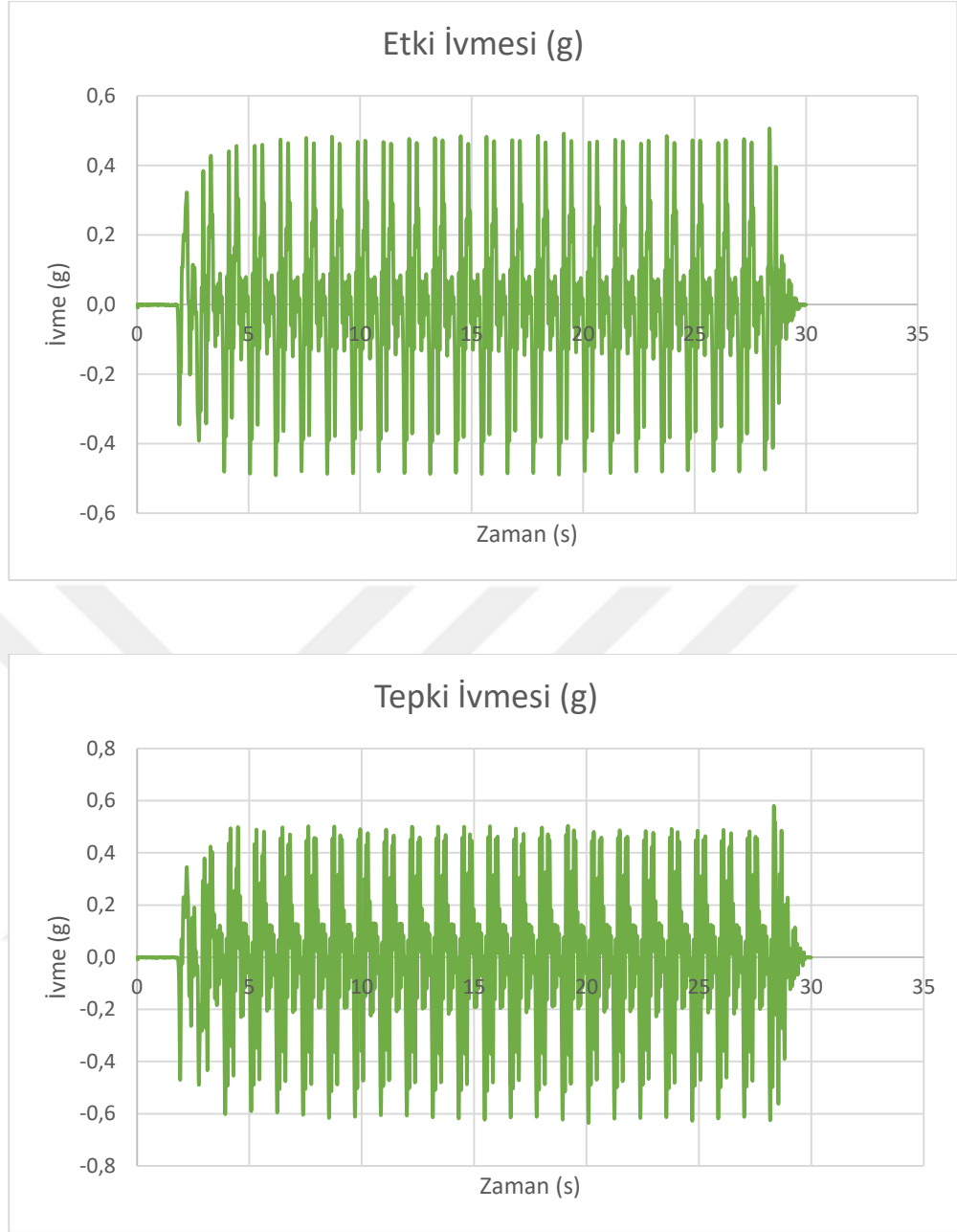
8. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde donatılı panel sistemli ve kuşatılmış yığma yapı numunelerinin dinamik deneylerinden elde edilen verilerin sinyal işleme yöntemi ve numunelerin doğal titreşim frekanslarının, doğal titreşim periyotlarının, doğal sönüm oranlarının ve rijitliklerinin tespit edilmesi yöntemleri anlatılmıştır.

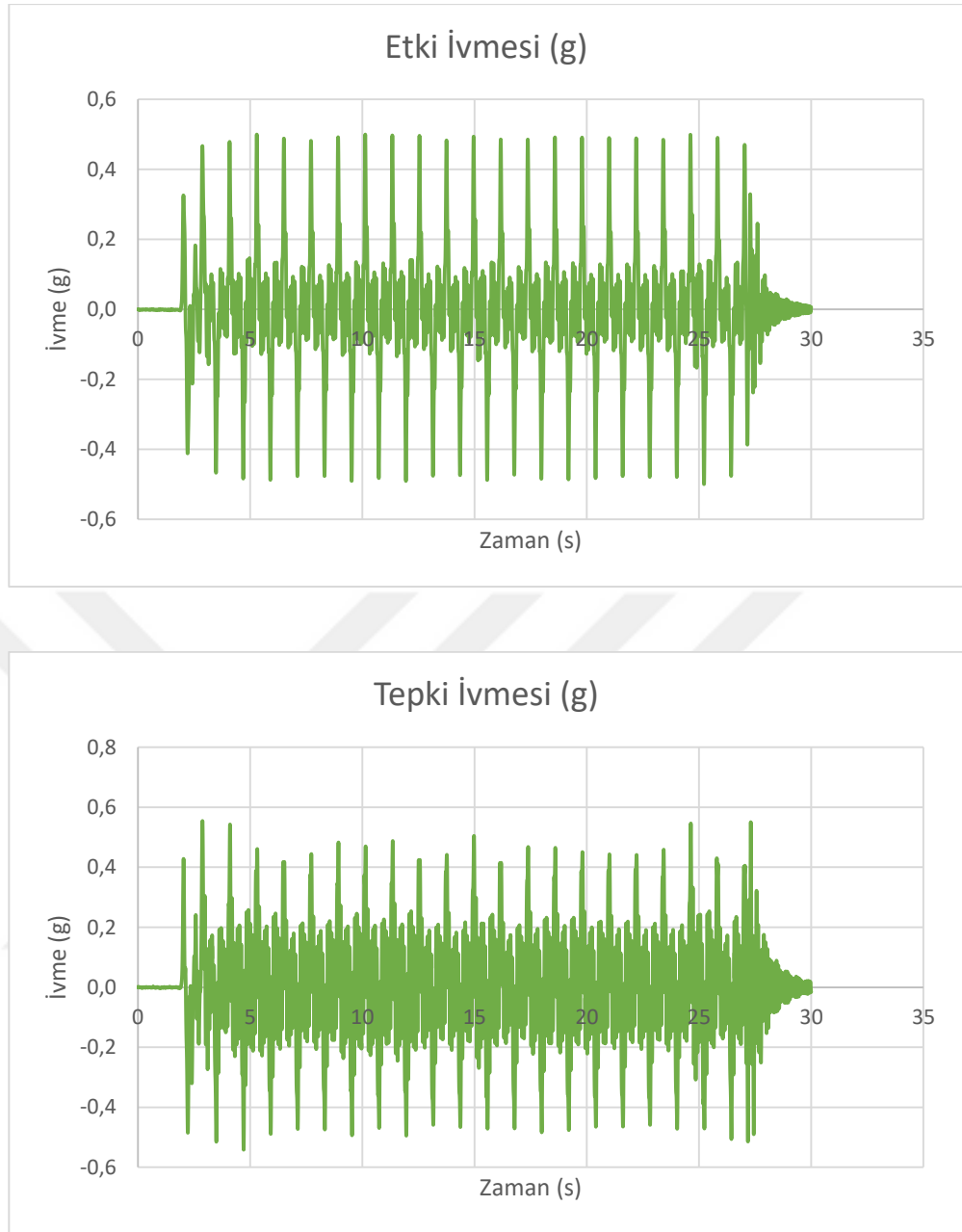
8.1. Etki ve Tepki ivme - zaman grafikleri

Yapılan deneylerden sonra ivmeölçerler yardımıyla etki ve tepki ivme-zaman verileri elde edilmiştir. Tabladaki ivmeölçerden etki verileri, numunedeki 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. Elde edilen etki ve tepki verilerinde gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Öncelikle belirlenmiş süreden hem önceki hem de sonraki boş veriler silinmiştir. Elde edilen ivme değerlerine filtreleme yapılmıştır.

N-01 numunesine uygulanmış olan yer hareketinde en büyük yer ivmesi (PGA) değeri 0.506 g, N-02 numunesine uygulanmış olan yer hareketinde de en büyük yer ivmesi (PGA) değeri 0.499 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



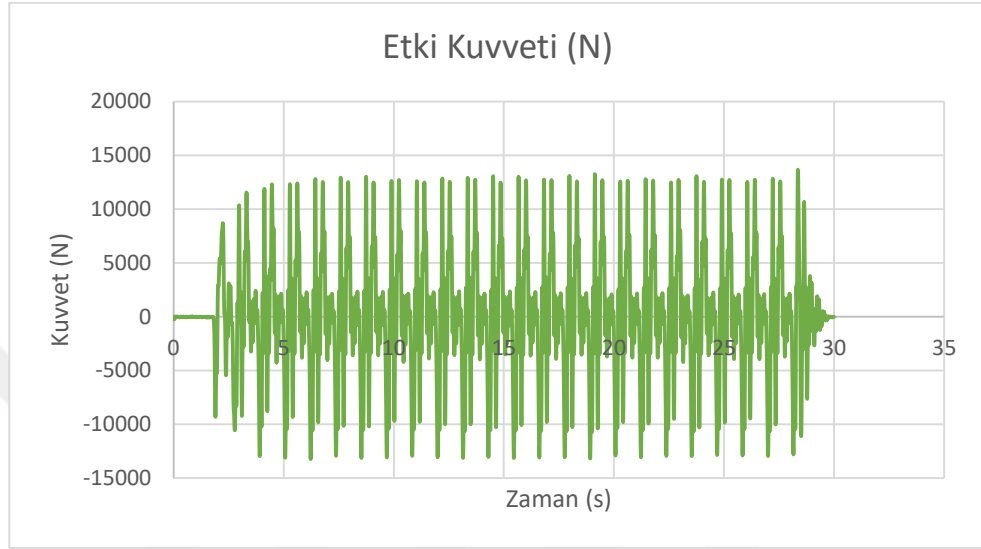
Şekil 8.2. N-02 deney numunesine ait etki ve tepki ivme-zaman grafikleri; **a)** Tabla etki ivme-zaman grafiği, **b)** Yapı tepki ivme-zaman grafiği

8.2. Etki - Kuvvet zaman grafikleri

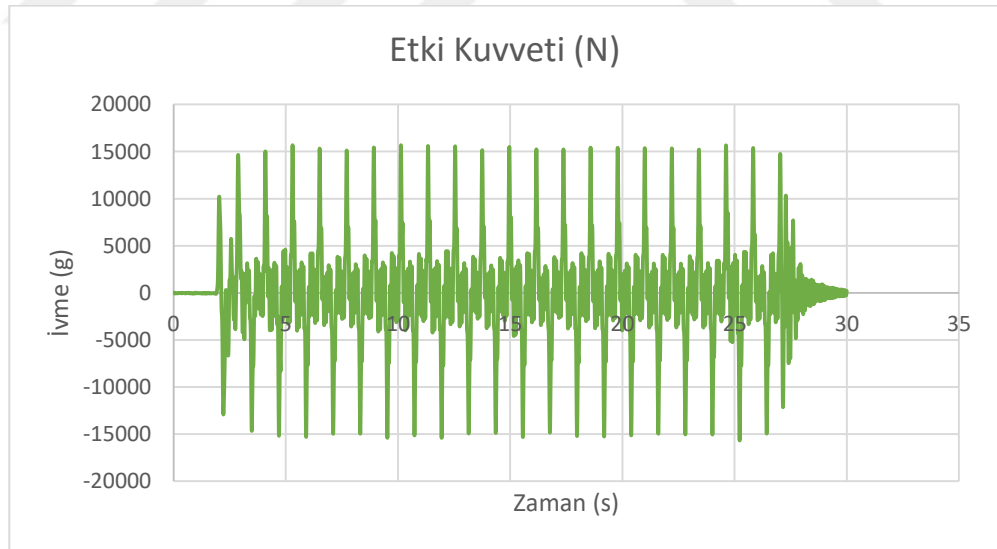
Gerekli kalibrasyon işlemleri yapıldıktan sonra etki ivmeleri zamana bağlı kuvvete çevrilmiştir. Çevirmede etki ivmeleri (g) biriminden 9.81 m/s^2 yerçekimi ivmesi değeri ile çarpılarak (m/s^2) birimine dönüştürülmüş ve sarsma tablası üzerindeki yapı numunelerinin kütleleri ile çarpılmış ve tabladaki etki verileri bu şekilde Newton (N) biriminde kuvvete dönüştürülmüştür. Burada donatılı panel sistemli yığma yapı

numunesinin kütlesi 2750 kg ve kuşatılmış yığma yapı numunesinin kütlesi 3200 kg olarak hesaplanmış ve kullanılmıştır.

Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'te N-01 ve N-02 deney numunelerinin etki kuvvet-zaman grafikleri gösterilmiştir.



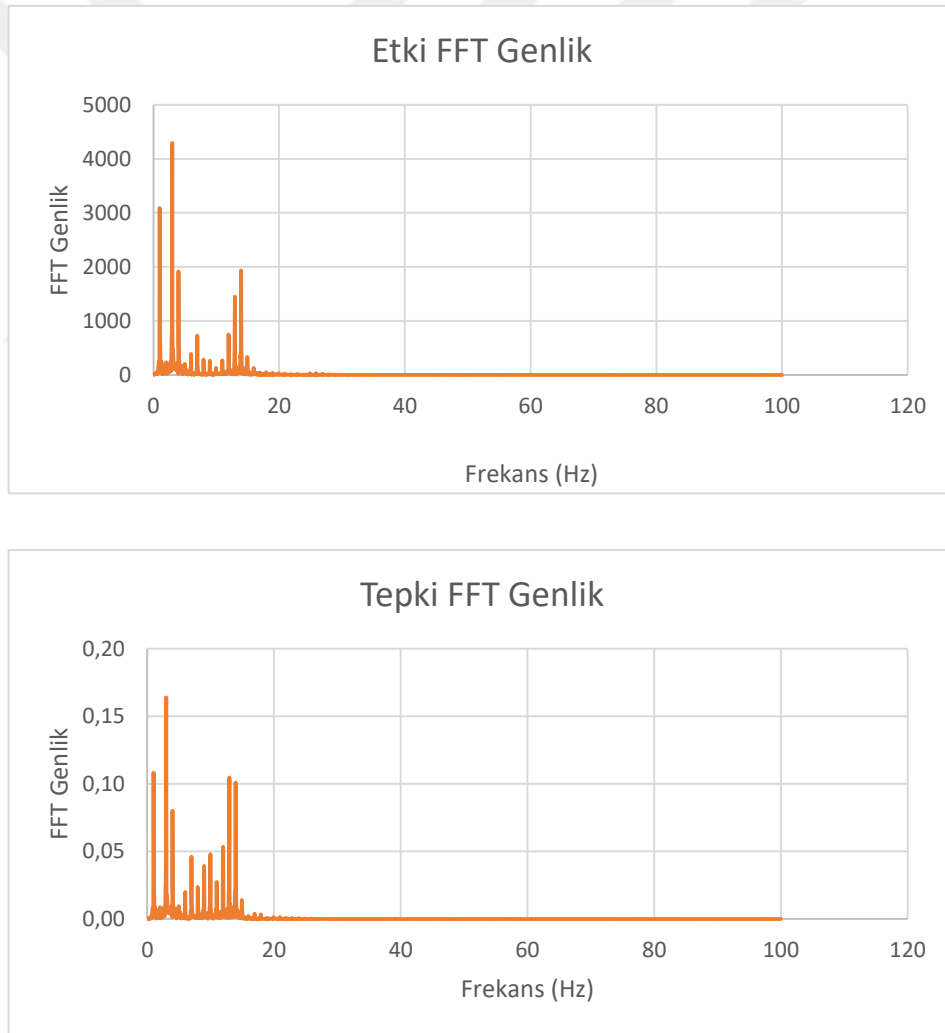
Şekil 8.3. N-01 numunesinin etki kuvvet-zaman grafiği



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

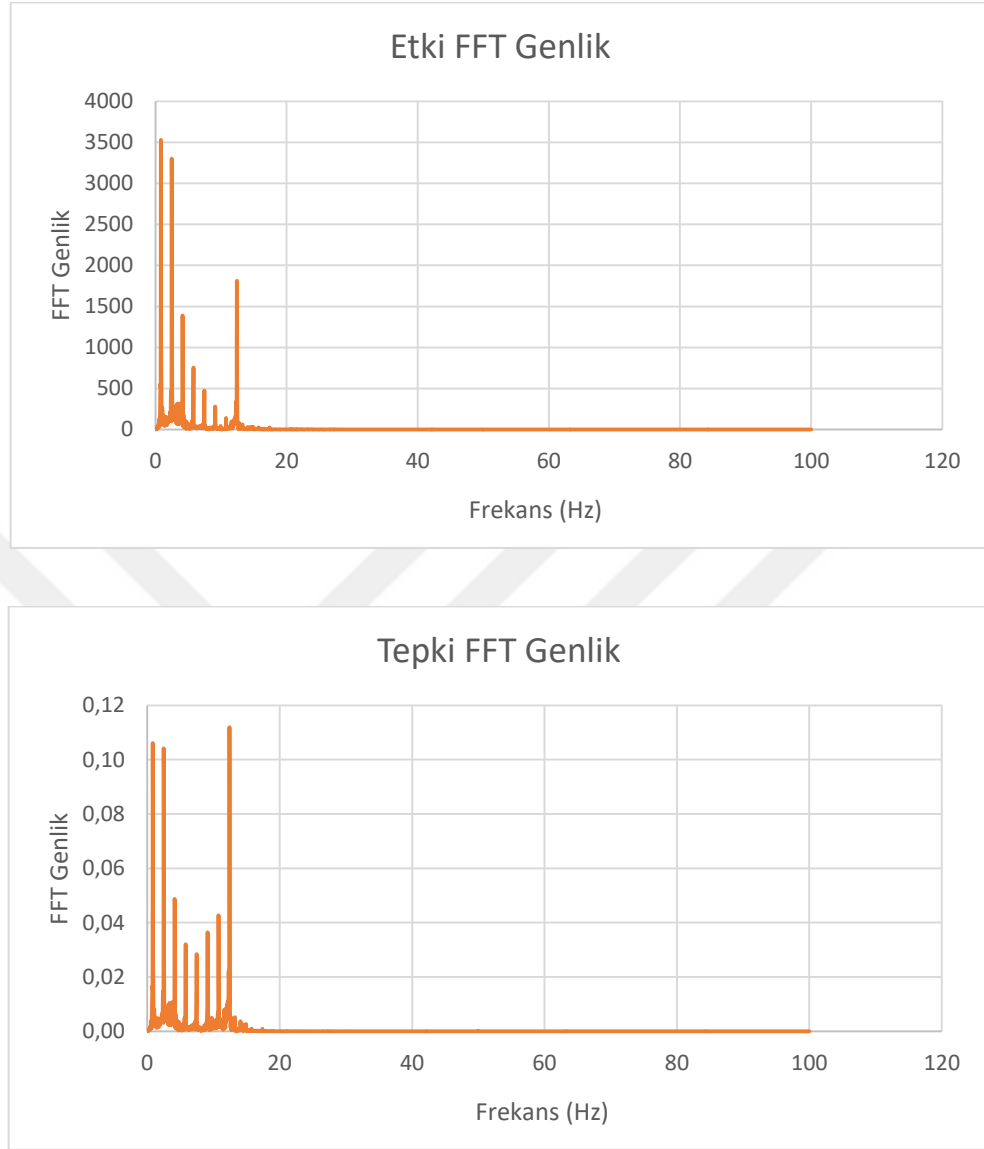
8.3. FFT- Genlik Grafikleri

Zaman tanım alanındaki 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 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’da verilmiştir.

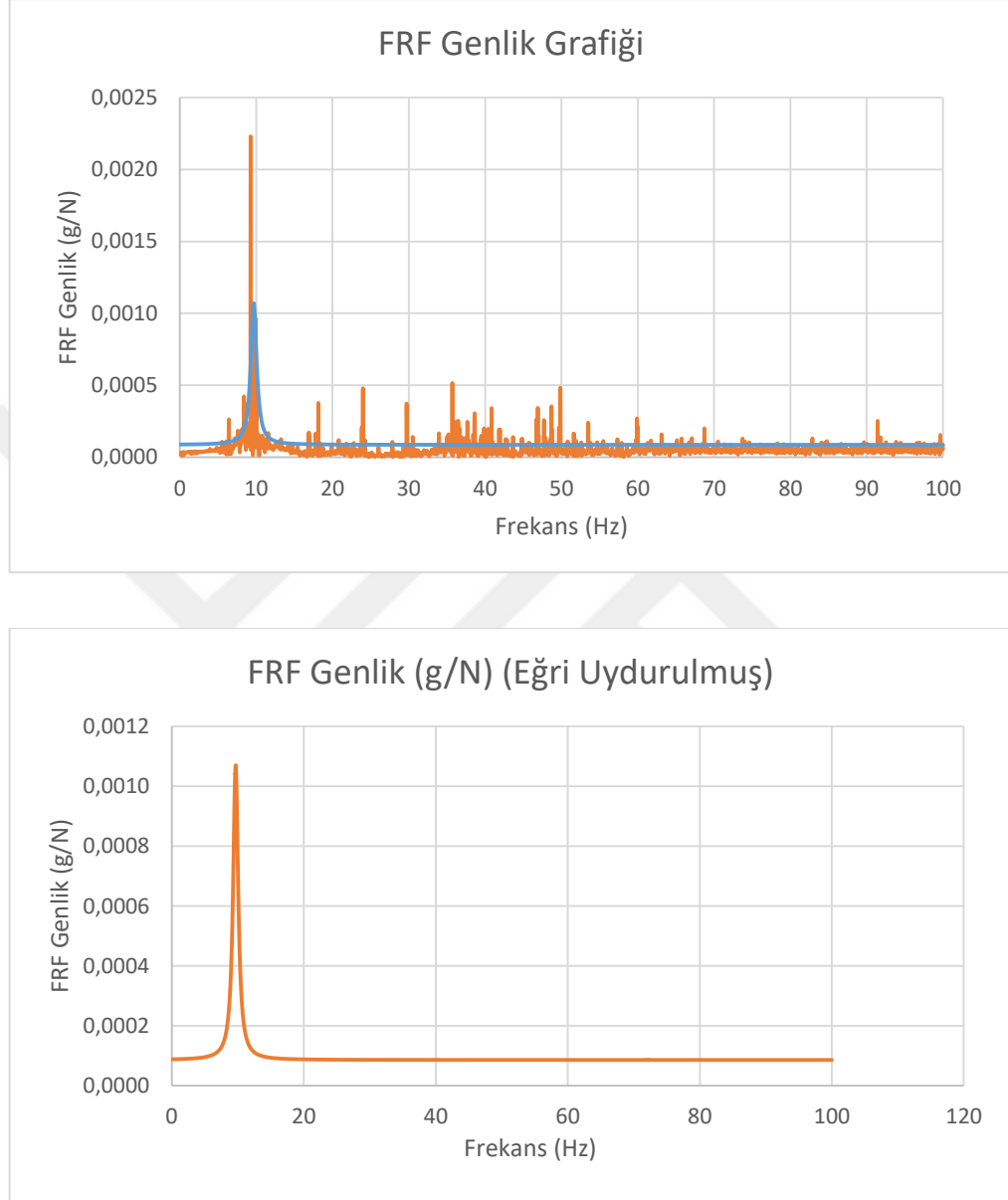


Şekil 8.6. N-02 deney numunesine ait FFT genlik grafikleri; a) Yapı FFT grafiği, b) Tabla FFT grafiği

8.4. FRF Genlik ve FRF Eğri Uydurma Genlik grafikleri

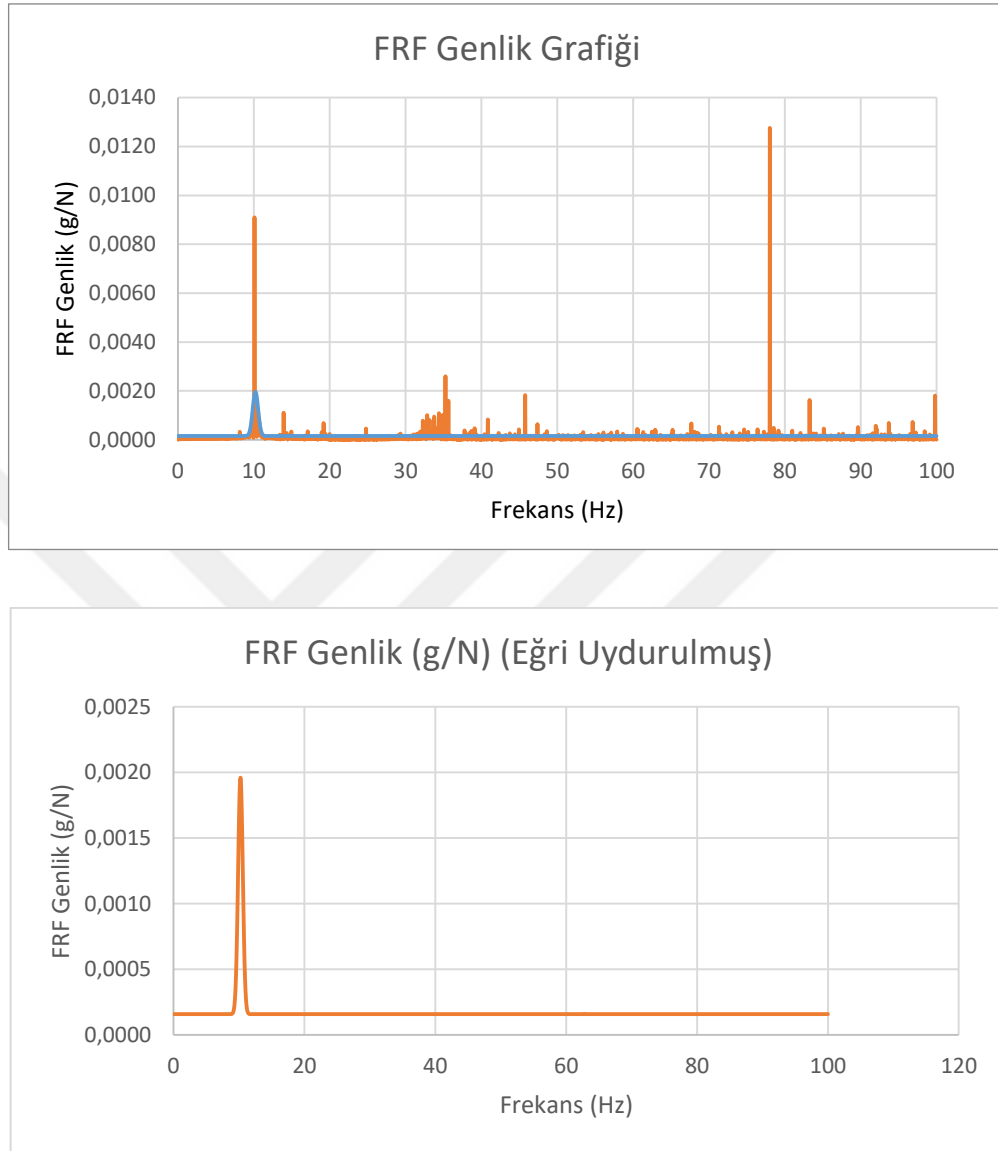
FFT işlemi sonrası tepki/etki (g/N) oranı yapılarak frekans tanım alanında genlik FRF (frekans davranış fonksiyonu veya transfer fonksiyonu) fonksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen FRF grafiğinde (fonksiyonunda) Voigt eğri uydurma ve Lorentz eğri uydurma tekniğiyle tepe tutma metoduna göre birinci mod 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. Mavi çizgiler uydurulmuş, turuncu 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 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 bölgede kaldığı için bulunan bu rijitlik değerleri başlangıç rijitliği olarak adlandırılabilir.

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 numunesinin dinamik parametreleri

Deney sonucundan elde edilen dinamik parametreler				
Numune	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Sönüm Oranı (%)	Rijitlik (N/m)
N-01	9,673	0,103	3,275	257309

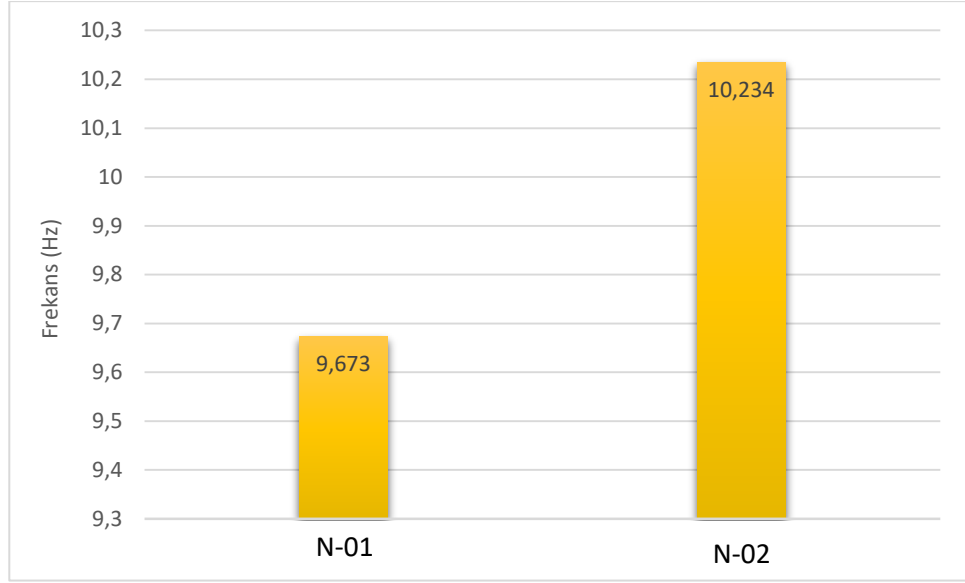
Titreşim deneyleri sonucunda N-02 numuneleri için FRF grafiğinde tepe genlik yöntemiyle elde edilen frekans değerleri, yarım bant genişliği yöntemiyle elde edilen sönüm oranları, doğal titreşim periyotları ve başlangıç rijitlikleri Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. N-02 numunenin dinamik parametreleri

Deney sonucundan elde edilen dinamik parametreler				
Numune	Frekans (Hz)	Periyot (Sn)	Sönüm Oranı (%)	Rijitlik (N/m)
N-02	10,234	0,098	3,072	288021

8.5. Frekans sonuçlarının karşılaştırılması

N-01 (donatılı panel sistemli yığma numune) ve N-02 (kuşatılmış yığma numune) numunelerinin deneysel modal analizin sonuçlarına göre doğal titreşim frekansı değerleri 9,673 Hz (Hertz) ve 10,234 Hz olarak elde edilmiştir. Şekil 8.9’da N-01 ve N-02 numunelerin doğal frekans değerleri gösterilmiştir. Bu değerler 1. moda ait değerlerdir.



Şekil 8.9. 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 8.3’de verilmiştir.

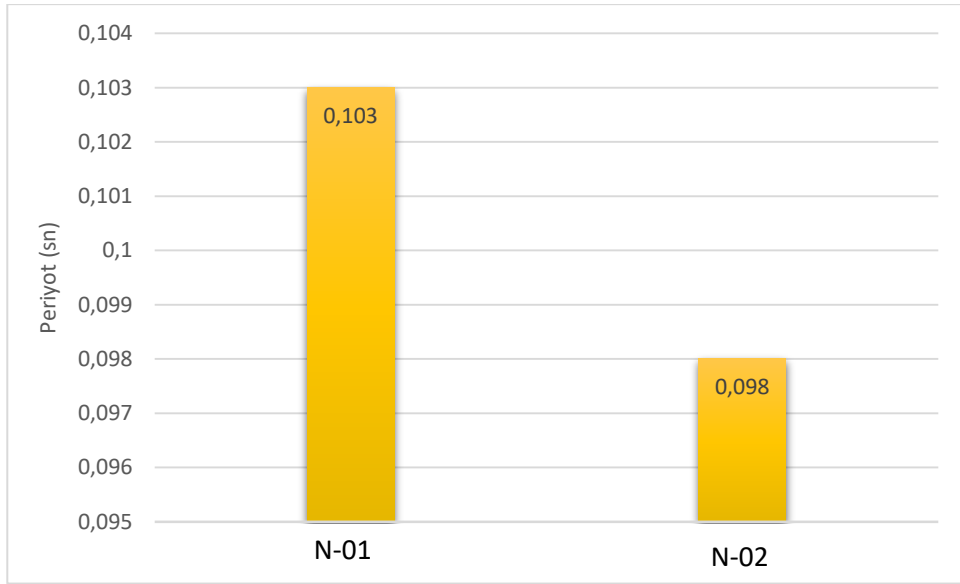
Çizelge 8.3. N-01 ve N-02 numunelerinin frekans değerleri arasındaki yüzde artış

Numune	Frekans (Hz)	Artış (%)
N-01	9,673	5,80
N-02	10,234	

Donatılı panel sistemli yığma yapı ve kuşatılmış yığma yapı numunelerinin frekans değerleri karşılaştırıldığında kuşatılmış yığma yapının frekans değerinin donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %5,80 oranında fazla olduğu görülmüştür.

8.6. Periyot sonuçlarının karşılaştırılması

Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin doğal titreşim periyodu değerleri Şekil 8.10’da verilmiştir. Buna göre donatılı panel sistemli yığma yapıda 1. mod periyodu 0,103 sn iken, kuşatılmış yığma yapıda bu değer 0.098 sn olarak bulunmuştur.



Şekil 8.10. Deneysel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin doğal titreşim periyotları

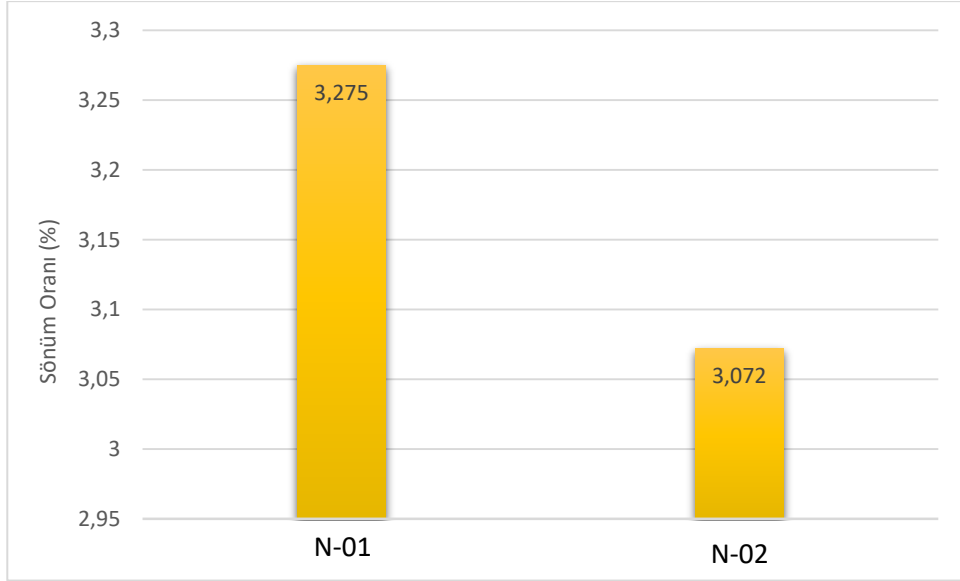
Çizelge 8.4’de deneysel olarak hesaplanan doğal periyot değerindeki yüzde değişim oranları verilmiştir. Buna göre kuşatılmış yığma yapıda periyodun donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %5,48 oranında azaldığı saptanmıştır.

Çizelge 8.4. N-01 ve N-02 numunelerin periyot değerleri arasındaki yüzde azalışı

Numune	Periyot (sn)	Azalış (%)
N-01	0,103	5,48
N-02	0,098	

8.7. Sönüm oranlarının karşılaştırılması

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 8.11’de görüldüğü gibi donatıların etkisiyle periyot değerinde meydana gelen azalma gibi sönüm oranında da azalma saptanmıştır.



Şekil 8.11. Deneyisel modal analiz sonuçlarına göre N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları (%)

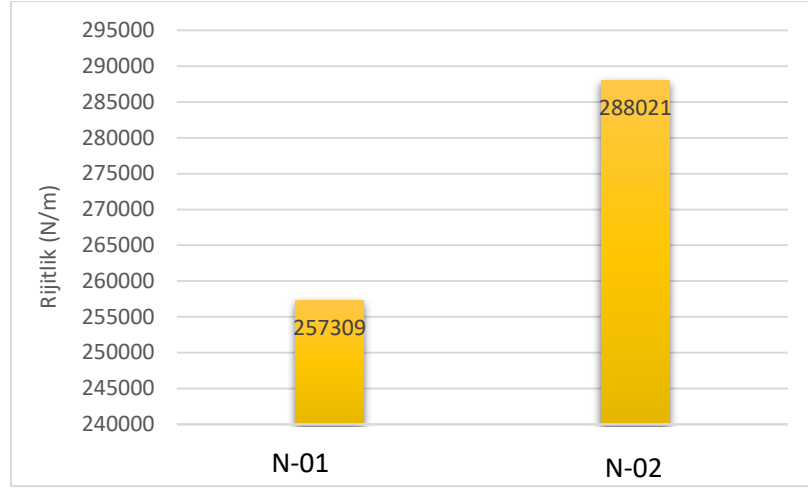
İncelendiğinde kuşatılmış yığma yapıdaki sönüm oranı, donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %6,20 daha azdır. Çizelge 8.5'te N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları arasındaki yüzde değişim gösterilmektedir.

Çizelge 8.5. N-01 ve N-02 numunelerinin sönüm oranları arasındaki yüzde değişim

Numune	Sönüm Oranı (%)	Azalış (%)
N-01	3,275	6,20
N-02	3,072	

8.8. Rijitlik değerlerinin karşılaştırılması

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 8.12'de görüldüğü gibi, yapılan deneyler neticesinde, kuşatılmış yığma yapının donatılı panel sistemli yığma yapıya nazaran daha yüksek rijitlik değerine sahip olduğu görülmüştür. 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 kuşatılmış 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.



Şekil 8.12. N-01 ve N-02 numunelerinin başlangıç rijitlikleri (N/m)

N-01 ve N-02 numuneleri arasında %11,94 oranında rijitlik farkı olduğu hesaplanmıştır. Çizelge 8.6'da numunelerin rijitlikleri arasındaki yüzde farkı gösterilmiştir.

Çizelge 8.6. N-01 ve N-02 numunelerinin başlangıç rijitliği değerleri arasındaki yüzde fark

Numune	Rijitlik (N/m)	Artış (%)
N-01	257309,000	11,94
N-02	288021,000	

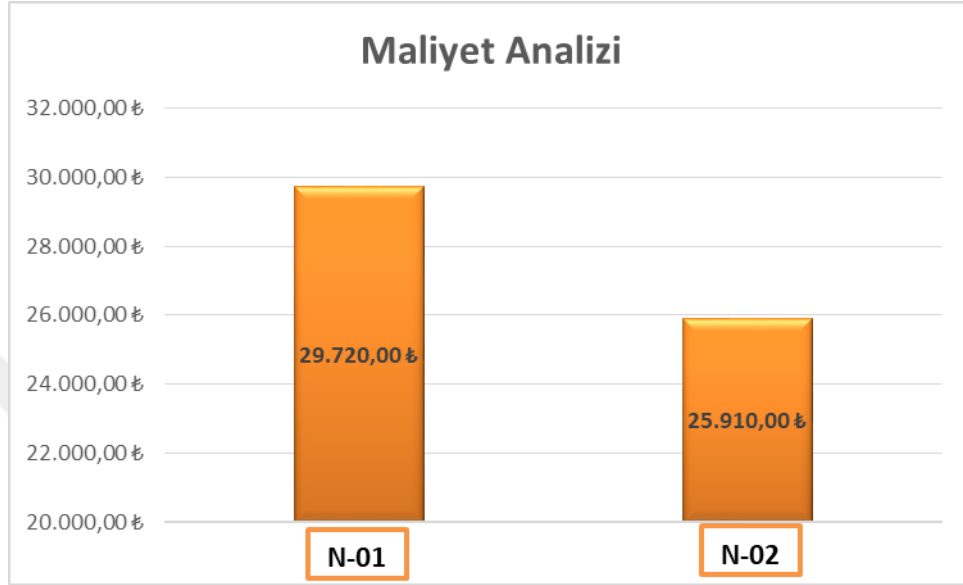
8.9. Maliyetlerin karşılaştırılması

Çizelge 8.7' de donatılı panel sistemli yığma yapı ve kuşatılmış yığma yapının üretiminde kullanılan malzemeler ve işçilik maliyet analizi verilmiştir.

Çizelge 8.7. N01 ve N02 Numunelerinin Maliyet Analizi

MALZEME	N-01	MALZEME	N-02
TAŞIYICI DUVAR BLOĞU	7.560,00 ₺	GAZBETON	3.200,00 ₺
HARÇ	500,00 ₺	HARÇ	300,00 ₺
DONATI	2.000,00 ₺	DONATI	3.000,00 ₺
BETON	2.660,00 ₺	BETON	2.660,00 ₺
KALIP	2.000,00 ₺	KALIP	2.500,00 ₺
İŞÇİLİK	15.000,00 ₺	İŞÇİLİK	14.250,00 ₺
TOPLAM	29.720,00 ₺	TOPLAM	25.910,00 ₺

N-01 (Donatılı panel sistemli yığma yapı) ve N-02 (Kuşatılmış yığma yapı) numunelerinin maliyet analizi karşılaştırıldığında, N-01 numunesinin maliyeti yaklaşık 29720,00 ₺ iken, N-02 numunesinde bu rakam yaklaşık 25910,00 ₺ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyetler aşağıdaki Şekil 8.13’de verilmiştir.



Şekil 8.13. N01 ve N02 Numunelerinin maliyet analizi

Karşılaştırma yapıldığı zaman donatılı panel sistemli yığma yapının maliyetinin, kuşatılmış yığma yapıya göre %14,71 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (Çizelge 8.8)

Çizelge 8.8. N01 ve N02 Numunelerinin karşılaştırılması

NUMUNE	TUTAR	%AZALIŞ
N-01	29.720,00 ₺	14,71%
N-02	25.910,00 ₺	

Yukarıda verilen Çizelgelerden anlaşılacağı üzere donatılı panel sistemli yığma yapının maliyeti kuşatılmış yığma yapıya göre daha fazla çıkmıştır. Bunun nedeni donatılı panel sistemli yığma yapıda kullanılan panellerin ve işçilikten kaynaklanmaktadır.

9.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

9.1.Sonuçlar

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen yığma yapı türlerinden olan donatılı panel sistemli yığma yapı ve kuşatılmış yığma yapının dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı ve üç boyutlu kuşatılmış ve donatılı panel sistemine sahip yığma yapı örnekleri Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda inşa edilmiştir. Numuneler TBDY-2018 kurallarına uygun şekilde tasarlanıp üretilmiştir.

Oluşturulan bu iki yığma yapı modeli, laboratuvar ortamında, sarsma tablasında aynı koşullar altında ve zorlanmış titreşim deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sırasında, yapıların dinamik özellikleri olan doğal frekanslar, sönüm oranları, periyotlar ve rijitlikler belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, numunelere ve sarsma tablasına yerleştirilen ivmeölçerler aracılığıyla ivme kayıtları alınmıştır.

Uygulanan sinüs dalga formundaki yer hareketi sonucunda, sarsma tablasında kaydedilen zaman tanım alanındaki ivme verileri, deneysel modal analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Böylece, yapıların doğal frekansları, sönüm değerleri ve rijitlikleri hesaplanmış ve detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Deneylerde kuşatılmış ve donatılı panel sistemli yığma yapı örnekleri üzerinde herhangi bir hasarın veya çatlağın oluşumu engellenmiştir. Bu nedenle, uygulanan yer hareketleri sırasında numunelerin elastik bölgede kaldığı gözlemlenmiştir. Elastik bölgede kalması nedeniyle, yapıların dinamik parametreleri doğru ve güvenilir şekilde belirlenebilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Kuşatılmış yığma yapının rijitliği donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %11,94 daha fazla bulunmuştur. Özellikle kuşatılmış yığma yapıdaki betonarme eleman fazlalığının başlangıç rijitliğini artırdığı gözlemlenmiştir.
- Kuşatılmış yığma yapının sönüm oranı, donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %6,20 daha az çıkmıştır.
- Kuşatılmış yığma yapının periyodu, donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %5,48 daha az bulunmuştur.

- Kuşatılmış yığma yapının frekansı, donatılı panel sistemli yığma yapıya göre %5,8 daha fazla bulunmuştur.
- Donatılı panel sistemli yığma yapının maliyeti, kuşatılmış yığma yapıya göre yaklaşık %14.71 daha fazla hesaplanmıştır.

Kuşatılmış yığma yapı türünün davranışı, düşey ve yatay yönde hatılların olmasından dolayı betonarme yapı türünün davranışına benzemektedir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, dört farklı yığma yapı türünde en iyi davranış gösteren kuşatılmış yığma yapı türüdür. Yapılan bu çalışmada donatılı panel sistemli yığma yapının davranışı kuşatılmış yığma yapının davranışına yakın değerlerde çıkmıştır. Tez çalışmasında temel donatılı panel sistemli yapının duvar bağlantısı tarafımızdan yapıldığı için bu kısımdaki bağlantı kalifiye işçilikle yapıldığı takdirde davranışın dahada olumlu olacağı düşünülmektedir. Ayrıca donatılı panel sistemin döşemesi de hazır olarak donatılı panel sistemle yapılırsa, kütle ağırlığı azalacağından periyot değerinde de daha küçük sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

Donatılı panel sistemli yığma yapıların imalatı ve işçiliği kuşatılmış yığma yapıya göre daha kolaydır. Kuşatılmış yığma yapılara göre çok kısa sürede imal edilebilir. Üretimde fabrikada hazır olarak yapıldığı için ölçü ve ebatlarda hata oranı çok düşüktür. Ayrıca yerinde imalat kalifiyeli işçiler tarafından yapıldığı için imalat hataları en az seviyede olmaktadır. Buda donatılı panel sistemli yığma yapıların davranışını olumlu yönde etkilemektedir. Donatılı panel sistemli yığma yapılar, proje hazırlandıktan sonra firmalar tarafından projesine göre imalatı yerinde yapıp, yapının yapılacağı alan getirilip temeli hazır hale getirildikten sonra vinçler yardımı ile hızlı bir şekilde kurulumu sağlanmaktadır. Paneller vinç yardımı ile yerlerine yerleştirilmekte ve sabitlenmektedir. Paneller yerlerine yerleştirildikten sonra donatıları konulup çimento şerbeti de döküldükten sonra hazır duruma gelmektedir. Bundan kaynaklı olarak zaman konusunda diğer yığma yapı türüne göre tasarruf sağlamaktadır. Özellikle boyutları büyük olan fabrika yapılarında imalat çok kısa sürede tamamlanabilir.

Bütün sonuçlar değerlendirildiğinde, donatılı panel sistemli yığma yapılar, dinamik parametrelerde en iyi davranış göstermesi beklenen kuşatılmış yığma yapı türünün davranışlarına yakın sonuçlar vermiştir. Özellikle temel duvar bağlantısının iyi kurulması, döşemenin donatılı panel sistemli olması gibi durumlara dikkat edilirse kuşatılmış yığma yapılardan daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Diğer bir

tarafından, kuşatılmış yığma yapıların imalatı ve işçiliği betonarme yapıya benzediği için donatılı panel sistemli yığma yapıya göre daha zordur. Donatılı panel sistemli yığma yapının maliyeti yüksek olmasına rağmen imalatı ve işçiliği kuşatılmış yığma yapıya nazaran daha kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir. Bütün bu durumlar değerlendirildiğinde yönetmeliğimize yeni giren donatılı panel sistemli yığma yapı, dinamik davranışları ve imalat kolaylığı yönleri dikkate alındığı zaman diğer yığma yapı türlerine göre tercih edilebilirler.

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 numuneler hasar durumuna kadar zorlanarak plastik bölgedeki davranışlar daha kapsamlı bir şekilde incelenebilir.
- Sarsma tablasının motor kapasitesi yeterli olduğu durumlarda 3 doğrultuda deprem hareketi verilerek sonuçlar araştırılabilir. Daha fazla sensör ile deney yapılması araştırmanın hassasiyetini arttıracaktır.
- Donatılı panel sistemli yığma yapılar oluşturulurken döşemede donatılı panel sistemle imal edilerek sarsma tablası üzerinde deneyleri yapılarak sonuçları araştırılabilir.
- Aynı ölçülerde betonarme bir yapı imal edilerek diğer yığma yapı türleriyle davranışları karşılaştırılabilir.

10.KAYNAKÇA

- Aküz, A.,2008, Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Arıcan, Y., 2010, Yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Isparta.
- Aşık, F. 2018, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım Ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Doktora Tezi, Konya.
- Aytekin, İ., 2006, Donatısız ve sarılmış yığma yapıların deprem davranışlarının incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Sakarya.
- Avitabile, P. 2001, Experimental modal analysis. Sound and vibration, pp. 35(1), 20-31.
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A. C., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, D. M., 2010, Binaların dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 21.104, 5185-5205.
- Bayülke, N., 2011, Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği, 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı* Ankara.
- Çöğür, M. T., 2007, Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora tezi, Konya.
- Durgun, Y. G., 2013, Yapı tanı teknikleri kullanılarak yapıların hasar tespiti, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Sakarya.
- Döndüren, M. S., 2008, Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Konya.
- Erçolak, A., 2021, Yığma yapıların duvarlarının kesme gerilme dayanımının deneysel olarak araştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Konya.
- Ersubaşı, F., 2008, Yığma yapıların deprem davranışının sarsma masasında dinamik olarak incelenmesi ve farklı güçlendirme seçeneklerinin değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Konya.
- Gençer, Ö., 2000, Pomza katkılı bimsbeton bloklar ile yapılmış yığma yapı üzerinde deprem etkisinin araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Isparta.

- Genç, A. F., 2023, Tarihi yığma yapılarda deneysel modal analiz yöntemiyle dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon
- Güneş, S., 2017, Operasyonel modal analiz tekniği ile yığma yapıların dinamik davranışının belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Güneş, E. R., 2020, Yığma yapıların güçlendirilmesinde plastik kompozit donatı kullanımı, *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Hatay.
- Gür, D. (2013, 7 8). VLF Sinyallerinde Oluşan Tedirginliklerin Giderilmesi İçin Bir Yazılım Geliştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Karaahmetli, S., & Dündar, C. (2017, 6). Yapıların Dinamik Analizinde Kullanılan Sönüm Modellerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s. 23-36.
- Kaya, F., 2013, Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Isparta.
- Kaya, E., 2022, Betonarme kolonlarda etriye aralıklarının ve donatı sınıfının yapı dinamik davranışına etkisi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Kayırga, O. M., 2017, Yığma yapıların deprem davranışının analitik ve deneysel olarak belirlenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora tezi, Kayseri.
- Kıpçak, F., 2018, Harman tuğlası ile inşa edilmiş yan duvarı boşluklu yığma yapıların düzlem dışı davranışlarının eğilme masası yardımı ile belirlenmesi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- Kocaman, İ., 2017, Tarihi yığma yapıların dinamik davranışlarının hesabında gerekli malzeme özelliklerinin tayini, *Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Erzurum.
- Kömürcü, S., 2017, Yığma duvarların düzlem içi davranışlarının modellenmesi ve analizi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kuran, F., 2006, Yığma yapıların çelik şeritlerle rehabilitasyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Ankara.
- Mominzai, N. A., 2024, Donatılı ve donatısız yığma yapıların dinamik davranışlarının deneysel olarak incelenmesi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

- Nakipoğlu, A., 2024, Betonarme binalarda hasar, onarım ve güçlendirmelerin dinamik davranışa etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Doktora Tezi, Konya.
- Orulkaya, Alemdaroğlu, H., 2019, Mevcut yığma yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesinde püskürtme beton kullanımı, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Tekirdağ.
- Özeren, Ö., 2017, Donatılı gazbeton paneller ve paneller ile yapılan binaların düşey ve yatay yükler altındaki davranışı, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Öztaş, V., 2009, Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- Sallio, N., 2005, Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Denizli.
- Sayın, M. N., 2022, Betonarme yapılarda beton basınç dayanımının yapı dinamik davranışına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Semiz, Ö., 2020, Hasar seviyelerinin yapı dinamik parametreleri ile belirlenmesi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Smyrou, E., (2016 3), Kuşatılmış yığma yapıların deprem davranışı: 2011 Van depremi örneği, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik dergisi*, s. 453-461.
- Şerbetçigil, K. M., 2021, Yığma bir binada uygulanan deprem güçlendirmesinin doğrusal olmayan analitik yöntemle incelenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Konya.
- Türkoğlu, A., 2022. TBDY-2018 Ve RYTEIE-2019 Kapsamında Yığma Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Kocaeli.
- Türker, T. 2011. Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, Resmi Gazete, 18 Mart 2018, 30364
- URL1. Türkiye deprem tehlike haritası (<https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>)
- URL2. Kerpiç yapı örneği (<https://insapedia.com/kerpic-nedir-kerpic-kullanim-alanlari-ve-yapi-elemanlari/>)

- URL3. Duvar örgü harcı (<https://insapedia.com/tugla-duvar-orerken-dikkat-edilmesi-gerekenler/>)
- URL4. Donatılı panel sistemli yığma yapı örneği (<https://santiyede.com/yigma-yapi-nedir-yigma-binalarin-cesitleri/>)
- Uzun, M., 2017, Yığma yapıların deprem performansının değerlendirilmesi ve bir güçlendirme örneği , *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Konya.
- Vural, E., 2017, Yapısal sağlık izleme ile eski yapıların dinamik parametrelerinin belirlenmesi ve modellenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Kayseri.
- Yalnız, Z., 2020, Anıtsal Bir Yığma Binanın Yapısal Analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Konya.
- Yedek, Yiğit, Ç., 2013, Yığma yapıların hasır çelik donatılı kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek lisans tezi, Isparta.