



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**BETONARME YAPILARDA BETON BASINÇ  
DAYANIMININ YAPI DİNAMİK  
DAVRANIŞINA ETKİSİ**

**Mevlûde Nisa SAYIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mevlüde Nisa SAYIN tarafından hazırlanan “Betonarme Yapılarda Beton Basınç Dayanımının Yapı Dinamik Davranışına Etkisi” adlı tez çalışması 15/06/2022 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

#### Başkan

Prof. Dr. Abdullah AVEY

#### Danışman

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

#### Üye

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 211004050 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.

Mevlûde Nisa SAYIN

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BETONARME YAPILARDA BETON BASINÇ DAYANIMININ YAPI DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Mevlüde Nisa SAYIN

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

2022, 112 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN  
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI  
Prof. Dr. Abdullah AVEY

Dinamik yük, zamana bağlı olarak büyüklüğü değişen yük demektir. Yapıya aniden etkiyip kısa sürede büyük değişim gösteren yük (kuvvet) olarak da tanımlanabilir. Yapılarda statik kuvvetlerin yanı sıra dinamik kuvvetler de çok önemli bir yere sahiptir. Hatta statik ve dinamik yüke karşı verilen tepkiler kıyaslandığında dinamik kuvvetlere verilen tepkilerin daha fazla olduğu bilinmektedir.

Dinamik kuvvetlerin en etkilisi ise deprem kuvvetleridir. Deprem kuvveti yatay hareketler oluşturmaktadır. Ülkemiz ve dünyada deprem kuvvetinin yapılarda önemi yadsınamaz bir gerçektir. Projelendirmede deprem kuvveti dikkate alınmadığı takdirde, özellikle betonarme yapılar son derece olumsuz etkilenebilmektedir. Bu yüzden deprem mühendisliğinde yapılara etkiyen kuvvetlerin etkisinin nasıl iyileştirilebileceğine dair birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalarda kullanılan deneysel yöntemlerden biri sarsma tablası deneyleridir. Sarsma tablası deneyi sonucunda deprem kuvveti altındaki yapının kapasitesi, dinamik karakteristikleri belirlenmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında, sarsma tablası üzerinde zorlanmış kuvvetlerle farklı beton basınç dayanımına sahip kolon numunelerin sarsılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 6 adet farklı beton basınç dayanımına sahip kolon numunesi 1/3 ölçeklendirme ile hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan betonarme kolon numunelerin çelik sınıfı ve geometrik boyutları aynı olarak tasarlanmıştır. Sarsma tablasında zorlanmış titreşime maruz kalan bu betonarme kolon numunelerden elde edilen verilerin filtreleme ve analiz işlemleri yapılarak FRF grafikleri elde edilmiş, dinamik karakteristikleri belirlenmiştir. Betonarme elemanların en temel malzemesi olan betonun sınıflandırmasının deprem etkisi altında frekans ve sönüm oranına etkileri belirlenmiştir. Numuneler arasında karşılaştırmalar yapılarak uygulama ve analizle ilgili çeşitli sonuçlara varılmıştır. Deney sonucunda beton basınç dayanımı en yüksek numunenin (SN-06) en düşük numuneye (SN-01) oranına göre frekans değerinin %8,08 arttığı, sönüm oranının ise %30,98 azaldığı görülmüştür. Beton basınç dayanımı ile frekansın doğru orantılı, sönüm oranının ise ters orantılı olduğu kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, beton basınç dayanımı, deprem, dinamik yük, frekans, sarsma tablası, sönüm oranı.

## ABSTRACT

### MS THESIS

# THE EFFECT OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH ON STRUCTURAL DYNAMIC BEHAVIOR IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Mevlde Nisa SAYIN

Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Mahmud Sami Dndren

2022, 112 Pages

Jury

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN  
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI  
Prof. Dr. Abdullah AVEY

Dynamic load means a load whose size varies over time. It can also be defined as the load (force) that suddenly affects the structure and changes greatly in a short time. In addition to static forces, dynamic forces also have a very important place in structures. In fact, it is known that when the responses against static and dynamic loads are compared, the responses to dynamic forces are found to be higher.

Earthquake forces are the most impactful of dynamic forces. Earthquake force creates horizontal movements. The importance of earthquake force in buildings in our country and in the world is an undeniable fact. If the earthquake force is not taken into account in the project, especially reinforced concrete structures can be affected extremely negatively. For this reason, many researches are carried out on how to improve the effect of forces acting on structures in earthquake engineering. One of the experimental methods used in these studies is shaking table experiments. As a result of the shaking table test, the capacity and dynamic characteristics of the structure under earthquake force are determined.

In this thesis study, the shaking of column samples with different concrete compressive strengths was carried out with the forced forces on the shaking table. In the study, 6 column samples with different concrete compressive strength were prepared with 1/3 scaling. The steel class and geometric dimensions of the reinforced concrete column samples were designed as the same. Filtering and analysis of the data obtained from these reinforced concrete column samples, which were subjected to forced vibration on the shaking table, were performed and FRF graphs were obtained, and their dynamic characteristics were determined. The effects of the classification of concrete, which is the most basic material of reinforced concrete elements, on frequency and damping rate under earthquake effect were determined. Comparisons between the samples were made and various conclusions were reached regarding the application and analysis. As a result of the experiment, it was seen that the frequency value increased by 8,08% and the damping ratio decreased by 30,98%, compared to the ratio of the sample with the highest compressive strength (SN-06) to the sample with the lowest (SN-01). It has been proven that concrete compressive strength and frequency are directly proportional and damping ratio is inversely proportional.

**Keywords:** Concrete, concrete compressive strength, dynamic load, earthquake, frequency, shaking table, damping rate.

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında gerçekleşmiştir.

Öğrencisi olmaktan onur duyduğum lisans dönemi bitirme projem de dâhil olmak üzere yüksek lisans eğitimim süresince bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen, yönlendiren ve teşvik eden, her türlü desteği sağlayan, mekanik alanında ayrıntılı bilgi sahibi olmamda katkı sağlayan Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN hocama teşekkürlerimi, saygılarımı sunarım.

Tez sürecimde desteklerini esirgemeyen, laboratuvar, analiz sürecimde yanımda olan ve tez çalışmamda çok büyük emekleri olan Arş. Gör. Abdulhamit NAKİPOĞLU hocama teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım ve gerekli hesaplamalarda desteklerini esirgemeyen doktora öğrencisi Mohammed Gama Omar AL-HAGRI'ye, hem ders hem de tez aşamasını birlikte yürüttüğümüz yüksek lisans arkadaşım Emine KAYA'ya, bana yardımcı olan ve her zaman yanımda olan tüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda numunelerin bir adedi ve kütle için hazır beton teminini sağlayan Konya Hazır Beton San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Çalışmada kullandığımız sarsma tablasını bölümümüze kazandıran Acos Makina, FSM Doğan Yapı Teknolojileri LTD. ŞTİ., İnşaat Mühendisi Adnan Doğan, İnşaat Mühendisi İskender Avcı ve Bölüm Başkanımız Prof. Dr. Mehmet Kamanlı hocama teşekkür ederim.

Tez çalışmam için destek sağlayarak projemin uygulanmasında büyük önem arz eden Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü'ne çok teşekkür ederim.

Mevlûde Nisa SAYIN  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tezin Amacı .....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
3. BETONARME YAPILARDA BETON BASINÇ DAYANIMI.....	11
3.1. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler .....	12
3.2. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi Yöntemleri.....	13
3.2.1. Taze Betondan(Transmikserden) Numune Alarak Beton Basınç Dayanımı Belirleme Yöntemleri .....	13
3.2.2. Yerinde (Sertleşmiş Betondan) Beton Basınç Dayanımı Belirleme Yöntemleri .....	15
3.2.2.1. Tahribatlı Yöntemler (Karot Yöntemi) .....	15
3.2.2.2. Tahribatsız Yöntemler.....	16
3.3. Betonarme Yapılarda Beton Basınç Dayanımının Önemi .....	18
4. DİNAMİK YÜKLER.....	20
4.1. Yapılara Etkiyen Dinamik Yükler (Kuvvetler).....	20
4.1.1. Deprem Yükleri.....	21
4.1.2. Rüzgâr Yükleri.....	24
4.2. Yapıların Dinamik Parametreleri .....	25
4.2.1. Doğal Frekans .....	25
4.2.2. Doğal Periyot .....	25
4.2.3. Mod Şekli .....	26
4.2.4. Sönüm Oranı .....	26
4.3. Yapıların Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi (Modal Analiz).....	26
4.3.1. Teorik Modal Analiz.....	27
4.3.2. Deneysel Modal Analiz .....	27
4.3.2.1. Geleneksel (Deneysel) Modal Analiz .....	28
4.3.2.2. Operasyonel Modal Analiz .....	28
4.3.2.3. Modal Parametrelerin Belirlenmesi .....	28

4.3.2.4.	Fourier Dönüşümü .....	29
4.3.2.5.	Fourier Dönüşüm Yöntemleri .....	30
4.3.2.7.	Filtreleme Yöntemi .....	31
4.3.2.8.	Pencereleme Yöntemi .....	32
4.3.2.9.	Frekans Davranış (Tepki) Fonksiyonu (FRF) .....	33
4.3.2.10.	Eğri Uydurma Yöntemi (Curve Fitting) .....	34
<b>5.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>36</b>
5.1.	Deney Numunelerinin Tasarımı .....	36
5.2.	Sarsma Tablası Sistemi .....	40
5.3.	Malzemelerin Temin Edilmesi .....	42
5.4.	Malzemelerin Hazırlanması.....	43
5.5.	Betonarme Numuneler için Kalıp, Boyuna Donatı ve Etriyelerin Hazırlanması 44	
5.6.	Farklı Beton Basınç Dayanımlarının Sağlanması İçin Küp ve Silindir Numunelerin Hazırlanması ve Dayanım Testlerinin Uygulanması .....	50
<b>6.</b>	<b>SARSMA TABLASI İLE DİNAMİK ANALİZ DENEYLERİNİN YAPILIŞI</b> <b>64</b>	
6.1.	SN-01 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	65
6.2.	SN-02 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	67
6.3.	SN-03 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	68
6.4.	SN-04 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	69
6.5.	SN-05 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	70
6.6.	SN-06 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması .....	71
<b>7.</b>	<b>DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI .....</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>92</b>
8.1.	Sonuçlar.....	92
8.2.	Öneriler .....	99
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>100</b>
	<b>EKLER .....</b>	<b>107</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- A** : Etkilenen yüzey alanı, (m<sup>2</sup>)  
**a** : İvme  
**c** : Sönüm katsayısı  
**C<sub>f</sub>** : Aerodinamik yük katsayısı  
**C<sub>t</sub>** : Bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak belirlenen bir katsayı  
**d** : Katın yanal yük etkisiyle oluşan deplasmanı  
**E** : Deprem yükü  
**E<sub>c</sub>** : Elastisite modülü  
**F** : Kata etkiyen yanal yük  
**f<sub>ck</sub>** : Standart numune karakteristik basınç dayanımı  
**f<sub>ctk</sub>** : Karakteristik eksenel çekme dayanımı  
**f<sub>n</sub>** : Doğal titreşim frekansı, çizgisel frekans (Hz)  
**G** : Sabit yük  
**H** : Toprak itkisi  
**H<sub>n</sub>** : Bina toplam yüksekliği  
**H<sub>(ω)</sub>** : Frekans Tepki Fonksiyonu Matrisi  
**H<sub>pa(ω)</sub>** : Tahrik konumu q ve cevap konumu p olan frekans davranış fonksiyonu (FRF)  
**X<sub>(ω)</sub>** : Titreşim Ölçümü Vektörü  
**X** : Zamandan bağımsız cevap  
**k** : Rijitlik  
**m** : Kat kütlesi  
**N** : Binanın kat sayısı  
**P** : Kuvvet  
**q** : Emme (hız basıncı)(kN/m<sup>2</sup>)  
**Q** : Hareketli yük  
**W** : Rüzgar yükü  
**ξ** : Sönüm oranı  
**σ** : Gerilme  
**μ** : Poisson oranı  
**α** : Çatı örtüsünün eğimi (derece)  
**ω<sub>n</sub>** : Sönümsüz sistemde doğal titreşim frekansı, açısal frekans (rad/s)

## **Kısaltmalar**

- BYS** : Bina yükseklik sınıfı  
**CEB** : Avrupa Beton Komitesi  
**DTS** : Deprem tasarım sınıfı  
**FFT** : Hızlı Fourier Dönüşümü  
**FOA** : Frekans Ortamında Ayrışım  
**FRF** : Frekans Davranış (Tepki) Fonksiyonu  
**FTAA** : Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi  
**GFTAA** : Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi  
**GPS** : Global Positioning System (Global Konum Belirleme Sistemi)  
**PLC** : Programlanabilir Mantıksal Denetleyici  
**OMA** : Operasyonel Modal Analiz  
**SAB** : Stokastik Altalan Belirleme Yöntemi  
**TBDY** : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği  
**TS500** : Türk Standardı

## 1. GİRİŞ

Betonarme yapıların en önemli elemanı olan betonun temel malzemelerini agrega (ince ve iri agrega), su ve çimento oluşturmaktadır. Bu temel malzemelerin yanı sıra betona çeşitli katkı maddeleri ilave edilebilir. Beton karışımı hazırlandıktan sonra yerleştirme, sıkıştırma ve gerekli bakımlarının doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Beton homojen olacak şekilde plastik ya da akıcı kıvamda istenilen şekli alır. Mukavemet kazanırken aynı zamanda katı hal alan kompozit bir yapı malzemesidir.

Beton, gevrek bir yapı malzemesi olması nedeniyle basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun basınç dayanımına göre çekme dayanımı oldukça küçüktür. Beton malzemesinin en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımı betonun tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında son derece önemlidir. Taşıma gücü hesaplamaları beton basınç dayanımı değeri ele alınarak yapılmaktadır. Çünkü yapı için en önemli özelliklerden biri betonun kalitesidir.

Yapıların tasarımında deprem ve rüzgâr gibi birçok etkiler göz önünde bulundurulmaktadır. Tüm bu zamana bağlı olarak değişen yüklere dinamik yük denir. Dinamik yüklerin hepsinin ayrı ayrı hesap yöntemleri bulunmaktadır. Dinamik yüklerden olan deprem yükü yapıya yanal olarak etkimekte ve kısa sürelerde büyük kayıplara yol açabilmektedir. Deprem üzerine günümüzde birçok çalışma yürütülmektedir. Ancak dinamik yük olarak kabul edilen deprem yükünün zamanlaması ve kuvveti net olarak belirlenememektedir. Yapılar inşa edilmeden önce olabilecek depremler tam olarak bilinemeyeceği için yapı her zaman güvenli tarafta kalacak şekilde ülkemizde güncel deprem haritasına uygun olarak hesaplamalar yapılmaktadır. Depreme uygun yapı tasarımları günümüzde uygulanırken mevcut yapı stoklarını da unutmamak gerekir.

Deprem sırasında yapıya etkileyen yükler yapının oturduğu zeminde titreşim sonucu yapılarda atalet kuvvetleri meydana getirir. Bu yükler mevcut yapının kütesine, hâkim titreşim periyoduna, mod şekline zeminin dinamik parametrelerine, süreye ve sıklığa bağlı olarak değişir. Her yapının kendine özgü dinamik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede olası deprem etkileri ya da herhangi bir nedenden dolayı oluşan titreşim etkileri ile yapıda oluşacak hasarların önüne geçilir veya hasarlar minimum seviyede tutulur (Çoşgun ve ark., 2007).

Mevcut yapıların dinamik etkiler altındaki davranışını belirlerken birçok belirsizlik ile karşılaşmaktadır. Dinamik davranışı tahmin etmesi oldukça zordur, parametrelerde de belirsizliklerin olması gerçek dinamik davranışın belirlenmesini daha da zorlaştırmaktadır. Yapıların dinamik parametreleri, doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları dinamik davranışlarını belirlemede en önemli araçlardır. Dinamik parametrelerin belirlenmesi için kullanılan yöntemlere modal analiz denir. Teorik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki ayrı yöntem çeşidiyle yapıların dinamik parametreleri belirlenebilmektedir. (Yetkin,2016)

### **1.1. Tezin Amacı**

Dinamik yük, zamana bağlı olarak büyüklüğü değişen yük demektir. Yapıya aniden etkiyip kısa sürede büyük değişim gösteren yük (kuvvet) olarak da tanımlanabilir. Yapılarda statik kuvvetlerin yanı sıra dinamik kuvvetler de çok önemli bir yere sahiptir. Hatta statik ve dinamik yüke karşı verilen tepkiler kıyaslandığında dinamik kuvvetlere verilen tepkilerin daha fazla olduğu bilinmektedir.

Dinamik kuvvetlerin en önemlisi deprem kuvvetleridir. Bilindiği üzere deprem, yer kabuğu üzerinde fay adı verilen kırıkların bulunması ve üzerinde enerji birikmesi sonucu enerjinin aniden ortaya çıkmasıyla titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak yeryüzünü sarsması olayına denir. Yatay hareketlerden oluşan deprem kuvvetleri dikkate alınmadığında veya hesaplamalara uyulmadığında yapılara geri dönüşü olmayacak hasarlar vermektedir. Bununla birlikte çok büyük can kayıpları, ekonomik ve sosyal kayıpları da bir arada getirmektedir. Bu kayıpların ve olası hasarların önüne geçmek için yapıların projelendirilme aşamasında deprem kuvvetleri gibi dinamik kuvvetlere uygun hesaplamalar yapılmalı, tasarım aşamasında da kaliteli malzemelerle bu mühendislik hesaplamalarına doğru bir şekilde uyulmalıdır. Deprem etkileri altındaki yapı davranışlarının tahmin edilmeye çalışılması, incelenmesi, önceki yöntemlerin sorgulanması, depreme dayanıklı yapı tasarımlarının geliştirilmesi ve yapıların performansının artırılması ile ilgili çalışmalar yıllardır devam etmektedir ve birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler teorik ve deneysel olarak ayrılmakta aynı zamanda birbiriyle desteklenmektedir.

Dinamik kuvvetlere karşı yapıların etkileriyle ilgili fikir ve sonuçlara ulaşılabilecek gerçekçi sonuçlar elde ettiğimiz yöntemlerden biri de laboratuvar

çalışmasında uygulanmış olan sarsma tablası yöntemidir. Sarsma tablası üzerine konulan numuneye dinamik kuvvet uygulanarak zorlanmış bir hareket ile titreşimler etkimektedir. Dinamik deneyi gerçekleştireceğimiz numune sarsma tablasına rijit olarak bağlanmaktadır. Numuneye uygulanan ivme kaydı gerçek bir deprem kaydı veya sonradan üretilmiş bir kayıt olmaktadır. Tabla boyutları ve sistem kapasitesi sınırlı olduğu için ölçekli numuneler kullanılmaktadır. Deney sonucunda numunenin dinamik karakteristiklerine (dinamik etkiler altındaki değişimine) ulaşılmaktadır. İlgili hesaplamalar ile grafikler ve sonuçlar elde edilmektedir.

Tez çalışmasında sarsma tablası üzerinde betonarme yapıların en önemli elemanı olan betonun farklı beton basınç dayanımına sahip kolon numunelerin zorlanmış kuvvetlerle sarsma tablası üzerinde sarsılması gerçekleşmiştir. Sarsma tablasında zorlanmış titreşime maruz kalan bu betonarme kolon numunelerin dinamik karakteristikleri elde edilmiş, betonarme elemanların en temel malzemesi olan betonun sınıflandırmasının deprem etkisi altında yapı davranışına ve dinamik parametrelere etkileri belirlenmiştir. Numuneler arasında karşılaştırmalar yapılarak çeşitli sonuçlara varılmıştır. Farklı beton sınıflandırmaları ve yatay kuvvetler arasındaki ilişkiye, basınç dayanımı ve dinamik davranış arasındaki bağıntıdan süneklik ve gevreklik kavramları gibi bilgilere ulaşılmıştır. Dinamik yükler ile ilgili betonarme kolonlarda yapılabilecek iyileştirmeler ve daha güvenli tasarım hakkında fikir ve öneriler belirtilmiştir. Tüm bunların yanı sıra teorik olarak tasarlanan numunelerin imalat aşamasının deneyi uygulamaya etkisi ve teorik analiz-deneysel analiz etkileri ortaya çıkmıştır.

Tüm bu çalışmaların sonuçları dikkate alınarak, TBDY2018'e uygun hesaplamalar ile analiz ve tasarımı yapılan yapılar, olası afet durumlarında ülkelerin ve insanların, ekonomik ve sosyal açıdan güvenli bir şekilde yaşamasına katkı sağlayacaktır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Benedetti ve ark., 1998), yaptıkları çalışmada, ½ ölçekli iki katlı yığma binalar üzerinde yürütülen büyük bir deneysel programın sonuçlarını sunmaktadır. Modeller hasar gördükten sonra onarım ve güçlendirme uygulanıp tekrar test edilmiştir. Toplam 24 bina, 119 sarsma tablası testine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, kullanılan çeşitli güçlendirme tekniklerinin etkinliğini değerlendirmeye ve hasar artışında sistemlerin dinamik özelliklerinin değişimini tanımlamayı sağlamıştır.

(Lu ve ark.,2000), yaptıkları çalışmada, yeni perde tasarlamış ve önermişlerdir. 1/5 olarak ölçeklendirilen perde duvarlarını sarsma tablasında ve sonlu elemanlar metoduyla analiz etmişlerdir. Deney ve analiz sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğunu ve tasarladıkları perdenin iyi bir enerji yutma kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

(Zarnic ve ark.,2001), çalışmalarında, 1999 Marmara Depremini kullanarak 1/4 ölçekli betonarme çerçeve numunelerini sarsma tablası ile test etmişlerdir. Tek katlı ve 2 katlı olmak üzere 2 numune oluşturulmuştur ve deney sonuçları gerçek bir yapı ile karşılaştırılmıştır.

(Candeias ve ark.,2004), yaptıkları çalışmada sarsma tablası üzerinde 1/3 ölçekli 4 katlı ahşap yapıyı test etmişlerdir. Portekiz'deki mevcut yapı stokunun güçlendirmeden önce ve sonra yeterli güvenlikte olup olmadığını tespitini yapmışlardır.

(Nishida ve ark., 2004), yaptıkları çalışmada, sabit eksenel yüke sahip 1/4 ölçekli dairesel, dikdörtgen ve kare kesitli betonarme kolon numunelere sarsma tablasında deney yapmışlardır. Dinamik analizlerini belirlemek için yapılan bu çalışmada numunelere 2'şer farklı analiz yapılmıştır. Numunelerin yer değiştirme ve ivme sonuçlarına ulaşılmıştır. Aynı zamanda numuneler analitik olarak da hesaplanmıştır.

(Climent, 2005), çalışmasında, 2/3 ölçekli 2 adet kolon-kiriş birleşim bölgelerinden oluşan numuneler hazırlayarak sarsma tablasında sabit eksenel yük

altında deney uygulamıştır. Göçme tehlikesi altında kalana kadar deneye devam etmiştir. Deney sonucunda enerji tüketim kapasitelerini belirlemiştir. Çalışmayı hem analitik hem de deneysel olarak araştırmış olup sonuçlar arasında farklılıklarla karşılaşmıştır.

(Öztürk ve ark.,2005), yaptıkları çalışmada, 5 farklı beton sınıfı kullanarak boyutlandıkları betonarme çerçeve sistemlerinin statik, dinamik ve betonarme analizlerini ayrı ayrı yapmış ve elde edilen yapı ağırlığı, periyodu, taban kesme kuvveti ve maksimum yatay deplasman değerlerini incelemiştir. Beton sınıfı artırıldığında, hesaplamalar sonucu kesitlerde küçülme sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak yapı ağırlığı, deprem yükü ve taban kesme kuvveti azaltmaktadır. Yapı ağırlığı azalıp elastisite modülü artarken kesitler küçülerek rijitlikler azalmaktadır. Bundan dolayı periyotlar ve maksimum yatay deplasmanlar önemli derecede artış göstermiştir.

(Mahin ve ark., 2005), çalışmalarında, 6 adet dairesel kesitli sabit yük altındaki kolon numunelerinin sarsma tablası ile deprem yükü altında davranışlarını incelemiştir. Amaçları köprü ayaklarını analiz ederek yeni bir kolon tasarımı oluşturmaktır. Sonuç olarak yeni tasarlanan kolonların mevcut kolonlara göre dayanımları ve rijitliklerinin aynı olduğu görülmüştür. Fakat kayma dayanımı yaklaşık %70 azalmıştır.

(Dolce, 2005), 1/3 ölçekli yapısal modeller üzerinde kapsamlı bir sarsma tablası ile testler yapmıştır. 1. numune çerçeve şeklindedir, 2. numunede çerçevedeki boşluklar duvar ile doldurulmuştur, 3.numunede ise çerçeve boşluklarına çapraz çelik profiller sabitlenmiştir. Bu tez çalışması genel sismik davranış üzerinde önemli faydalar sağladı. Yapısal çökmeye neden olan sismik yoğunluk önemli ölçüde artmıştır, katlar arası ötelenmeler ve kolonlardaki kesme kuvvetleri büyük ölçüde azalmıştır.

(Kaltakçı ve Yavuz, 2008), yaptıkları çalışmada, iki farklı beton basınç dayanımına sahip, sismik detayları yetersiz olan donatı düzeni ile özellikleri aynı 2 katlı ve 2 açıklıklı deprem davranışı zayıf betonarme çerçeve numunesinin tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiş, bulunan sonuçlar SAP2000'de yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında,

farklı beton basınç dayanımında, aynı miktarda ve düzende kolon boyuna donatısına sahip çerçevelerde yatay yük taşıma kapasitelerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

(Ersubaşı, 2008), yaptığı çalışmada, basitleştirilmiş bir sarsma tablası üretildikten sonra yığma yapılarda güçlendirme çalışmalarının deprem esnasında dayanımı nasıl etkilediğini karşılaştırarak araştırmıştır. Bu deney için 1/10 ölçekli, tek odalı model oluşturulmuştur. Güçlendirme teknikleriyle %50 oranında dayanıma katkı sağladığı kanısına varılmıştır.

(Rezaifer ve ark., 2008), çalışmalarında, tam ölçekli duvar numunesine sarsma tablasında dinamik analiz uygulamışlardır. Numuneye farklı ivmelerde sarsma uygulayarak değerler elde etmişlerdir.

(Baran, 2008), çalışmasında, sarsma tablası kurulumu gerçekleştirmiş ve tablanın performansını yapı modeli oluşturarak deneysel olarak test etmiştir. Deney sonuçlarını analiz programlarında elde ettiği verilerle karşılaştırmıştır, tablanın uygun olduğu görülmüştür.

(Bedirhanoğlu, 2009), 11 adet ölçekli betonarme kısa kolona farklı güçlendirmeler uygulayarak sabit yük ve tekrarlı yön değiştiren statik yatay yük altında deprem deneyi yapmıştır. Güçlendirme çeşitlerine göre kıyaslamalar yapılmıştır, genel olarak numunelerden elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

(Açıkyol, 2009), Antakya'da orta katlı yapı stokunu temsil eden üç betonarme bina seçerek zorlanmış titreşim testleri yapmıştır. İki farklı çeşit sarsma tablası ile testleri gerçekleştirmiştir. Sarsma cihazları aracılığıyla belirli frekans aralıklarında yapılara titreşim uygulanarak, yapıdaki tepkiler sensörlerle kayıt altına alınmıştır. Her bina için testlerden elde edilen verilerle yapının hâkim titreşim periyotları, mod şekilleri, sönüm oranları bulunmuş ve program yardımıyla elde edilen dinamik analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır.



(Ji ve ark, 2011), çalışmalarında, yüksek katlı bir yapısal çelik binada çeşitli seviyelerde gerçekçi sismik hasarı simüle etmek için sarsma tablası üzerinde test yapmışlardır. Sarsma tablası testleri sırasında, beton plakalarda, kolon-kiriş bağlantılarında ve yapısal olmayan duvarlarda hasar görülmüştür. Numunenin dinamik özellikleri çıkarılmıştır. Yapının doğal frekansları, artan yapısal ve yapısal olmayan hasar nedeniyle, üç sismik uyarma seviyesinden sonra sırasıyla ortalama %4.1, %5.4 ve %11.9 azalmıştır. Titreşim verilerinin analizi ve mod şekilleri çok az değişmiştir, çünkü hasarın yüksek katlı çerçeve bina için bir kat üzerinde yoğunlaşmak yerine tüm numuneye dağıldığını göstermektedir.

(Yavari,2011), yaptığı çalışmada ölçeklendirilmiş 2 katlı 4 adet çerçeve numuneler hazırlayarak sarsma tablasında deney gerçekleştirmiştir. Numuneleri aynı zamanda analiz de etmiştir. Çalışma sonucunda kolonlarda etriyelerin yetersiz olmasının kesme kırılmaları oluşturduğunu ve dünyadaki yapıların birçoğunun depreme karşı dayanıklı olmadığını belirtmiştir.

(Baran, 2012), yaptığı çalışmada, 1/3 ölçekli, 2 katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveler hazırlamıştır. Farklı kriterlerde dolgu duvar çeşitleri oluşturarak sarsma tablası üzerinde deney gerçekleştirmiştir. Bu sayede tuğla dolgu duvarların deprem etkisi altında yapılarda oluşturdukları davranışları incelemiştir.

(Soysal ve Arıcı, 2013), yaptıkları çalışmada, deprem etkisi altında barajların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde kullanılabilecek malzeme modellerinden biri olan döner çatlak modelini sarsma tablası üzerinde test edilen ölçekli test sonuçları ile kalibre etmişlerdir. Değişik deprem hareketleri altındaki yüklemelerde bu barajın davranışını incelemişler, analiz parametrelerini gerçekçi sismik davranış elde edilmesi açısından değerlendirmişlerdir.

(Ceccotti ve ark., 2013), yaptıkları çalışmada, tam ölçekli yedi katlı bina Avrupa sismik standartlarına göre tasarlanmış 3 boyutlu sarsma tablası üzerinde deprem yüklemesine tabi tutulmuştur. Bina, yeterli süneklik ile birlikte yüksek sertlik sergilemiştir. Testler, kuvvete dayalı yöntemlerle sismik tasarım için faydalı bilgiler sağlamıştır. Yedi katlı bina, üst katlarda ikincil hasara yol açabilecek ve gelecekteki araştırmalarda ele alınması gereken yüksek ivmeler göstermiştir.

(Drosos ve ark.,2014), çalışmalarında Akdeniz bölgesindeki Yunan Tapınakları konusunda deney yapmışlardır. Bu tapınakların çok azı bozulmadan kalmıştır; çoğu ayakta duran çoklu kolonlar şeklindedir. Sarsma Tablası ile birbiri üzerine oturan taşlardan oluşan kolonların sismik kırılabilirliği araştırılmış ve tepkilerini etkileyen temel faktörler hakkında fikir edinmek amaçlanmıştır. Tek kolonlar dikkate değer bir deprem direnci sergilerken iki kolondan oluşan çerçeve sistem daha güçlü bir direnç sergilemiştir.

(Onat, 2015), yaptığı çalışmada, deneysel ve analitik olarak dolgu duvarlı betonarme çerçeve numuneleri incelemiştir. İlk olarak 2 katlı betonarme çerçeve program ile analiz edilmiş ve sarsma tablasında test edilmiştir. Numune, lineer olmayan zaman tanım alanı ile çözülmüştür. Sonrasında 8 katlı, 3 açıklıklı yapının 7. katını kapsayacak şekilde tam ölçekli 2 adet dolgu duvarlı çerçeve numuneler hazırlanmıştır. 2 numuneden birisi aynı olarak diğeri ise güçlendirilerek sarsma tablasında uygulamalar yapılmıştır. Güçlendirilmiş numunenin daha sünek davranış sergilediği ve yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

(Birdal ve ark., 2015), yaptıkları çalışmada, 35 kN faydalı sarsma kapasitesine sahip sarsma tablası deneyleri sonucunda elde edilen ölçümlere bağlı olarak dinamik karakteristikleri hesaplanmış tek katlı betonarme bir yapının 1/3 oranında küçültülmesiyle, doğrulanmış nonlineer dinamik analiz sonuçları ile yapısal tasarımda yaygın olarak kullanılan nonlineer statik itme analizi sonuçlarının karşılaştırılmasını yapmışlardır.

(Göker,2017), yaptığı çalışmada, betonarme kolonların deprem performansını etkileyen parametreleri araştırmıştır. 4 adet kolon numunenin kombinasyonlarını yaparak beton sınıfı, uygulanan kuvvet veya donatı oranlarını değiştirmiştir. Deneysel sonuçların yanı sıra kesitleri program ile çözümlenmiş ve karşılaştırmalarını yaparak sonuçlar çıkarmıştır. Beton dayanımı arttıkça kesit daha gevrek bir davranış gösterirken, beton sünek bir davranış sergilediğinde deprem kuvvetini sönümleyebilmekte olduğunu belirtmiştir. Moment taşıma kapasitesinin artırılması yani gevrek davranış için beton dayanımı ve boyuna donatı oranının artırılması gerektiğine, sünek davranış için ise enine donatı oranının artırılması gerektiğine değinmiştir.

(Şahin ve ark., 2017), yapmış oldukları çalışmada, 6 katlı gerçek bir betonarme yapıyı ölçeklendirerek, ölçekli yapısal model oluşturmuşlardır. Ölçekli model yapıya ait sarsma tablası deneyleri, ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının etkisi altında gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve model yapıya ait tepe noktasındaki maksimum yatay yer değiştirmelerin teorik ve deneysel değerleri karşılaştırılmış, sayısal sonuçlarla laboratuvar ölçümlerinin yakın olduğunu belirtmişlerdir.

(Karaahmetli ve Dündar, 2017), yaptıkları dinamik analiz çalışmasında, çelik malzemelerden üretilmiş çok serbestlik dereceli bir yapının serbest ve zorlanmış titreşim deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Farklı statik yük ve ön deplasman koşulları altında dinamik deneyleri gerçekleştirilen yapı modelinin, farklı hesaplama yöntemleri ile sönüm oranları belirlenmiş ve yapı sönüm oranının bu koşullar altında değişimine ulaşmışlardır. Belirlenen sönüm oranları ile sayısal analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılarak, sönüm oranı belirleme yöntemlerinin yapının gerçek dinamik davranışının simülasyonu için uygunluklarını araştırmışlardır.

(Graziotti ve ark., 2017), çalışmalarında, iki katlı tam ölçekli donatısız yığma bir bina üzerinde sarsma tablası testi gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulacak bina, boşluk duvarları ile ve herhangi bir özel sismik tasarım veya detaylandırma olmadan inşa edilmiştir. Test edilen numunedeki taşıyıcı duvarlar, iki betonarme zemini destekleyen kalsiyum silikat tuğlalardan oluşuyordu. Numunenin çökmeye yakın sınır durumuna kadar artımlı bir dinamik test gerçekleştirilmiştir. Çalışma, binanın özelliklerini açıklamakta ve yapının tepkisini, hasar mekanizmasını ve deneysel aşamalardaki gelişimini gösteren malzeme karakterizasyonu ve sarsma tablası testleri sırasında elde edilen sonuçları sunmaktadır.

(Grgic ve ark.,2017) yaptıkları çalışmada, etriyelerin deprem sırasında betonarme kolonlara etkisini sarsma tablası aracılığıyla incelemişlerdir. Test sırasında deprem ivmeleri kademeli olarak artırılmıştır. Depreme benzer kolonların tepesindeki yer değiştirmeler ve ivmeler ile betondaki şekil değiştirmeler, karakteristik noktalardaki etriyeler her sarsma tablası uyarılması sırasında ölçülmüştür. Beton kolondaki etriyeler arasındaki mesafenin, betondaki çatlama bölgesinin boyutunun yanı sıra çatlakların

sayısı, yeri, aralığı ve genişliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sık etriyelere sahip kolonun tepesindeki maksimum yer değiştirmeler biraz daha küçüktür ve bu nedenle betondaki çatlak bölgesi ve çatlak genişliği önemli ölçüde azalmaktadır.

(Ghafoor, 2018), çalışmasında sarsma tablası üzerinde farklı yapı modelleri tasarlayıp ANSYS programını kullanarak simüle etmiştir. Ayrıca modeller, harmonik yükler ve deprem yükleri de dâhil olmak üzere dinamik yükler altında test edilmiştir. Tezin ilk bölümünde, tek katlı-tek bölmeli bina sarsma tablalı model olmak üzere iki model ve üç katlı perde duvar betonarme bina ile sarsma tablalı model için modal analiz yapılmıştır. Doğal frekanslar elde edilmiş olup tek katlı bina için sarsma tablalı model, sabit tabanlı modele göre daha rijittir ve sarsma tablası tabanlı model daha büyük frekans değerleri vermiştir. Üç katlı perde duvarlı bina için, sabit tabanlı model, sarsma tablalı temel modelinden daha rijit olduğu için sabit tabanlı modele göre daha yüksek frekans değeri vermiştir.

(Ağcakoca, 2019), yaptığı çalışmada, balsa ağacından 30 katlı bina yaparak sarsma tablasına yerleştirmiş, yapının dinamik karakteristiklerini belirlenmeye çalışmıştır. İvme ölçeri yapının üstüne yerleştirmiş ve elde edilen değerler sayesinde çatı ivme-deplasman değerlerini hesaplamıştır. Yapılan deneysel çalışmada, nümerik analizi Sap2000 programı ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi sayesinde yapmıştır. Deneysel çalışma ve nümerik analiz sonuçlarından elde edilen ivme, hız ve yer değiştirme değerleri kıyaslandığında, oluşturulmuş sonlu eleman modelinin deneysel model davranışına yakın olduğu kanısına varılmıştır.

(Deneyen, 2021), yapmış olduğu çalışmada, 1/3 ölçekli 2 adet özdeş kolon numuneleri üzerinde uygulanan yarı-statik deney yöntemi ile sarsma tablasından elde edilen sonuçları kıyaslamıştır. Sonuç olarak 2 deney türünde de numuneler aynı sonucu göstermiştir. Tersinir- tekrarlanır yatay yükleme deney yöntemi, yapının yatay yük altındaki davranışının anlaşılmasını sağlarken sarsma tablasında uygulanan deney sonucu ile dinamik karakteristiklere ulaşmanın daha uygun olduğu kanısına varılmıştır.

### 3. BETONARME YAPILARDA BETON BASINÇ DAYANIMI

Beton, bilindiği üzere ülkemizde ve dünyada yapıları oluşturan temel malzemelerden biridir. Hatta betonun etkisi ve kullanımı diğer malzemelere göre son derece kritik bir yere sahiptir. Beton hazırlanmadan önce agrega, su ve çimentonun bulunduğu koşullar betonun kalitesinde direkt etkiye sahiptir. Kaliteyle birlikte yapıların güvenliği orantılıdır. Betonun kalitesi diye bahsedilen kavramların en başında beton basınç dayanımı gelmektedir. Beton basınç dayanımı, betonun sınıfı anlamına gelmektedir, betonun kimlik numarası olarak da adlandırılabilir.

Betonun basınç kuvvetine dayanabileceği en yüksek kuvvet yani eksen yönünde maruz kaldığı basınç yüklerine karşı göstermiş olduğu direnç, betonun basınç dayanımı olarak tanımlanır. Bir başka tanımla betonda oluşan yük miktarının sebep olabileceği kırılmalara ve şekil değiştirmeye karşı gösterdiği mukavemete denilmektedir. Kaliteli bir beton arıyorsak ilk yapmamız gereken beton basınç dayanımı hakkında bilgi edinmemizdir.

Beton basınç dayanımı değeri ile betonun sınıfına ulaşılır. Betonun mekanik özelliklerinin en yüksek değeridir. Tüm olumlu özelliklere paralellik gösterir. Beton basınç değerine ulaşmış betonda çatlaklar, kırılmalar ve parçalanmalar oluşur.

“Beton basınç dayanımı, bakımı ilgili standardına göre yapılmış, 28 günlük, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart beton silindir numunenin, ilgili standardında belirtilen hızla uygulanan tek eksenli basınç altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeridir.” (TS500)

Betonun basınç dayanımı silindir numunelerin 28 günlük süre sonunda 150 mm çap ve 300 mm yüksekliğe sahip olan standart deney silindirleri ile ilgili metotlara uygun şekilde yapılarak elde edilir. Basınç dayanımı standart küp numuneleri ile de hesaplanabilir.

Beton basınç dayanımı; kırılma yükünün, numune alanına bölünmesiyle elde edilir. Birimleri genellikle MPa ve N/mm<sup>2</sup>, bazen kgf/cm<sup>2</sup>'dir.

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

TBDY 2018'e göre betonarme binalarda beton basınç dayanımının en düşük değeri C25 olmalıdır.

Betonun basınç dayanımı yüksek fakat çekme dayanımı düşüktür, bunun nedeni ise gevrek bir malzeme olmasıdır. Betonun çekme dayanımı basınca göre çok düşük olduğundan en önemli niteliği basınç dayanımıdır. Eğilme, çekme dayanımları da basınçla orantılı olduğundan bu oran sayesinde diğer dayanımlar hakkında da öngörü yapılabilir. Yani betonun tüm özellikleri birbiriyle bağlantılıdır.

### 3.1. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler, çimento miktarı, su/çimento oranı, agrega özellikleri (agreganın cinsi, granülometrik bileşimi, maksimum tane büyüklüğü, geometrik özelliği), çimentonun kalitesi, taze betonun kompazitesi, katkı maddesi türü ve miktarı, kür şekli (ortamı) ve sertleşme yaşı, karışımın hazırlanıp kalıba yerleştirme biçimi ve laboratuvar çalışmaları test yöntemleridir. (İstanbulüoğlu,1988)

Beton basınç dayanımını doğrudan etkileyen faktörleri ele aldığımızda;

Çimento ve su bağlayıcı hamur oluşturarak agregaları birbirine bağlamaktadır. Bağlayıcı hamurun, agregalar arası boşlukları doldurması beton dayanımına etki eder. Beton kütesine yük uygulandığında en zayıf yerinden yani bağlayıcı hamurdan kırılır. Bağlayıcı hamurun yeterliliği ve sağlamlığı büyük ölçüde çimento miktarına bağlıdır. Betondaki çimento miktarı belirli düzeyde arttıkça betonun dayanımı da artacaktır.

Çimentonun prizinden (hidratasyonundan) sonra betonun akıcı olması için konulan su buharlaşmaya başlar, betonda boşluklar oluşur. Betondaki bu boşluklar dayanımını düşürür. Beton daha akıcı olsun diye su/çimento miktarı fazla olan betonda ise betonun dayanımı düşük olur. Yani su miktarı beton basınç dayanımını doğrudan etkiler eksik veya fazla olması beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkileyecektir.

Agregalar da beton basınç dayanımını doğrudan etkilemektedir. Bunlar; agregadaki önemli genişleme ve büzülme, yüzey yapısı, temizliği ve kimyasal dayanıklılığı, kolay reaksiyon oluşturan agregalar, içerisinde kil, silt, tahta parçaları, kimyasal tuzlar, yumuşak elemanları kapsayan agregalar, ince uzun veya ince sivri uçlu agrega tanecikleri beton dayanımını düşürecektir. Agreganın yüzeye dik çıkıntılarının olması karışıma daha iyi bağlanmasını sağlayarak beton basınç dayanımını artıracaktır (İstanbulüoğlu,1988).

Beton dayanımına etki eden diğer faktörler arasında suyun kalitesi ve uygunluğu, su/çimento oranı, çevre etkisi olarak tuz ve sülfat, akışkanlaştırıcılar, betonun üretimi, dökümü ve bakım şartları yer almaktadır.

Beton dayanımını etkileyen doğadaki bazı etkenler de bulunmaktadır. Dayanma kabiliyeti yüksek beton malzeme, maruz kalacağı hava şartları, ıslanma-kuruma, kimyasal faktörler, yangın ve aşınmalara karşı istenen yeterlilikte dayanıklılık gösterebilen betondur.

Dayanım sonuçları betonun “gerçek dayanımını” değil de “muhtemel dayanımını” vermektedir. Ayrıca aynı betondan alınmış standart numuneler, aynı şekilde saklanıp test edilse bile dayanım sonuçları arasında farklılıklar çıkmaktadır. Bu farklılıkların sebepleri birçok nedene dayanmaktadır (Tangüler,2014).

Betonun basınç dayanımını tek bir numune ile belirlemek beton gibi kompozit ve heterojen bir malzeme için hatalı olacaktır. Herhangi bir beton karışımının basınç dayanımı birden fazla numune ile istatistiksel bazı yaklaşımlarla belirlenir. Betonun içerisindeki su miktarı bile birçok nedenden dolayı değişiklik gösterebilirken karıştırması, taşınması, dökülmesi, sıkıştırılması vb. birçok nedenden dayanım etkilenmektedir (Tangüler,2014).

### **3.2. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi Yöntemleri**

#### **3.2.1. Taze Betondan(Transmikserden) Numune Alarak Beton Basınç Dayanımı Belirleme Yöntemleri**

Yönetmelik ve standartlara uygun şekilde beton dayanımını belirlemek için ülkemizde genellikle küp numuneler kullanılır, beton dökümü yapılırken küp numunelere betondan numuneler alınır, 7 ve 28 günlük beton basınç deneyi yapılır ve beton basınç dayanımı hesaplanmış olur (tek eksenli basınç altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeri). 7. günde beton basınç dayanımı yapılma nedeni betonun dayanımının yaklaşık %70'ini sağlayıp sağlamadığını tespit etmektir. Bu şekilde 28 günlük dayanım değerlerinde sorun çıkıp çıkmayacağı anlaşılabilir ve beton basınç dayanımı belirlenir.

Betonun standart basınç dayanımı küp numunelerin yanı sıra silindir numunelerle de bulunabilir. 28 gün suda bekletilmiş çapı 150 mm, uzunluğu 300 mm olan silindirik numunelerin tek eksenli basınç altında taşıyabildiği en büyük gerilme değeri bulunarak hesaplanmış olur. Uygulama kolaylığı açısından deney için alınan numuneler genellikle silindir değil de 150x150x150 mm küp tercih edilir.

Beton sınıflandırması, C25/30 olan bir betonun ( $f_{c,sil}/f_{c,küp}$ ) silindir basınç dayanımı 25 MPa, küp basınç dayanımı 30 MPa demektir.

25 yıl öncesine kadar standart numune olarak küp şekli kullanılırken şimdilerde yerini silindir numuneye bırakmıştır. Avrupa Beton Komitesi (CEB) ve Amerika B. D. silindir numuneyi standart beton numunesi olarak kabul etmiştir. Bu kabulün belli başlı nedenleri küp numunelerin yüzey alanı ve dayanımı silindir numunesine göre daha büyüktür yani küp numuneyi kırmak için daha büyük basınç dayanımı uygulanmalıdır. Küp köşeli olduğu için köşelerinde büzülme (rötre) oluşur ve gerilme yığılmalarına neden olur (Ararat,2015).

Çizelge 3. 1 Beton sınıfları ve dayanımları (TS500, Sf. 12)

BETON SINIFI	Karakteristik Basınç Dayanımı $f_{ck}$	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı $f_{ctk}$	28 Günlük Elastisite Modülü $E_c$
	MPa	MPa	MPa	MPa
C16/20	16	20	1,4	27000
C18/22	18	22	1,5	27500
C20/25	20	25	1,6	28000
C25/30	25	30	1,8	30000
C30/37	30	37	1,9	32000
C35/45	35	45	2,1	33000
C40/50	40	50	2,2	34000
C45/55	45	55	2,3	36000
C50/60	50	60	2,5	37000



### **3.2.2. Yerinde (Sertleşmiş Betondan) Beton Basınç Dayanımı Belirleme Yöntemleri**

Tahribatlı ve tahribatsız yöntemler olmak üzere iki yöntem çeşidi ile yerinde beton basınç dayanımı belirlenebilir.

#### **3.2.2.1. Tahribatlı Yöntemler (Karot Yöntemi)**

Bilindiği üzere tahribatlı yöntemler uygulanan kısma zarar vermektedir, zarar gören kısım mutlaka onarılmalıdır. Tahribatlı yöntemlerde hata yapma payı oldukça düşük olduğu için betonla ilgili en yakın değerleri doğrudan elde ederiz. Tahribatlı yöntemler maliyetlidir ve tekrarlanamaz.

Tahribatlı deneyler doğru uygulanmaz yani bir hata oluşursa yapı için tehlikeli durumlar oluşabilir. Tahribatlı yöntem deneyleri; gömülü numune kullanma deneyi ve karot alma deneyleridir (Ergün ve Kürklü,2005).

Gömülü numune kullanma deneyi döşeme betonlarının dayanımını belirlemek için kullanılır. Döşemeye standart silindir kalıp yerleştirilir ve betonun dökümü sırasında silindir kalıp da döşemeye birlikte betonla doldurulur. Bu şekilde betonun hiçbir değişiklik geçirmeden aynı şartlara sahip olması sağlanmıştır. Delme ya da kesmenin dayanımı etkileme ihtimali engellenmiş olur (Akçay, 2000).

Karot alma deneyi, yapıların hizmet ömrünün biçilmesi, kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Betonun karakteristik basınç dayanımını belirlemek istiyorsak, en yakın yani doğru değerleri karot alımı ile deney sonucu elde edebiliriz.

Karot yöntemini kullanmamızın başlıca nedenleri arasında transmikserden (taze betondan) alınan numunelerin dayanımının projedeki değerden düşük çıkması veya hiç numune alınmamış olması, üretici ve yapı denetim arası uyumsuzluk, betonun sertleşme esnasında maruz kaldığı durumlar veya deprem gibi yapıyı olumsuz etkileyecek durumlar, güçlendirme yapılması gibi durumlar yer alır.

Karot alma işlemi alınan yere zarar verdiği için dikkatli yapılması gereken bir uygulamadır. İdeal şekilde karot almak için karotlar en uygun (yapıya en az zarar verilecek) yerlerden, ideal ebatlarda, analiz için minimum aynı zamanda yeterli sayıda, 28 günü geçirmiş, tesisatlara zarar vermeyecek şekilde alınmalıdır.

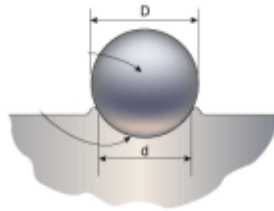
Numune çapı ve yüksekliği, numunenin alınan yönü ve yeri, betonun yaşı içindeki donatı, karbonatlaşma durumu, karotun nemi ve hızı karot alınan numunenin dayanımını etkilemektedir.

### 3.2.2.2. Tahribatsız Yöntemler

Tahribatsız yöntemler sertleşmiş betonlarda beton basınç dayanımını belirlemede kullanılırlar ve belirlenecek yapıda herhangi bir zarar oluşturmazlar.

Tahribatsız yöntemlerin başlıca deneyleri; sertlik ve iz ölçümü deneyleri, çekip çıkarma deneyi, penetrasyon deneyi, rezonans frekans tekniği, mekanik ses dalga hızı tekniği ve ultra ses hızıdır (Ergün ve Kürklü,2005).

Sertlik deneylerinden (İz ölçme ve Beton çekici) olan iz ölçme yöntemi, metal sertliklerin ölçülmesi yöntemi betona uyarlanmış olup bu şekilde geliştirilmiştir. Çelik bilye beton yüzeyine konulduktan sonra bilyeye darbe yükü uygulanır ve beton yüzeyinde oluşan izin çapı ölçülür, beton basınç dayanımı iz çapı ile dayanım arasındaki ampirik bağıntı ile hesaplanır (Şekil 3.1.) (Durmuş, 1996).

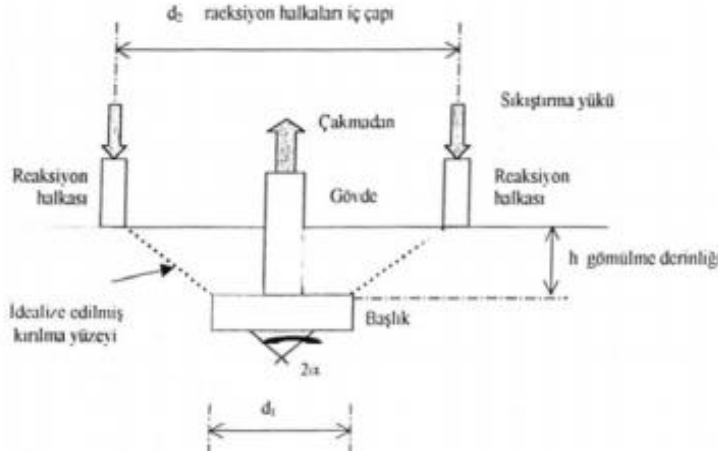


Şekil 3. 1 İz ölçme deneyi (Brinell sertlik deneyi) (Çelik ve Taşdemir,2017)

Sıçrama tekniğinde esas mantık ise cismin dayanımı ne kadar yüksekse o kadar da serttir şeklindedir. Schmidt çekici adı verilen ölçüm aletinin uygulanabilmesi için yüzey düz, kuru, temiz olmalıdır, beton yüzeyinde sıva, boya, toz, yağ gibi maddeler bulunmamalıdır. Beton çekici sadece gözeneksiz betonlarda uygulanabilir (İlhan, 2000).

Çekip çıkarma yöntemi deneyinde, yapıdan veya beton numunesinden genişlemiş başı ile yerine konmuş metali çekmek için gerekli son yük ölçülür. Beton yüzeyine karşı oluşan kırıko ile uygulanan çekme yükü, reaksiyon halkasına doğru, ortak merkezli yerleştirilir. Yerleştirilen parça çekildiğinde düzgün yüzey oluşur. Gömme derinliği ve başlık çapı eşit olmalıdır (Şekil 3.2.).

Çekip çıkarma yönteminde betona gerilme analizine izin veren statik yükleme uygulanır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, beton kırıldığında ve herhangi bir kırık gelişmeden önceki gerilmeler hesaplanır (Akçay, 2000).



Şekil 3. 2 Çekip çıkarma aleti şekli ve deneyin şematik gösterimi(Ergün ve Kürklü,2005)

Penetrasyon deneyinde betonun içine giren sertleşmiş özel olarak tasarlanmış çelik bir tabanca kullanılır (Şekil 3.3.). Çelik çubuğun (sondanın) girme miktarı beton dayanımını belirlemede son derece önemlidir. Sondaların betonun içine girmeyen bölümü ölçülür (Şekil 3.4.). Penetrasyon deneyi beton çekiç deneyi ile birbirine benzemektedir fakat teorik analizleri penetrasyon deneyinin daha karışıktır (Ergün ve Kürklü,2005).



Şekil 3. 3 Penetrasyon deneyinin uygulanması (Erdal ve Şimşek,2006)



Şekil 3. 4 Sondanın beton yüzeyi dışında kalan kısmının ölçülmesi (Erdal ve Şimşek,2006)

Rezorans frekans tekniği deneyi yapay titreşimlerin sürekli oluşmasıyla malzemenin rezonans frekansı belirlenir, buna bağlı olarak ilgili bağıntılar ile betonun dinamik elastisite modülü, poisson oranı hesaplanır. Sonrasında beton basınç dayanımı dinamik elastisite modülü – dayanım bağıntısıyla bulunabilir.

Mekanik ses dalga hızı tekniği deneyi, darbeler sonucu oluşturulan ses dalgalarının beton içinden geçiş süresinin ölçülmesi ile bulunur. Alıcı-verici arasındaki mesafeye ulaşılır, geçiş hızına çevrilir ve bu hızla dayanım arasında kurulan ampirik bağıntı ile beton basınç dayanımı tahmin edilebilir (Durmuş, 1996).

Ultrases hızı tekniği deneyi, betona gönderilen vibrasyonel enerjinin hızının ölçülmesidir. Beton elemanın içerisinden geçen ses üstü dalgasının hızı ile beton basınç dayanımı arasında doğrudan bir ilişki olmasa da betonun yoğunluğu ile ilişkilidir. Yoğunluğu az olan yani içinde çok boşluk bulunan betonda, ses üstü dalgasının diğer yüzeye ulaşması uzun sürecektir. Bu durum basınç dayanımı düşük demektir (Erdoğan, 2003).

Görüldüğü gibi hasarsız deney yöntemleriyle yapılan ölçümlerde, betonun sahip olduğu yüzey sertliği, elastiklik, yoğunluk gibi bazı özelliklerden yararlanılarak sayısal değerler elde edilmektedir. Bu sayısal değerler ile birlikte deney yöntemleri uygulanarak beton basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlenmektedir (Erdoğan, 2003).

Tahribatsız yöntemlerden hangisi kullanılırsa kullanılsın elde edilen sonuçlar sadece fikir sahibi olmamızı sağlayacaktır. Referans almamız gereken değerler olmadıktan sonra tahribatsız yöntemlerle elde edilen değerler sonuç belirtmemiz ve karar vermemiz için yeterli olmayacaktır. Dolayısıyla sağlıklı sonuçlar elde etmek için tahribatlı yöntemlere de ihtiyaç duyulacaktır.

### **3.3. Betonarme Yapılarda Beton Basınç Dayanımının Önemi**

Betonun basınç dayanımı, betonun mekanik dayanımları içerisinde en önemli olanıdır. Beton basınç dayanımı betonun diğer mekanik özellikleri arasında en büyük değere sahiptir ve beton sınıfını, kalitesini, taşıma gücünü yani buna bağlı olarak yapının tüm hesaplamalarını etkilemektedir. Betonarme yapıda basınç dayanımı ne kadar yüksekse yapının dayanıklılığı yani ömrü de aynı oranda artacaktır.

Beton basınç dayanımının önemini sıralayacak olursak:

Basınç dayanımının belirlenmesi ile betonun farklı özellikleri hakkında bilgiye ulaşılabilir. Düşük basınç dayanımı, fazla su geçirirliliği ve az dayanıklılık demektir.

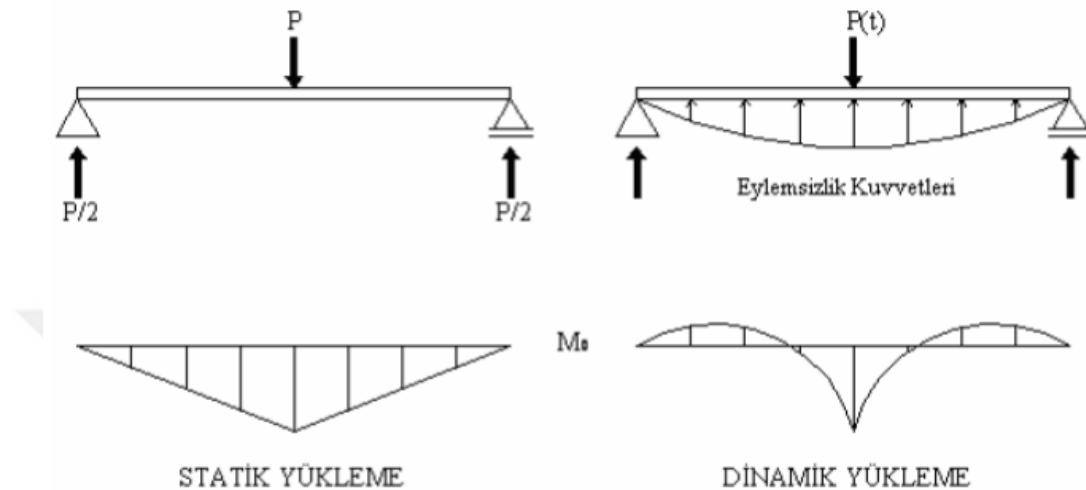
Betonun basınç dayanımı, diğer mekanik dayanım türleri için bir ölçüt olarak kabul edilebilir. Basınç dayanımı ile çekme dayanımı, eğilme dayanımı değerleri ile ilişkilidir. Basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında 10 kat farklılık söz konusudur.

Bütün yapılarda betonun basınç dayanım değerleri esas alınır, betonun çekme, eğilme, yorulma gibi bazı farklı yüklerin etkisinde kalmayacağı varsayılmaktadır. Çünkü beton basınç dayanım değeri diğer değerlerden büyük çıkmaktadır.

Beton dayanımının proje için hesaplanan değerinden küçük olması depremde ortaya çıkabilecek hasarların en büyük sebebidir. Bir yapıda beton basınç dayanımı düşük ise donatı yerleştirmesi veya hesaplaması ne kadar uygun olursa olsun yapı depremde son derece tehlikeli olur. Beton sınıflandırılması beton basınç dayanımı değerleri ile yapılmaktadır.

#### 4. DİNAMİK YÜKLER

Dinamik yük, zamana bağlı olarak büyüklüğü değişen yük demektir (Şekil 4.1.). Yapıya aniden etkiyip kısa sürede büyük değişim gösteren yük (kuvvet) olarak da tanımlanabilir. Dinamik yük atalet etkilerine neden olur. Öncesinde tahmin edilmesi ve yük değerinin tespit edilmesi de oldukça zor olan yüklerdir.



Şekil 4. 1 Statik ve Dinamik yükleme (Gül, 2006)

Dinamik yükler deterministik veya deterministik olmayan yükler olarak ikiye ayrılır. Deterministik yükler zamanın fonksiyonları olarak tanımlanırken ve tahmin edilebilirken, deterministik olmayan yükler (deprem kuvveti, rüzgâr kuvveti vb.) zamanın fonksiyonları olarak tanımlanmaz ve yükler matematiksel çözümlerle bulunur.

##### 4.1. Yapılara Etkiyen Dinamik Yükler (Kuvvetler)

Yapılara etkiyen dinamik yükler; deprem yükleri, rüzgâr yükleri, ani yükler, titreşimli makine yükleri, sıcaklık değişiklikleri, toprak itkisi gibi hareket halindeki yüklerdir. Bunlardan deprem yükleri, rüzgâr yükleri, toprak itkisi ve sıvı yükü yapıya yatay olarak etkir.

Yapıya etkiyen yüklerin yapının hangi bölümünde etki oluşturacağı değişmektedir. Yapıya gelen yükler tam olarak belirlense bile hepsinin aynı anda etki ettiği göz önünde bulundurularak çözümleme yapılamaz. Çünkü yapılan çözümün en elverişsiz durumunu yansıtmaz. Yük kombinasyonları bütün bu etkilerin en elverişsiz durumlarının hesaplanabilmesi için uygulanır. Yük kombinasyonlarındaki katsayılar, yüklerdeki belirsizlik etkilerini hesaba katmak için kullanılırlar. Yük kombinasyonlarının yapıya uygulanmasından sonra kritik kesitlerdeki en elverişsiz kesit etkileri bulunur. Bulunan kesit etkilerine göre yapının hesaplamaları yapılır (TS500:2000).

Düşey Yük Kombinasyonları (Denklem 4.1 ve Denklem 4.2);

$$P_d = 1.4 G + 1.6 Q \quad (4.1)$$

$$P_d = 1.0 G + 1.2 Q + 1.2 T \quad (4.2)$$

Yatay Yük Kombinasyonları:

Deprem Etkisi (Denklem 4.3 ve Denklem 4.4);

$$P_d = 1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 E \quad (4.3)$$

$$P_d = 0.9 G \pm 1.0 E \quad (4.4)$$

Rüzgâr Etkisi (Denklem 4.5 ve Denklem 4.6);

$$P_d = 1.0 G + 1.3 Q + 1.3 W \quad (4.5)$$

$$P_d = 0.9 G \pm 1.3 W \quad (4.6)$$

Zemin Etkisi (Denklem 4.7 ve Denklem 4.8);

$$P_d = 1.4 G + 1.6 Q + 1.6 H \quad (4.7)$$

$$P_d = 0.9 G \pm 1.0 H \quad (4.8)$$

#### 4.1.1. Deprem Yükleri

Yerkabuğu üzerinde fay adı verilen kırıklar bulunur ve üzerinde enerji birikmesi sonucu enerjinin aniden ortaya çıkmasıyla titreşimler dalgalar halinde yayılarak yeryüzünü sarsarlar, bu olaya deprem denir.

Deprem, zeminden yapının temeline etkimektedir, bu şekilde üst yapıyı sarsmaya neden olur. Yapının taşıyıcı sistemi deprem sonucu sarsmalara karşı güvenli olacak hesaplamalarla yapılmaktadır. Deprem sırasında yapı hareket ederken ivme kazanmış olur ve yatay deprem hareketleri oluşur.

Depremde açığa çıkan enerji, yer altında zemin katmanlarından geçerek yapının temeline ulaşır ve yapıda x, y ve z yönünde hareketlere neden olur. Taşıyıcı sistemlerin düşey yük taşıma kapasitesi yani düşey yönde emniyet faktörü büyüktür, özel durumlar dışında, z doğrultusundaki hareketler ihmal edilir. x ve y doğrultusundaki yer hareketleri taşıyıcı sistemde ivmeler oluştururlar. Bu ivmeler taşıyıcı sistem içinde,  $F = m \times a$  hesabıyla deprem kuvvetlerinden oluşur. (Ersoy ve Özcebe,2001)

Ülkemizde yapılarda deprem hesaplamaları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) ile hesaplanır.

TBDY2018 ile birlikte çeşitli hesap yöntemleri bulunmaktadır. Yapılarda deprem hesap yöntemlerinin hangisinin kullanılacağına değinirsek, yapıların yükseklik (BYS) ve deprem tasarım sınıflarına (DTS) bağlı olarak;

Dayanıma göre tasarımda deprem yükü hesap yöntemleri:

- Eşdeğer deprem yükü yöntemi,
- Mod birleştirme yöntemi,
- Zaman tanım alanında hesap yöntemi,

Şekil değiştirmeye göre tasarımda deprem yükü hesap yöntemleri:

- Doğrusal olmayan itme yöntemleri (Tek modlu itme yöntemleri, çok modlu itme yöntemleri)
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak hesaplamalar yapılabilir.

#### **4.1.1.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi**

Eşdeğer deprem yükü yönteminde çok yüksek olmayan yapılara etkiyen deprem yükleri, taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve perdelerden oluşan yapının kat hizaları seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Bu yatay yüklerin, binanın birbirine dik iki doğrultuda ayrı ayrı etkidiği varsayılarak, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kesit tesirleri bulunmaktadır (Terzi ve Elçi,2009).

#### **4.1.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi**

Mod birleştirme yöntemi yapının davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan etkisinin ayrı ayrı bulunmasından sonra bu modların ilgili formüllere uygun şekilde birleştirilmesi ile hesaplanır (Terzi ve Elçi,2009).

#### **4.1.1.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi**

Zaman tanım alanında hesap yönteminin çözümü zaman almakta olup, yapının dinamik analizi gerçek deprem kayıtları ve onu temsil edebilecek kayıtlar kullanılarak hesaplanır. Nükleer santraller vb. çok önemli yapıların tasarımında TBDY2018 bu yöntemin kullanılmasını önermektedir (Terzi ve Elçi,2009).



Zaman tanım alanında hesap yöntemini diğer yöntemlerle kıyasladığımızda sonuçları hakkında yorum yapmak daha zordur. Yapı davranışı incelenerek taşıyıcı sisteme etki eden ivme kaydının belirli aşamalarla uygulanmasıdır. Uygulama boyunca zaman artımı gerçekleştikçe taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklükleri oluşturan depremin en büyük değerleri belirlenir. Bu yöntemde kullanılan ivme kayıtları, yapay yollarla üretilmiş, daha önceden kaydedilmiş deprem yer hareketleri ile de belirlenebilir (Krawinkler ve Seneviratna,1998).

#### **4.1.1.4. Doğrusal Olmayan İtme Yöntemleri**

Doğrusal olmayan itme yöntemleri, tek modlu itme yöntemleri ve çok modlu itme yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek modlu itme yöntemleri ise sabit tek modlu itme yöntemi ve değişken tek modlu itme yöntemi olmak üzere ayrılır.

Doğrusal olmayan itme analizleri, yapının yatay olan deprem yükleri altında dayanımını ifade eden kuvvet-yer değiştirme kapasite eğrisinin elde edilmesinde kullanılır. Kapasite eğrileri kat seviyelerinde artımsal yatay yükler uygulanarak, yapının stabilitesi bozuluncaya veya sınır yer değiştirme değerine ulaşıncaya kadar devam edilir. (FEMA, 2005).

#### **4.1.1.5. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi**

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapıya deprem kuvveti doğrudan verilerek yapılır, yerdeki hareketin zaman tanım alanındaki ivme kaydı ile belirlenir (FEMA, 2005). Depremin tersinir etkisini de hesaba kattığı için deprem anındaki yer değiştirme değerlerinin gerçek değerlerini bulur. (Li, 1996). Ancak uygulamadaki zorlukları sebebiyle tam olarak doğru sonucu veremese de doğrusal olmayan artımsal itme yöntemlerinin kullanımı daha yaygındır. Doğrusal olmayan analizler içinde en gerçekçi analizdir. Bu analizin zahmetli ve karmaşık olmasından dolayı yapıların performansa bağlı analizlerinde artımsal itme analizlerinin kullanılması önerilmektedir. (Korkmaz ve Düzgün,2007)

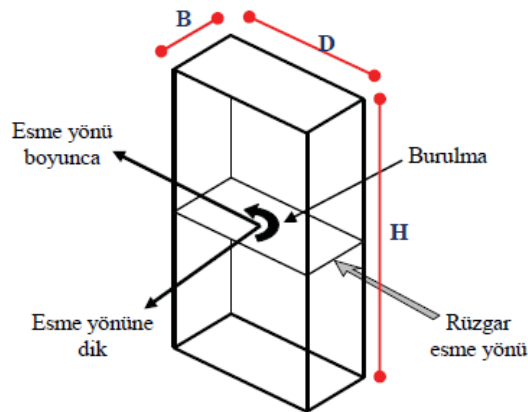
Doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizlerde, depremlere ait kesin ivme kayıtları kullanılmaktadır. Önemli birkaç yanal yer değiştirme moduyla yapının sismik davranışı belirlenmektedir. Matematiksel olarak doğrudan entegrasyon

modeliyle zaman tanım alanında analiz yapılabilmektedir. Bu entegrasyon yöntemi en doğru sonuçları veren yöntemdir. Bu yöntemde, dinamik yükler yapıya  $\Delta t$  zaman aralıklarında artımsal olarak etkir. Zaman tanım aralığında denklemlerin çözümü sayısal analiz olarak doğrudan entegrasyon ile yapılmaktadır (Korkmaz ve Düzgün,2007).

#### 4.1.2. Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr, atmosferdeki havanın dünya üzerinde yüzeye yakın ve paralel, doğal ve genellikle yatay olarak oluşan hareketleridir. Rüzgâr, atmosfer basınçlarının bölgeler arası değişmesiyle, alçak ve yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır. Hareket yüksek basınçtan alçak basınç alanına doğru olmaktadır. Yapılarda küçük düzenlemelerle rüzgâr kuvveti büyük ölçüde azaltılabilir. Örneğin binanın köşeleri yuvarlanabilir. Rüzgâr yükünün birimi  $kN/m^2$  dir.

Rüzgâr yükü, yüksek olmayan yapılar için statik yük olarak kabul edilir. Rüzgâr yükü basınç ve emme kuvveti oluşturmaktadır, yapının rüzgâr yönünde çarptığı yüzeylerinde basınç kuvveti oluşturur. Basınç ve emme kuvveti, rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlı olarak değişir (Şekil 4.1.). Rüzgâr hızı alçak seviyelerde artarak devam ederken yükseldikçe hızı sabit devam eder (Uzun ve Çöğürçü,2019).



Şekil 4. 2 Dikdörtgen kesitli yapının rüzgâr esme yönüne göre sergilediği davranış (Yiğit ve İnal,2011)

İlk yüksek binaları oluşturan yığma taş duvar yapılar, sonrasında rijit çerçeveli yapılar, yapıların ağırlığından dolayı rüzgârın oluşturduğu yatay yüklerden fazla etkilenmemişlerdir. Kolonların sıklığı, boyutları büyük çerçeve elemanlar ve duvarların ağırlığı rüzgâr probleminin etkisini azaltmaktadır. Yıllar ilerledikçe ağırlığı az yüksek binalar, çelik çerçeve yapılar rüzgâr etkisini artırdı. Yapının kendi ağırlığını azaltmak, geniş ve esnek alanlar için uzun kirişler, yük taşımayan hareketli iç bölmeler ve perde duvarlar geliştirildi. Rijitlikleri azalan taşıyıcı sistemler rüzgâr kuvvetinin bir problem olmasına neden oldu (Bayır,1998).

Dinamik bir yük olan rüzgâr etkisi taşıyıcı sisteme(cismin geometrisine), rüzgâr hızı ve havanın özgül ağırlığına, komşu binaların dizilişine göre değişiklik gösterebilir. Zeminin engebese rüzgârın hızını azaltıp hızı azalan hava kütlesi de daha üstteki hava tabakasının hızına azaltmaktadır. Yüksekliğin arttıkça bu etki azalır, belirli bir yükseklikten sonra ise, zeminin engebese rüzgâr hızını hiç etkilememeye başlamaktadır. Gradyan yükseklik bu duruma denir (Işık,2008).

Rüzgâr yükü hesaplaması basınç, emme, sürtünme etkileri birleştirilerek uygulanır. Bir yapının bütününde rüzgâr yükü bileşkesinin büyüklüğü (Denklem 4.9);

$$W = C_f \times q \times A \text{ (kN)} \quad (4.9)$$

formülü ile bulunur.

## 4.2. Yapıların Dinamik Parametreleri

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları, yapı dinamik parametreleri kullanılarak belirlenmektedir. Yapı dinamik parametreleri ise esas olarak doğal frekans, doğal periyot, mod şekli ve sönüm oranıdır (Boru ve Kutanis,2015).

### 4.2.1. Doğal Frekans

Yapı statik denge konumunda iken çeşitli nedenlerden dolayı hareket ederse, yapı doğal frekans adı verilen, her yapıya göre değişebilen bir frekansla titreşmeye başlar. Yapının bir saniyedeki titreşim sayısına doğal frekans denir. Her yapının serbestlik derecesi kadar doğal frekansı vardır. Doğal frekans değeri, tek serbestlik dereceli ve yayılı kütleyle sahip yani çok sayıda serbestliğe sahip yapılarda tek veya sonsuz sayıda doğal frekans değerlerine sahip olabilir. Doğal frekans değeri Hertz (Hz) biriminde ölçülmektedir. Doğal frekans  $f_n$  ile ifade edilir.

$$f_n = 1/T_n = \omega_n / 2\pi = (1/2\pi) \sqrt{(k/m)} \quad (4.10)$$

### 4.2.2. Doğal Periyot

Yapının tam bir titreşim hareketi döngüsünün oluşması için geçen süreye periyot denir. Periyotlar yapının titreşim etkisi sonucu hasar durumuyla ilgili de bilgi verebilir. İlk periyot ölçümünden sonra titreşim sonucu periyot tekrar ölçüldüğünde değer aynı ise yapı hasar almamış demektir. Doğal periyot değerinin birimi saniye (s)'dir. Doğal periyot,  $T_n$  ile ifade edilir.

Periyot ve frekans değerleri birbirlerinin tam tersidir. Yani  $T_n = 1 / f_n$  'dir.

$$T_n = 2\pi \sqrt{(m/k)} \quad (4.11)$$

### 4.2.3. Mod Şekli

Mod şekli (titreşim biçimi), bir yapının doğal frekansında titreşirken aldığı şekildir yani yapının deformasyonunu belirleyen geometrik salınım şekli diye de tanımlayabiliriz.

### 4.2.4. Sönüm Oranı

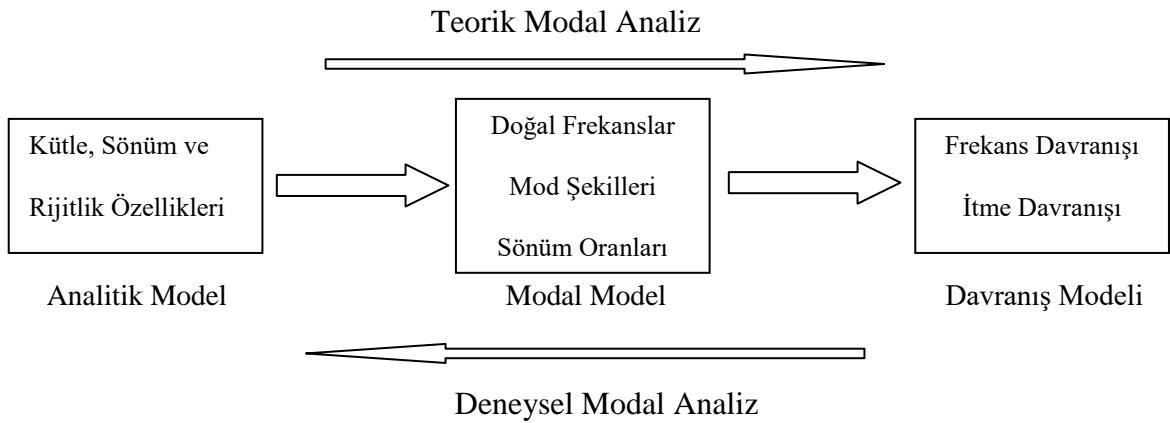
Titreşim sırasında yapıda enerjinin kaybını sağlar. Sönüm, sistemin doğal frekansı üzerinde de etkilidir. Titreşim etkisi yapılarda farklı sönüm kuvvetleri oluşturur. Sönüm kuvvetleri malzeme türünden ve titreşim etkisinden etkilenir.

Sönüm modellerinin birçok çeşidi vardır. Bunlar; viskoz sönüm, rijitlikle orantılı viskoz sönüm, kütleyle orantılı viskoz sönüm, kütle ve rijitlikle orantılı (Rayleigh) viskoz sönüm, coulomb sönüm, çevrimsel sönüm ve enerji yayılma sönümü olarak 7'ye ayrılmaktadır (Karaahmetli ve Dünder, 2017).

$$\xi = c / (2m\omega_n) \quad (4.12)$$

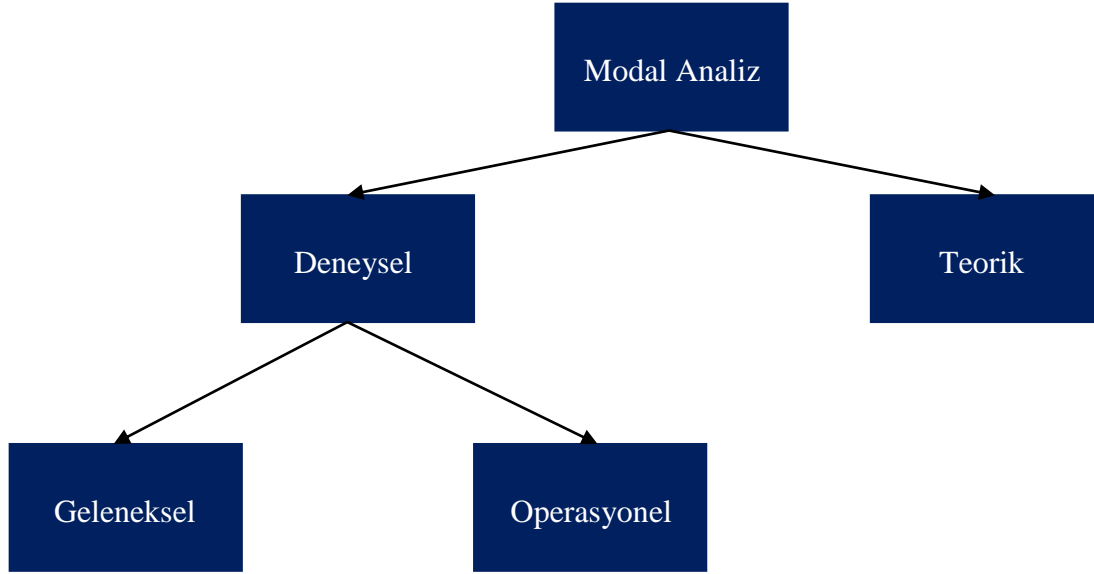
### 4.3. Yapıların Dinamik Parametrelerinin Belirlenmesi (Modal Analiz)

Yapı dinamik parametreleri yapının tasarımı açısından son derece önemlidir. Yapı dinamik parametreleri iki ayrı yöntemle belirlenir, bunlar teorik ve deneysel yöntemlerdir (Çizelge 4.1). Bu yöntemlerle titreşim altındaki bir sistemin yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesine modal analiz denir.



Şekil 4. 3 Deneysel ve Teorik Modal Analiz işlem sırası (Sert, 2019)

Modal analiz yöntemlerinden yapı analitik modellerinin oluşturulması veya yaklaşık yöntemler yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesinde teorik yöntemlerdir. Geleneksel ve operasyonel yöntemler ise yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesinde deneysel yöntemlerdir (Şekil 4.3.).



Şekil 4. 4 Modal Analiz yöntemleri

#### 4.3.1. Teorik Modal Analiz

Teorik modal analiz ile yapı dinamik parametreleri temel deprem mühendislik ilkeleri yardımıyla belirlenir. Analitik modellerle birçok program çeşidi sayesinde ya da yönetmeliklere uygun formüllerle yaklaşık yöntemler sayesinde belirlenmektedir. (Bayraktar ve ark.,2010).

TBDY 2018'e göre teorik analiz işlemlerinde birinci doğal titreşim periyodu aşağıdaki bağıntı ile yaklaşık olarak hesaplanabilir (Denklem 4.13).

$$T_n = C_i \cdot H_n^{(3/4)} \quad (4.13)$$

TBDY 2018'e göre Rayleigh formülü ile de birinci doğal titreşim periyodu elde edilebilir (Denklem 4.14).

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i d_i}} \quad (4.14)$$

Belirli hareket denklemleri hesaplamalarıyla çok serbestlik dereceli sönümsüz sistemde doğal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmektedir.

#### 4.3.2. Deneysel Modal Analiz

Yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla titreşimlerden oluşan tepkilerle veya ölçüm verileri kullanılan yöntemler deneysel modal analiz yöntemleri olarak bilinmektedir. Kuvveti bilinen bir titreşimle veya çevre faktörlerinden dolayı bir titreşime maruz kalabilir, titreşim kuvvetinin bilinip bilinmemesi dikkate alınarak çözümlenmektedir. Geleneksel (deneysel) modal analiz ve operasyonel modal analiz olmak üzere iki yöntem mevcuttur.

#### 4.3.2.1. Geleneksel (Deneysel) Modal Analiz

Geleneksel (deneysel) modal analiz yönteminde yapılara uygulanan titreşim kuvvetinin genliği ve zamana bağlı olarak değişimi bilinmektedir. Yapı titreşim altında, yapının mevcut sınır şartları, malzeme özellikleri, varsa hasar durumuna göre hareket göstermektedir. Çekiç başlığına yerleştirilen kuvvetölçer ile uygulanan kuvvet, ivmeölçerlerle ise yapının titreşim tepkileri ölçüm süresince ölçülür ve kayıt altına alınır. Bu şekilde yapı dinamik parametreleri belirlenmiş olur (Bayraktar ve ark.,2010).

#### 4.3.2.2. Operasyonel Modal Analiz

Operasyonel modal analiz yöntemi ölçümlerinde gelişen teknoloji sayesinde çevresel şartlar yani titreşimler kullanılmaktadır. Bu nedenle çevresel titreşim testi olarak da tanımlanmaktadır. Yapılar genliği ve zamanla değişimi belirli olmayan deprem kuvveti, rüzgâr kuvveti, taşıt, insan hareketleri, makine titreşimleri gibi etkiler tarafından titreşime maruz kalmaktadırlar.(Bayraktar ve ark.,2010)

Ölçümlerde çevresel titreşimler kullanıldığı için bilinmeyen etki ve ölçülen tepki fonksiyonları arasındaki bağıntı (Denklem 4.15)'te tanımlanmaktadır (Bayraktar ve ark.,2010).

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]*[G_{xx}(\omega) I [H(\omega)]^T \quad (4.15)$$

(Denklem 4.15)'te bulunan  $[G_{yy}(\omega)]$  ve  $[G_{xx}(\omega)]$  etki-tepki değerlerinin spektral yoğunluk fonksiyonlarını,  $[H(\omega)]$  frekans davranış fonksiyonunu, \* ve T fonksiyonların eşlenik ve transpozisini ifade etmektedir.

#### 4.3.2.3. Modal Parametrelerin Belirlenmesi

Çevresel etkilerin ölçülmesi ve değerlendirilmesinde yani modal parametrelerin belirlenmesinde başlıca iki method kullanılmaktadır, bu methodlar frekans ortamında ayrışım (FOA) ve stokastik altalan belirleme (SAB)'dir (Bayraktar ve ark.,2010).

Frekans ortamında ayrışım methodunun uygulama adımları;

- Ölçüm sonuçlarından spektral yoğunluk fonksiyonlarına ulaşılması,
- Ulaşılan fonksiyonlarda ayrıştırma yapılması,
- Birden çok ölçüm yapıldıysa değerlerin ortalamasının alınması,
- Spektral yoğunluk fonksiyonunun tekil değerinin alınması,
- Frekans, sönüm oranı ve mod şekillerinin elde edilmesi olarak sıralanabilir.

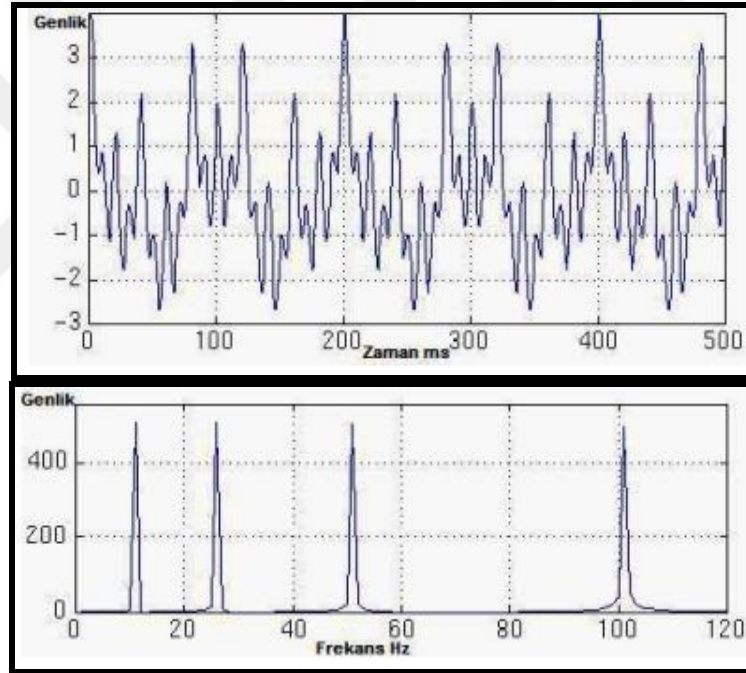
(Bayraktar ve ark., 2010)

Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma Yöntemi (FTAA), frekans tanım alanı yöntemlerinden olan Tepe Seçme (Peak Picking)'nin geliştirilmiş halidir. Geliştirilmiş Frekans Alanında Ayırıştırma Yöntemi'nde (GFTAA), yapıların dinamik özelliklerine zaman tanım alanındaki güç spektral yoğunluk fonksiyonları kullanılarak Ters Fourier Dönüşümü yardımıyla ulaşılmaktadır (Boru ve Kutanis, 2015).

#### 4.3.2.4. Fourier Dönüşümü

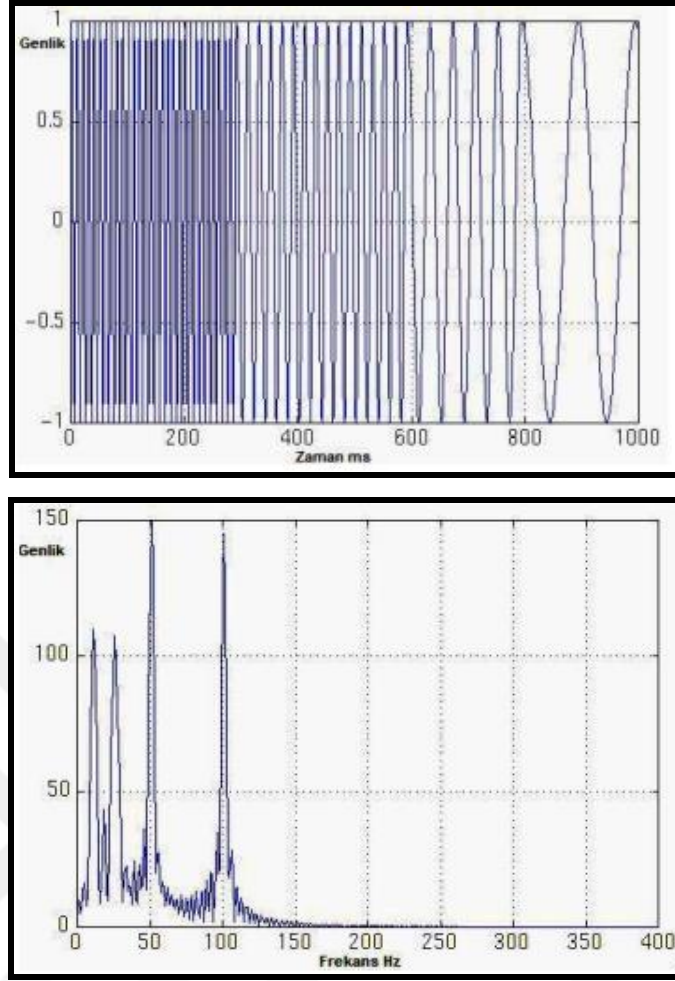
Fourier dönüşümü zaman tanım alanındaki değerleri frekans tanım alanına dönüştürmek için kullanılmaktadır. Durağan sinyallerin fourier dönüşümleri ve sürekli sinyallerin fourier dönüşümleri olarak ayrılmaktadır.

Zamanın sabit olduğu durağan sinyallerin fourier dönüşümleri Şekil 4.4.'te verilmiştir (Gür, 2013). Frekansların tamamı eksene dağılmış haldedir ve aynı genliktedir.



Şekil 4. 5 Durağan sinyal ve fourier dönüşümü (Gür, 2013)

Sürekli sinyallerin fourier dönüşümü ise Şekil 4.5.'te verilmiştir, frekanslar farklı genliklerdedir (Gür, 2013)



Şekil 4. 6 Sürekli (durağan olmayan) sinyal ve fourier dönüşümü (Gür, 2013)

#### 4.3.2.5. Fourier Dönüşüm Yöntemleri

Fourier dönüşümleri 3'e ayrılmaktadır. Bunlar;

- Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD), sonlu sayıda örneği bulunan fonksiyonun fourier dönüşümüdür.
- Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), Ayrık Fourier Dönüşümünün kolaylaştırılmış şekilde hesaplanmasıdır.
- Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD), zaman bilgisi sürekli sinyallerde kaybolduğu için çözüm amaçlı bulunan bir metottur.

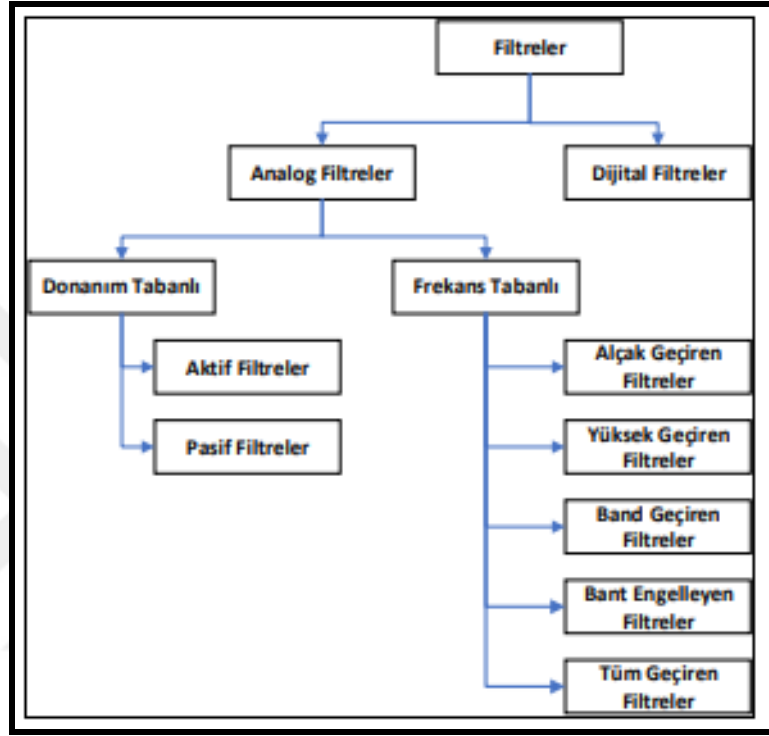
#### 4.3.2.6. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)

Deney sonucu elde edilen zaman tanım alanındaki değerleri frekans tanım alanına dönüştürmek için Hızlı Fourier Dönüşümü (Frequency Fourier Transform (FFT)) yöntemi kullanılmaktadır. Frekans tanım alanına dönüştürme işlemi ölçüm sonuçlarının baskın frekanslarını belirlemek için yapılmaktadır. Farklı analizlerle mod şekilleri de belirlenebilir (Aras, 2018).



#### 4.3.2.7. Filtreleme Yöntemi

Fourier dönüşümünde kullanılan filtreleme yöntemi zaman tanım alanındaki sinyalin frekans değerlerini düzenleyerek yeni bir zaman tanım alanında sinyale dönüştürür, kısacası sinyal temizleme ve analiz işlemlerini sağlamaktadır. Filtreler dijital ve analog olmak üzere iki ana başlığa ayrılır (Şekil 4.6.) (DTA Mühendislik, Erişim Tarihi: 20.05.2022).

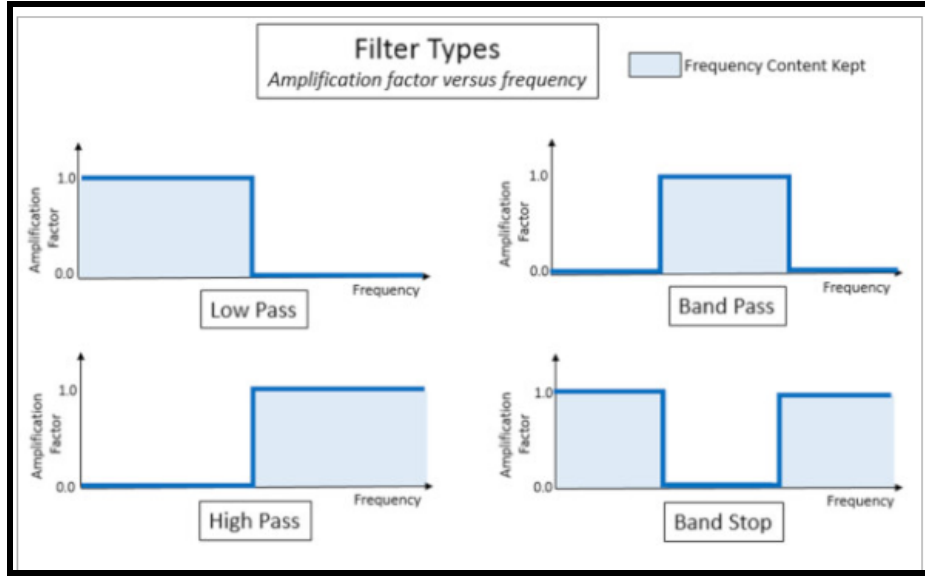


Şekil 4. 7 Filtrelerin sınıflandırması (Çeven ve Bayır, 2020)

Filtre uygulamaları ise 4 çeşittir (Şekil 4.7.). Bunlar;

- Alçak Geçiren (Lowpass) Filtresi: Düşük frekansların geçişine izin verir. Belirlenmiş olan frekans sınırının üzerindeki frekansları,
- Yüksek Geçiren (Highpass) Filtresi: Yüksek frekansların geçişine izin verir. Frekansları düşük olan sinyalleri,
- Bant Geçiren (Bandpass) Filtresi: Bant sınırı dışındaki frekansları,
- Bant Durduran (Bandstop) Filtresi: Belirlenmiş olan aralıktaki frekansları

kaldırmak için kullanılan bir yöntemdir (DTA Mühendislik, Erişim Tarihi: 20.05.2022).



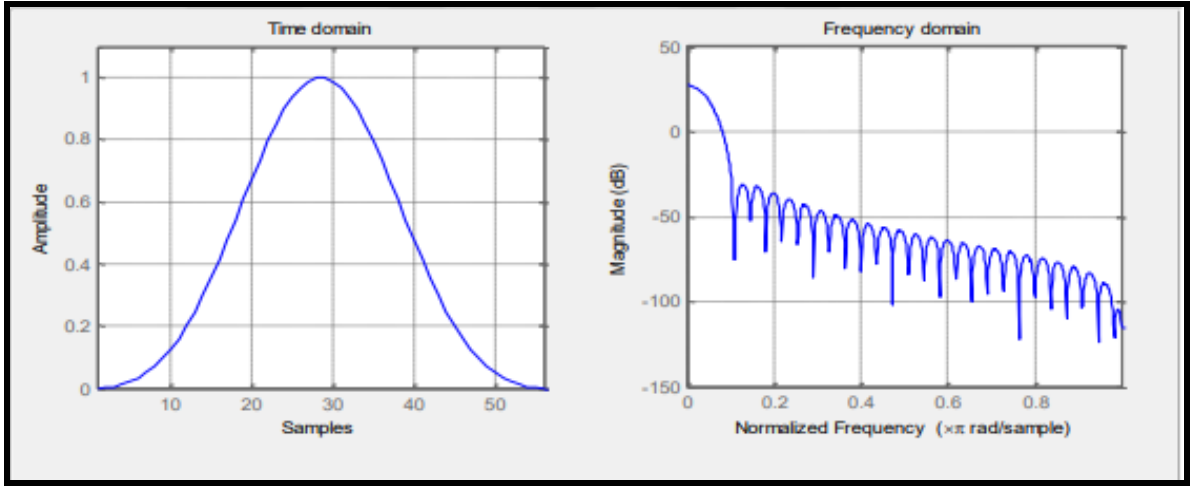
Şekil 4. 8 Filtre uygulamaları (DTA Mühendislik, Erişim Tarihi: 20.05.2022)

Sayısal filtreler, sonlu impuls tepkisi FIR (tekrarsız) ve sonsuz impuls tepkisi IIR (tekrarlı) olarak ikiye ayrılmaktadır. FIR filtreler, IIR filtrelere göre yavaştır fakat performans olarak daha iyidir (Gür, 2013)

#### 4.3.2.8. Pencereleme Yöntemi

Pencereleme yöntemi, fourier dönüşümü öncesinde süreksizlikleri gidermek için uygulanmaktadır. FIR filtrelerini oluşturmak için uygulanır. Çok sayıda pencere çeşidi bulunmaktadır. Fakat en iyi sonuç alınabilecek pencere çeşidi uygulamadaki etkinliğine göre değişmektedir. Pencereleme yöntemindeki uygulama çeşitlerinin en yaygın olanları;

- Rectangular (Dikdörtgen) Pencere: Dikdörtgen pencereleme yöntemi, bütün sinyallerin tek bir veri kaydında bulunduğu ve FFT sürecinin periyodiklik gereksiniminin karşılanmasının garanti edildiği durumlarda verilere uygulanır.
- Hanning Pencere: Diğer pencerelere kıyasla sinyallerin genlik doğruluğu ve frekans çözünürlüğünde orta derece etkilidir.
- Hamming Pencere: Sinyalin merkezini belirginleştirir.
- Blackman Pencere: Hamming ve Hanning penceresine göre küçüktür.
- Flattop Pencere: Genellikle deneysel modal analizde kalibrasyon için kullanılmaktadır.
- Kaiser Pencere

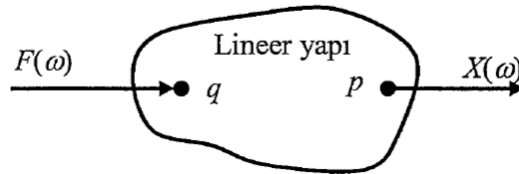


Şekil 4. 9 Blackman pencereleme yöntemi ile zaman ve frekans grafikleri (El Hafız, 2017)

#### 4.3.2.9. Frekans Davranış (Tepki) Fonksiyonu (FRF)

Ölçülmüş olan tepki fonksiyonları, frekans davranış fonksiyonu, ani darbe tepki fonksiyonu, geçirgenlik, tepki spektrumu sayesinde karakteristikleri belirlemeyi sağlamaktadır.

Dinamik davranışları karakterize etmeyi sağlayan Frekans davranış fonksiyonu (FRF), doğrusal bir sistemdeki girdi ve çıktılarının Fourier spektrumları arasındaki ilişkiyi belirten pratik ve geniş uygulama alanına sahip bir yöntemdir. Yani uygulanan kuvvetle gösterilen direnç arasındaki ilişkidir. (Bötke ve ark., 2014)

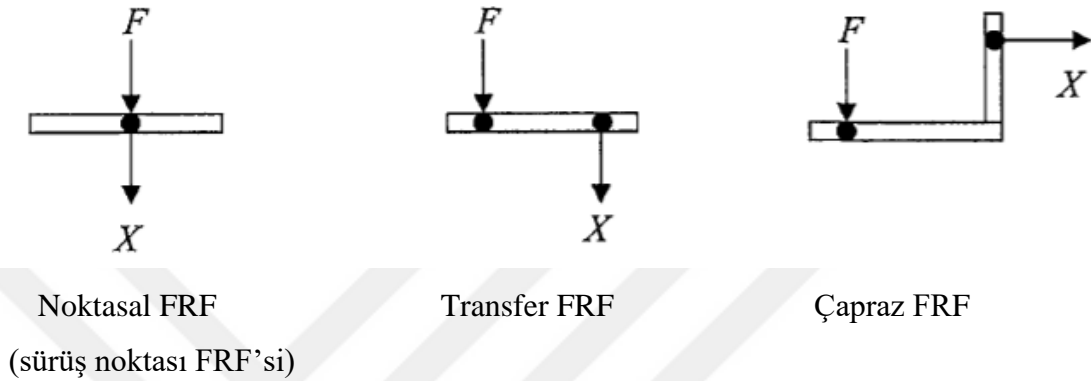


Şekil 4. 10 Lineer yapı (Çakar, 2003)

Şekil 4.10.'da belirtildiği gibi q noktasındaki genliği F olan ve frekansı  $\omega$  olan bir kuvvet uygulandığında yapının göstereceği tepki kuvveti sonucu frekansla titreşim meydana gelecektir. Frekansla titreşim sonucu yer değiştirmesi X (ivme veya hız) olan p noktasına ait FRF genliği (Denklem 4.20)'de ifade edilmektedir (Çakar, 2003)

$$|H_{pq}(\omega)| = \frac{|X_p|}{|F_q|} \quad (4.20)$$

Frekansın fonksiyonlarından biri olan FRF'nin genliği ve fazı uygulanan kuvvetin frekansına bağlıdır. FRF'nin türünü ölçülen kuvvet ve tepkinin konumları belirlemektedir. Konum diye bahsedilen genlik ve fazları temsil etmektedir. FRF, aynı konum ve doğrultuda ölçülen kuvvet ve tepkiden hesaplanırsa noktasal FRF, konumları farklı fakat kuvvet-tepki doğrultuları aynı ise transfer FRF, ölçülen kuvvetler de farklı yönden yapılırsa çapraz FRF olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.5.), (Çakar, 2003).



Şekil 4. 11 FRF türleri (Çakar,2003)

FRF işlemlerinde tepki olarak ivme, hız, yer değiştirme büyüklükleri kullanılmaktadır. İvme tipinde FRF (Accelerance, Inertance), ivmenin kuvvete bölünmesiyle; hız tipinde FRF (Mobility), hızın kuvvete bölünmesiyle; yer değiştirme tipinde FRF (Receptance), deplasmanın kuvvete bölünmesiyle elde edilmektedir (Çakar, 2003).

Bu tez çalışmasında kullanılan FRF türü, ivmenin kuvvete bölümü ile bulunmaktadır.

#### 4.3.2.10. Eğri Uydurma Yöntemi (Curve Fitting)

Modal parametrelerin belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. Hesaplamalarda kolaylık olması için kullanımı zor olan fonksiyonlara (veri noktalarına) en yakın başka fonksiyonların araştırılması eğri uydurma olarak tanımlanmaktadır.

Eğri uydurmada; Bir veya daha fazla mod (SDOF veya MDOF), Bir veya birden fazla DOF (Lokal veya Global), Bir veya birden fazla referans (Manoreferans veya Çoklu Referans) gibi özellikler bulunmaktadır.

Bölgesel (Lokal) Eğri Uydurma, gerçek FRF ölçümlerine dayanmaktadır (RMC Mühendislik, Erişim Tarihi:20.05.2022).

Eğri Uydurmada 3 yöntem bulunmaktadır;

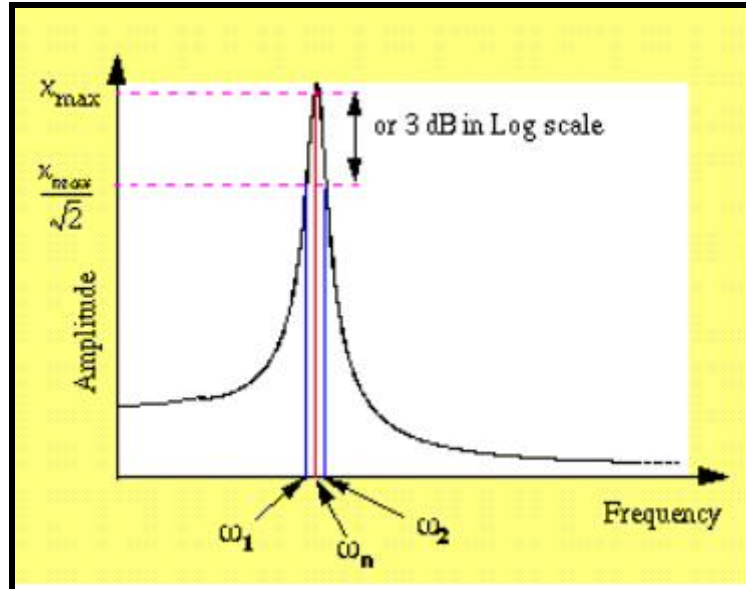
- Gauss Eğri Uydurma Yöntemi
- Lorentz Eğri Uydurma Yöntemi
- Voight Eğri Uydurma Yöntemi

FRF, dinamik özellikler kullanılarak da belirlenmektedir, bu dinamik özellikler analitik ve sayısal işlemlerle belirlenmektedir (Çakar, 2003).

Sivri tepelere sahip olan FRF'ler bu tepelerde modal parametreleri içermektedir. FRF'lerde bulunan Sivri tepeler (en yüksek genlik metodu) sayesinde frekans ortamında gerçekleştirilen Zirve Seçimi (Peak Picking) yöntemi ile yapının modal parametreleri (baskın frekanslar, mod şekli) elde edilmektedir.

Her bir rezonansa ait tepe noktası ve bu noktanın benzeri frekans davranış fonksiyonunda bulunur. Tepe noktasındaki genlik değeri bulunarak, bu tepe noktasından genlik değerinin  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  'si kadar kadar o rezonansın bant genişliği bulunup, bu noktaya denk gelen köklere ait noktalar tespit edilerek modal parametrelere (sönüm oranı) ulaşılmaktadır (Sert ve Beyen).

Sönüm oranına ulaşmanın en basit ve hızlı yolu yarım güç bant genişliği yöntemidir. Yarım güç bant genişliği yönteminin uygulanışı Şekil 4.12.'de, sönüm oranına ulaşmak için formülü ise Denklem 4.21.'de verilmiştir (Kuyumcuoğlu, 2008).



Şekil 4.12 Yarım güç bant genişliği ile sönüm oranlarının belirlenmesi (Kuyumcuoğlu, 2008)

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2 * \omega_n} \quad (4.21)$$

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

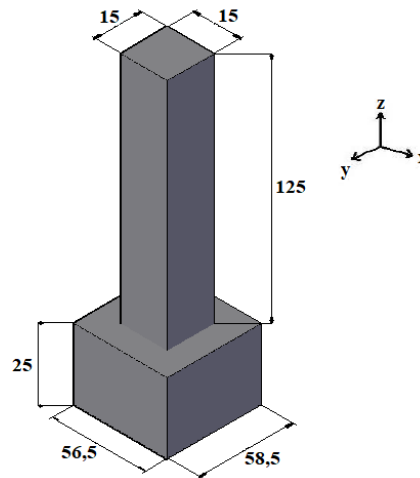
### 5.1. Deney Numunelerinin Tasarımı

Sarsma tablası kullanılarak dinamik parametrelerin belirlendiği bu tez çalışmasında 6 farklı beton basınç dayanımına sahip, her birinden 1'er numune olacak şekilde kolon numuneleri hazırlanmıştır. Tez müracaat formunda belirtilen 18 numune hazırlanması formun verildiği tarihten uygulama aşamasına kadar oluşan fiyat farkından dolayı maddi yetersizliğe sebep olmuştur. Bu sebeple 6 numune hazırlanmıştır. Uygulama için planlanan numunelerin beton sınıfları ve adlandırılması Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

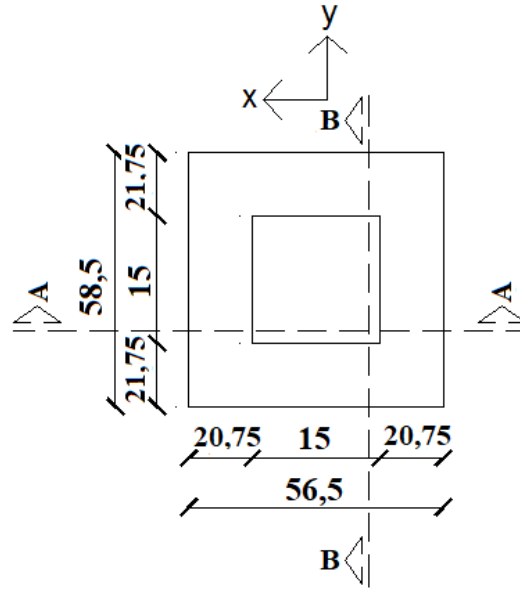
**Çizelge 5. 1** Betonarme kolon numunelerinin adlandırılması, planlanan beton ve donatı sınıfları

Betonarme Numuneler			
Kolon Adedi	Adlandırma	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı
1	SN-01	C16/20	S420
1	SN-02	C18/22	S420
1	SN-03	C20/25	S420
1	SN-04	C25/30	S420
1	SN-05	C30/37	S420
1	SN-06	C35/45	S420

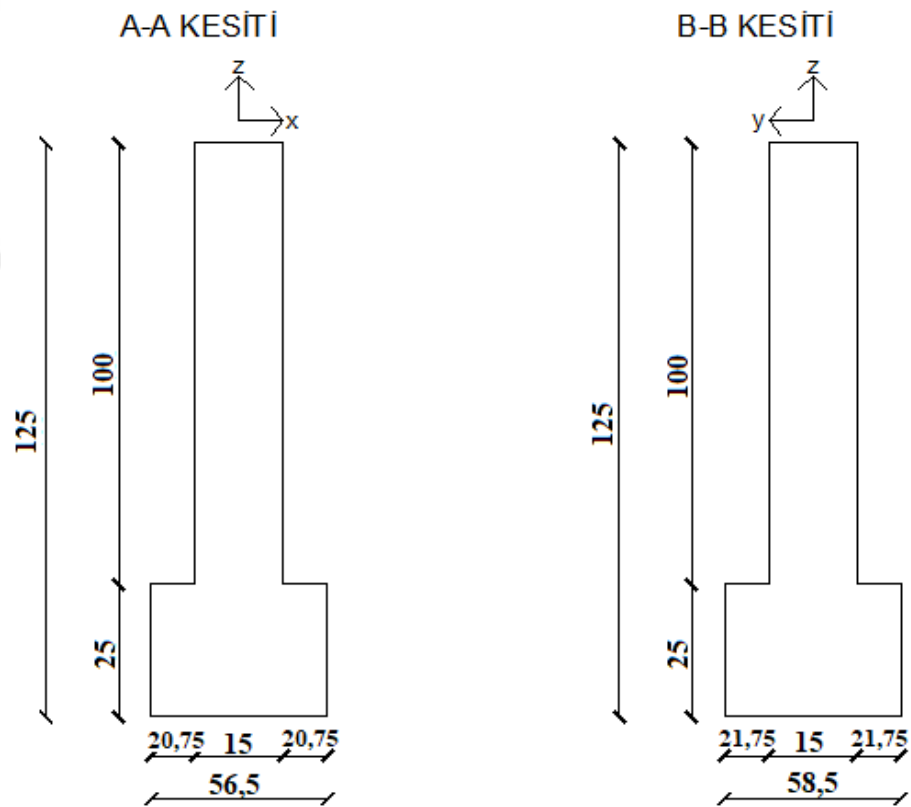
Deney numunelerinin temel boyutları 56,5x58,5 cm, yüksekliği 25 cm'dir. Kolon boyutları ise 15x15 cm, yüksekliği 125 cm olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneyde kullanılacak standart numuneler ve boyutları Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Deney numunelerinin üstten görünümü ve kesit detayları Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'te verilmiştir.



**Şekil 5. 1** Boyutları standart 3 boyutlu deney numunesi



Şekil 5. 2 Boyutları standart numunelerin üstten görünümü



Şekil 5. 3 Boyutları standart numunelerin önden ve yandan görünümü

Betonarme kolonlarda kullanılan çelik sınıfı tüm numunelerde aynıdır ve S420-nervürlü donatılar seçilmiştir. Betonarme kolon numunelerdeki bu çelikler; etriyeler  $\emptyset 6/10$ , boyuna donatılar  $4\emptyset 8$ , temel donatıları  $9\emptyset 12$  şeklinde yönetmeliğe uygun minimum değerler hesaplandıktan sonra ölçeklendirme ile küçültülmüş olup tasarımda verilen değerler kullanılmıştır. Donatıların belirlenmesinde kullanılan yaklaşık hesaplamalar;

Tüm numunelerde sabit olarak tasarlanan çelik detaylandırmaları Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.

Hesaplamalar laboratuvar deneyine uygun olarak yapıldığında;

- Kolonlarda boyuna donatı hesabı;

Yönetmeliğe uygun denklemler ele alınarak  $A_{s_{min}} = 0.01 \times b \times d = 0.01 \times 60 \times 60 = 36 \text{ cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Fakat 1/3 ölçekli deney numuneleri hazırlanacağı için hesaplamalar ölçeklendirmeye uygun şekilde hesaplanacaktır.

$A_{s_{min}} = 0.01 \times b \times d = 0.01 \times 15 \times 15 = 2,25 \text{ cm}^2$  olmalıdır.  $4\emptyset 8$  seçildiğinde  $2.01 \text{ cm}^2$  olmaktadır yani boyuna donatı minimum koşuluna yaklaşık bir değer elde edilmiştir. Deney mevcut yapı stokunu temsil edeceği için yaklaşık değer olarak  $4\emptyset 8$  kabul edilmiştir.

- Kolon sarılma bölgesinde etriye hesabı;

$$s \leq 15 \text{ cm}$$

$$s \leq b_{min}/3 = 15/3 = 5 \text{ cm}$$

$$s \leq 6\emptyset_1 = 6 \times 1 = 6 \text{ cm}$$

$$s \geq 5 \text{ cm}$$

- Kolon orta bölgesinde etriye hesabı;

$$s \leq 15 \text{ cm}$$

$$s \leq b_{min}/2 = 15/2 = 7,5 \text{ cm}$$

$$s \leq 30 \text{ cm}$$

Etriye aralıkları, günümüzde TBDY2018'e uygun kolon boyutlarında ve bu boyutlara uygun aralıklarda seçilmesi gerekirken laboratuvar çalışmasındaki ölçeklendirmeye ve ülkemizde bu zamana kadar kullanılmış olan tüm yönetmelikler de düşünülerek belirlenmiştir. Etriye çapları sarılma ve orta bölgede  $\emptyset 6$  olarak seçilmiştir. Aralıkları ise sarılma ve orta bölgede sabit olup 10 cm olarak seçilmiştir.



- Temel için donatı hesabı;

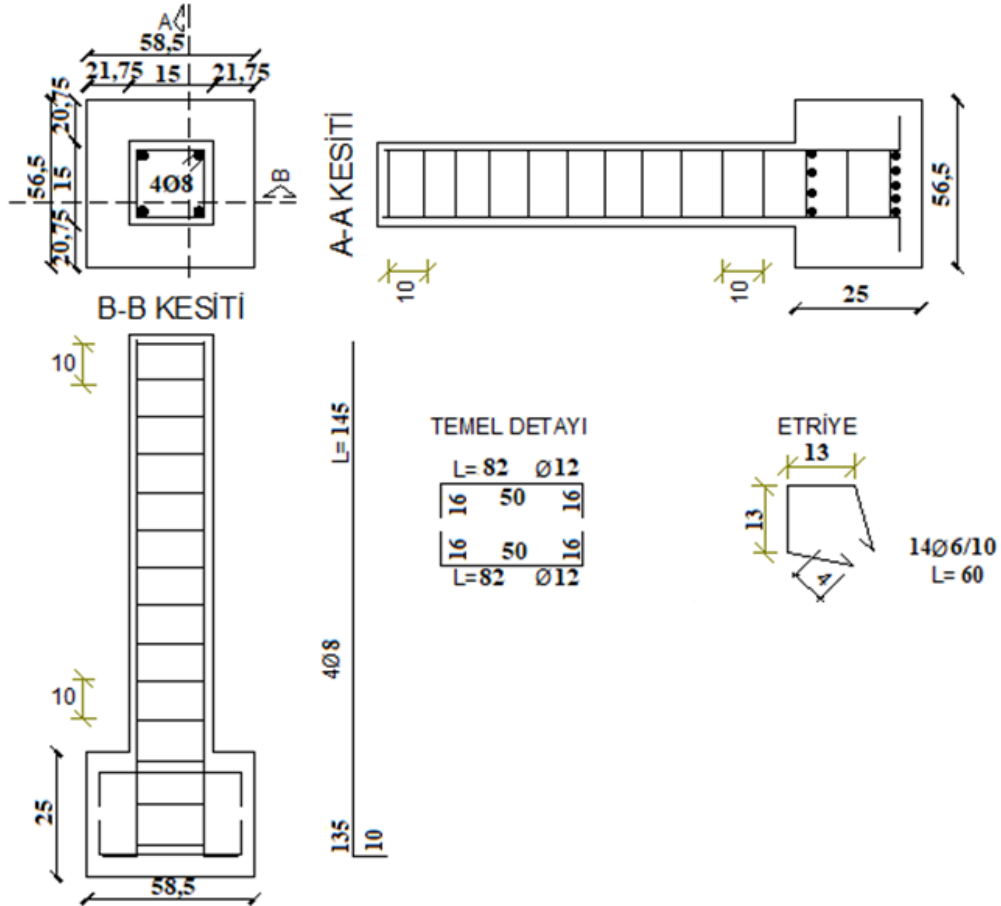
$$A_s = \rho_{\min} \times b \times d \quad , \quad \rho_{\min} = 0.002$$

Tek yönde;

$$A_s = 0.002 \times (15 - 3 - 1.5) \times 25 = 0.525 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.002 \times (15 - 3) \times 25 = 0.6 \text{ cm}^2$$

1/3 oranında hesaplanmıştır. 9Ø12 olarak seçildiğinde 10.17 cm<sup>2</sup> olarak hesaplanan değer minimum koşulun çok üstünde sağlanmaktadır.



Şekil 5. 4 Numunelerde kullanılacak olan donatıların detaylandırılması

Numunelerin üzerine sabitlemek üzere aksel yük sağlayacak 100x100 cm'lik beton kütle tasarlanmış olup yüksekliği 50 cm'dir. Beton kütleinin dayanımı 18,4 MPa'dır. Kütleye donatılar yerleştirilerek yaklaşık ağırlığı 1,5 ton olacak şekilde tasarlanmıştır. Kütleye kancalar yerleştirilerek kolay taşınması sağlanmış ve orta kısmında genişliği 20x20 cm, yüksekliği 25 cm'lik boşluk bırakılarak sarsma tablasında kolon numuneye sabitlenmesi kolaylaştırılmıştır.

Tüm hesaplamalarla birlikte sarsma tablası üzerinde kullanılacak malzemeler belirlendikten sonra numunelerin oluşturulması aşamasına başlanmıştır.

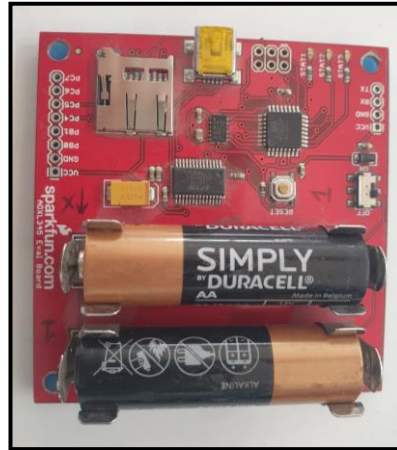
## 5.2. Sarsma Tablası Sistemi

Deneylerde numunelere sarsma tablası ile depremi benzeştiren Tersinir-Tekrarlanır yatay yükleme uygulaması yapılmıştır. Deneyde kullanılacak olan sarsma tablasının boyutu  $16m^2$  ( $4m \times 4m$ ), maksimum kapasitesi 10 tondur. Motorlarda yapılacak iyileştirmeler sonucunda 40 tona kadar kapasite artmaktadır (Şekil 5.5.).



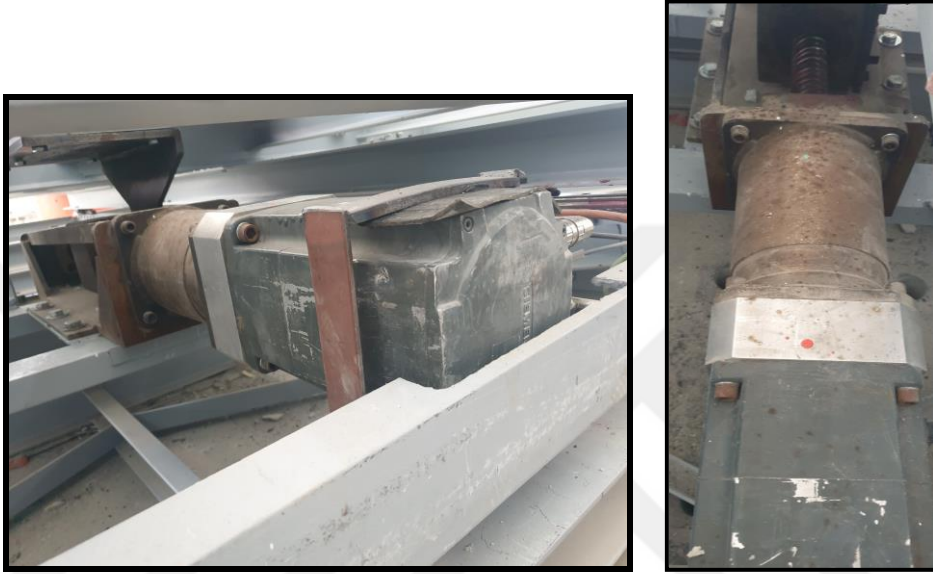
Şekil 5. 5 Deneyde kullanılacak Sarsma Tablası

Modellerin titreşime verdikleri tepkileri 2 adet eşdeğer ivmeölçer ile ölçülmüştür (Şekil 5.6.). İvmeölçerler sarsma tablasında ve kolon numuneler üzerinde her zaman aynı yerleşimde olacak şekilde sabitlenmiştir. İvmeölçerlerden ölçülecek olan veri, sarsma tablasından etki kuvveti, kolon numuneden ise tepki kuvvetleridir.



Şekil 5. 6 Deneyde kullanılan ivmeölçer (ADXL345)

Sarsma tablası  $\pm 25$  cm deplasman yapabilmektedir. Sarsma tablasında 2 adet Siemens servo motor bulunmakta olup servo motorlar çok düşük hızlarda bile kararlı çalışarak ivme ve moment kontrolünü hatasız yapabilmektedir, çıkış hareketini kontrol edici özellikte üretilen motorlardır. Servo motorlar x ve y yönü olmak üzere iki eksen de hareket edebilmektedir. Sarsma tablası üzerinde x ve y doğrultusunda 2 adet servo motor bulunmaktadır (Şekil 5.7.). Tez çalışmasında sadece y yönünde kuvvet uygulanmıştır.

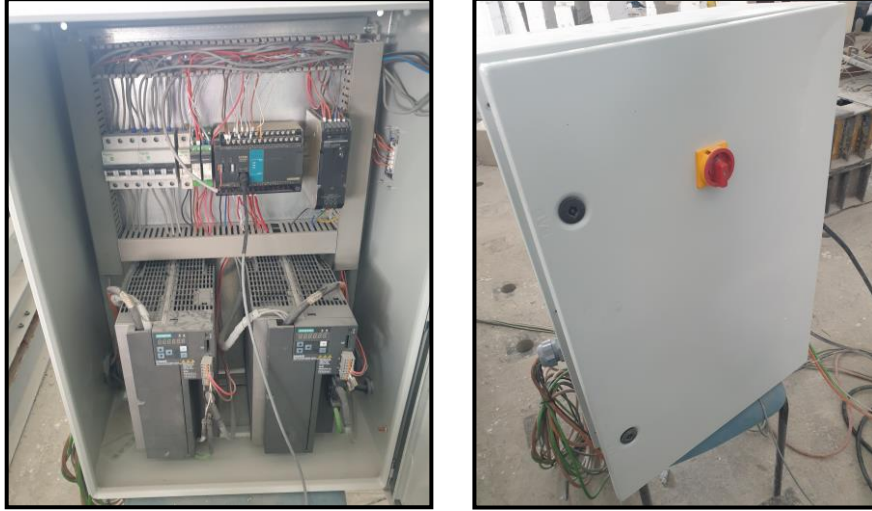


Şekil 5. 7 Sarsma tablası y yönündeki servo motor

Kontrol paneli, sarsma tablasına hareket komutlarını vermektedir (Şekil 5.8.) ve bu komutların servo motora iletilmesini motorun beyni olarak da adlandırabilecek elektrik panosu (Şekil 5.9.) sağlamaktadır. Elektrik panoları (PLC), otomatik iş yaptırabilmeyi sağlar ve programlama istenildiği gibi ayarlanabilir.

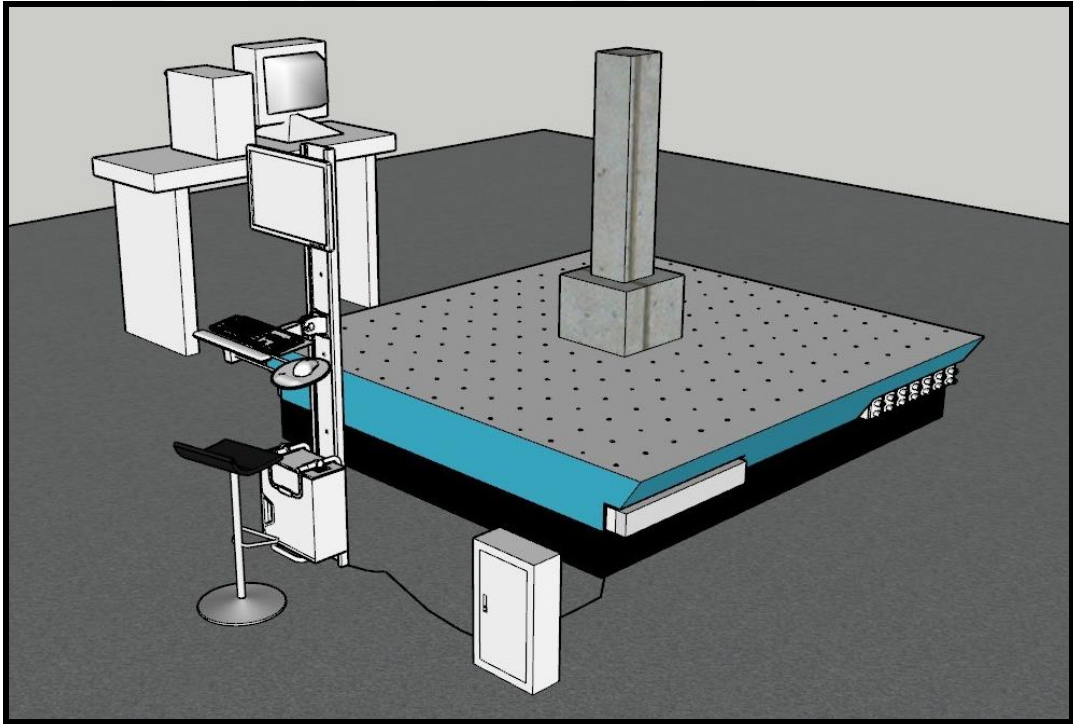


Şekil 5. 8 Kontrol Paneli



Şekil 5. 9 Elektrik Panosu (PLC)

Tüm bu sarsma tablası düzeneğiyle birlikte planlanan deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 5.10.'de verilmiştir. Deney esnasında kolon numunenin üzerine aksel yük oluşturması için beton kütle de sabitlenmiştir.



Şekil 5. 10 Planlanan deney düzeneği

### 5.3. Malzemelerin Temin Edilmesi

Numuneleri hazırlamak üzere metraj hesapları tamamlanan kalıp, donatı, agrega, kum vb. alınacak malzemeler için firmalarla iletişime geçilerek uygulama kısmının ilk adımı atılmıştır.

#### 5.4. Malzemelerin Hazırlanması

##### Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

Satın alınan malzemelerin gerekli özelliklerinin testleri yapılarak uygunluğuna bakılmıştır.

Bu çalışmada (TS EN 197-1, 2012)'ye uygun olarak CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır (Şekil 5.11.). Bu çimentonun özgül ağırlığı Le Chatelier balonu ve etil alkol kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. 11 Betonarme numunelerde kullanılan çimento

Kullanılan agregalar (TS 706 EN 12620, 2009) standartlarına uygun ve ince agrega yıkanmış kum olarak, iri agrega ise kırmataş olarak temin edilmiştir (Şekil 5.12.). Agreganın maksimum dane çapı 16 mm'dir. Agregalarda su emme kapasitesi, elek analizi, özgül ağırlığı, gevşek ve sıkışık birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Su emme kapasitesi ve özgül ağırlık için (TS EN 1097-6, 2013) standardı referans alınmıştır.



Şekil 5. 12 Betonarme numunelerde kullanılan ince (kum) ve iri agrega

### 5.5. Betonarme Numuneler için Kalıp, Boyuna Donatı ve Etriyelerin Hazırlanması

Beton dökümü yapılmadan önce hesaplanan ölçülerde kesilen (Şekil 5.13.) ve kalınlığı 1,8 cm olan suntalam kalıplar birleştirilerek 6 adet kolon numune kalıbı hazırlanmıştır (Şekil 5.14.). Temel kalıbı da hazırlandıktan sonra kolon numune kalıpları ile birleştirilmiştir (Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.).



Şekil 5. 13 Metraj hesaplamaları sonucu ölçülere göre kesilen kalıp parçaları



Şekil 5. 14 Kolon kalıplarının çakılması



Şekil 5. 15 Temel kalıplarının çakılması



Şekil 5. 16 Temel kalıbı ve kolon kalıbının birleşim öncesi görüntüsü

Hazırlanan kalıplarda 4 adet 3'er cm çapında boşluk bırakılarak plastik pvc borular kalıba geçirilecek şekilde hazırlanmıştır. Bu daire boşlukların kalıplarda açılmasının sebebi sarsma tablası ile betonarme numuneleri sabitleyebilmektir (Şekil 5.17.). Kolon numunenin üzerinde aksenal yük oluşturması için tasarlanan beton kütlenin kalıbı da uygun olarak birleştirilmiştir (Şekil 5.18.).



Şekil 5. 17 Pvc borular için kalıplarda açılan daireler



**Şekil 5. 18** Beton kütle kalıbının çakılması

Beton dökülmeden önce kalıplar yüzeye paralel olacak şekilde su terazisi kullanılarak ayarlanmıştır ve çelik L profiller yardımıyla hem kolon numune kalıpları hem de kütle kalıbı sabitlenmiştir. (Şekil 5.19.).



**Şekil 5. 19** Su terazisi kullanılarak kalıpların yüzeye paralel olacak şekilde sabitlenmesi



Kalıpla ilgili uygulamalar tamamlandıktan sonra boyuna donatıların hazırlık aşamasına geçilmiştir (Şekil 5.20.).

Boyuna donatı olarak 4Ø8/150 (Şekil 5.21.),

Temel donatısı olarak 9Ø12 (Şekil 5.22.),

Etriye olarak 14Ø6/60 (Şekil 5.23.), kullanılmıştır. Kullanılan demirlerin hepsi nervürlü ve S420'dir.

14x6= 84 adet etriye,

9x6=54 adet temel donatısı,

4x6=24 adet boyuna donatı hazırlanmıştır.

Etriyeler; 13x13 cm ve 4 cm kanca boyu,

Boyuna donatılar; uzunluğu 140 cm ve gönye boyu 10 cm,

Temel donatıları, uzunluğu 50 cm ve her iki taraftan da gönye boyu 16 cm olarak belirlenmiştir.

Tüm demirler hazırlandıktan sonra birleştirilmiştir.



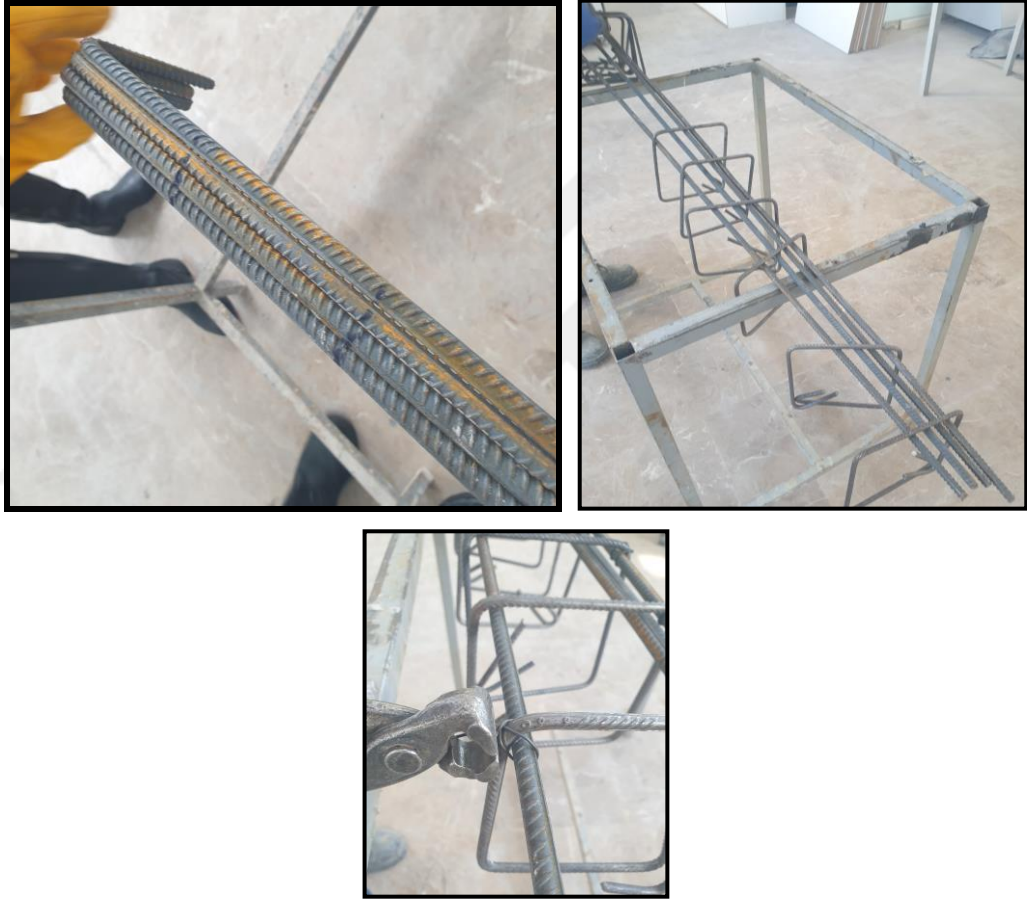
Şekil 5. 20 Donatı ve etriyelerin bükülme işlemleri



Şekil 5. 21 Hazırlanmış olan boyuna donatılar



Şekil 5.22 Temel donatılarının birleştirilmiş hali



Şekil 5.23 Etriyelerin 10 cm aralıklı olarak boyuna donatılara bağlanması

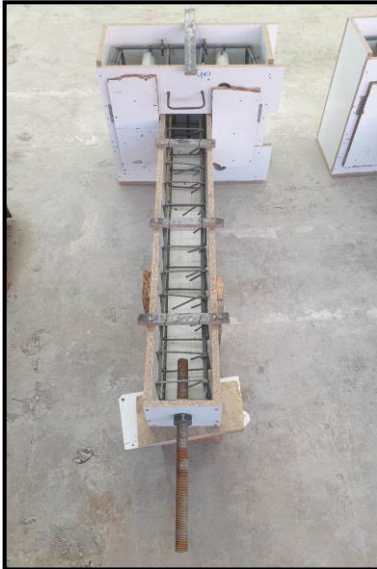
Tüm kalıp birleştirmeleri ve demir hazırlıkları tamamlandıktan sonra kalıpların içerisine donatılar, pvc borular, paspayı bırakılmasını sağlayan plastikler yerleştirilmiştir (Şekil 5.24.). Ek olarak temelin üst bölümlerinden 2 demir kanca geçirilmiştir, bunun sebebi numunelerin taşınmasını sağlamaktır. Beton dökümü sırasında kalıplarda genişleme olmaması için ince suntalamlar yardımıyla kalıplar sabitlenmiştir (Şekil 5.25.). Kolonun en üst tarafına ise beton kütleli oturabilmek için her numuneye 1'er adet tij yerleştirilmiştir (Şekil 5.26.).



Şekil 5. 24 Kalıp ve demir arasında paspayı bırakılması



Şekil 5. 25 İnce suntalamlar yardımıyla kalıpların sabitlenmesi



Şekil 5. 26 Numunelere yerleştirilen tij ile birlikte beton dökümü öncesi numunelerin son hali

Aynı zamanda beton kütleinin de kalıp, demir uygulamaları tamamlanmış ve beton dökümü öncesinde kalıp iyice sağlamlaştırılmıştır (Şekil 5.27.).



Şekil 5. 27 Kütlenin beton dökümü için hazır görünüşü

### 5.6. Farklı Beton Basınç Dayanımlarının Sağlanması İçin Küp ve Silindir Numunelerin Hazırlanması ve Dayanım Testlerinin Uygulanması

6 farklı beton sınıfı kullanarak hazırlanacak olan numunelerin ön çalışması olarak TS 802-2016 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları standardı referans alınarak hesaplamalar yapılmıştır. 150x150x150 mm'lik beton küp numuneler dayanım testi yapılmak üzere hazırlanmıştır. Metraj hesabı ile 1 numuneye düşen m<sup>3</sup> belirlendiğinde hacimlerin hazır beton temininin sağlanması için çok düşük kaldığı görülmüştür. Betonların hepsi temin edilemediği için laboratuvarında hazırlanmıştır. Sadece C16/20'lik betonun kullanılacağı bir kolon numunesi ve beton kütlenin dökümü için beton karışımı hazır olarak getirtilmiştir.

Beton dayanımlarını sağlayabilmek için her karışımdan 3'er adet olmak üzere 15 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hesaplamalar Çizelge 5.2.'de verilmektedir.

**Çizelge 5. 2** Farklı beton basınç dayanımları için hazırlanan hesaplamalar

<b>C16/20</b>						
	<b>Karışım A</b>		<b>Karışım B</b>		<b>Karışım C</b>	
	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)
Su/Çimento	0,84	0,84	0,8	0,8	0,84	0,84
Çimento	225	0,91	200	0,81	180	0,73
Su	194,471	0,79	165,754	0,67	157,071	0,64
İnce Agregası(Kum)	1000,03	4,05	1051,817	4,26	1073,142	4,35
İri Agregası (Çakıl)	818,203	3,31	860,577	3,49	878,025	3,56
<b>C20/25</b>						
	<b>Karışım A</b>		<b>Karışım B</b>		<b>Karışım C</b>	
	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)
Su/Çimento	0,76	0,76	0,73	0,73	0,76	0,76
Çimento	250	1,01	250	1,01	200	0,81
Su	195,402	0,799	187,958	0,76	157,815	0,64
İnce Agregası(Kum)	987,333	4	997,805	4,04	1062,987	4,31
İri Agregası (Çakıl)	807,818	3,27	816,386	3,31	869,717	3,52
<b>C25/30</b>						
	<b>Karışım A</b>		<b>Karışım B</b>		<b>Karışım C</b>	
	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)
Su/Çimento	0,69	0,69	0,69	0,69	0,65	0,65
Çimento	300	1,22	250	1,01	270	1,09
Su	212,148	0,86	178,035	0,72	180,962	0,73
İnce Agregası(Kum)	941,001	3,81	1011,768	4,1	998,542	4,04
İri Agregası (Çakıl)	769,91	3,12	827,810	3,35	816,988	3,31
<b>C30/37</b>						
	<b>Karışım A</b>		<b>Karışım B</b>		<b>Karışım C</b>	
	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)
Su/Çimento	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Çimento	300	1,22	330	1,34	270	1,09
Su	188,332	0,76	206,417	0,84	170,245	0,69
İnce Agregası(Kum)	974,513	3,95	935,403	3,79	1013,62	4,11
İri Agregası (Çakıl)	797,329	3,23	765,33	3,1	829,327	3,36
<b>C35/45</b>						
	<b>Karışım A</b>		<b>Karışım B</b>		<b>Karışım C</b>	
	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)	kg/m <sup>3</sup>	1 küp (kg)
Su/Çimento	0,55	0,55	0,57	0,57	0,55	0,55
Çimento	350	1,42	300	1,22	300	1,22
Su	197,635	0,8	176,423	0,71	170,469	0,69
İnce Agregası(Kum)	938,654	3,8	991,268	4,01	999,646	4,05
İri Agregası (Çakıl)	767,989	3,11	811,038	3,28	817,892	3,31

Hazır beton olarak temin edilecek dayanımı C18/22 olan 1 adet beton numune haricinde laboratuvarında hazırlanacak 5 numunenin her bir beton sınıfı için 3'er adet farklı değerlerde beton karışımı hazırlanmıştır. Dayanım değeri en yakın olan sonuca ait hesaplamalar betonarme kolon numunelerde kullanılmak üzere toplam 15 karışım yapılmıştır. Karışım aşamalarında ilk olarak hava koşullarından dolayı ince ve iri agrega nemlendiği için (Şekil 5.28.) etüv fırında 180°C'de yaklaşık 6 saat kurutulmuştur, aynı zamanda kurutma makinesi yardımıyla kurutma işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 5.29.).



Şekil 5. 28 Kum ve agreganın hava koşullarından etkilenmesi



Şekil 5. 29 Etüv fırında ve kurutma makinesinde agrega ve kumun kurutulması

Deney için uygun koşullara getirilen agrega ve kumlar Çizelge 5.2.'de verilen ağırlıklarda tartılarak hazırlanmıştır, tartım işleminde kapların daraları alınmış olup tartılan değerlerin hesaplamalarla aynı olmasına son derece dikkat edilmiştir (Şekil 5.30.). Çimentolar da ayrı ayrı tartılmıştır (Şekil 5.31.).

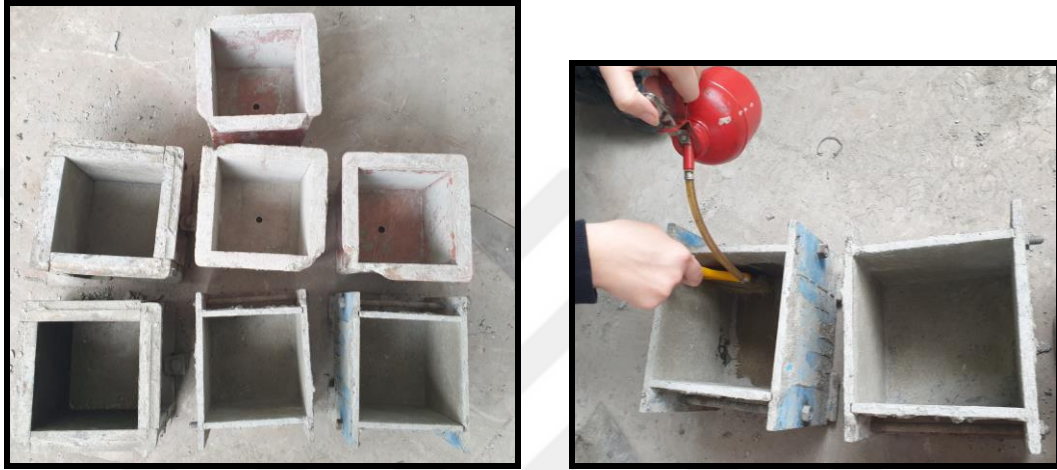


Şekil 5. 30 İri ve ince (kum) agregaların beton dökümü için hazırlanması



Şekil 5. 31 Beton karışımı için tartımı yapılan çimentolar

Çizelge 5.2.'de verilen ağırlıklarda tüm numune bileşenleri hazırlandıktan sonra 150x150x150 mm'lik kalıplar mazot ile yağlanarak beton dökümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.32.). Beton karışımının homojen olarak hazırlanması için kovaya alınması gereken malzemeler; agrega, kum ve çimento olarak sıralanmıştır. İlk olarak agrega ve kum 1-1,5 dakika kadar karıştırılmıştır. Sonrasında çimento eklenerek malzemeler homojen olana kadar el mikseri ile karıştırılmaya devam edilmiştir. En son olarak ise belirlenen miktarda su adım adım eklenerek karışım hazırlanmıştır (Şekil 5.33.). Her 15 numune için de aynı şekilde uygulamalar yapılmıştır.



Şekil 5. 32 Kalıpların temizlenerek yağlanması



Şekil 5. 33 Beton karışımının hazırlanması



El mikseri ile karıştırılan beton, küp numunelere ilk olarak üçte biri doldurularak 25 defa vuruş yapılmıştır. Aynı işlem 3 sefer tekrarlanmış olup son olarak küp kalıpların yüzeyi mala yardımıyla temizlenmiştir (Şekil 5.34. ve Şekil 5.35.). Küp numuneler 24 saat bekletildikten sonra kalıplarından çıkartılarak su dolu varillerin içerisinde minimum 7 gün olacak şekilde bekletilmiştir. Bunun sebebi 7 günlük sürede beton çok hızlı bir şekilde dayanım kazanmaktadır.



Şekil 5. 34 Beton karışımının küp numunelere homojen olarak yerleştirilmesi



**Şekil 5. 35** Beton karışımının küp numunelere yerleşimi

Küp numuneler 24 saatin sonunda kompresör yardımıyla kalıplardan çıkartılarak 7 gün suyun içinde bekletilmiştir (Şekil 5.36.).



**Şekil 5. 36** Küp numunelerin kalıplardan çıkartılması

Suyun içindeki numuneler 7. günün sonunda 16,8 kN/s'lik yükleme hızı altında dayanım testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.37.).



Şekil 5. 37 Beton basınç deneylerinin yapılması

Dayanım sonuçları elde edilen beton numunelerin C16/20 A karışımı ve C35/45 A karışımlarının sağlandığı görülürken; C20/25, C25/30 ve C30/37 karışımlarına ait beton sınıflarının sağlanamadığı görülmüştür. Yeniden 6 farklı beton karışımı hesaplamaları yapılarak (Çizelge 5.3.) küp numunelere aynı uygulamalarla beton dökümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.38.).

Çizelge 5. 3 Beton dayanımı sağlamayan numuneler için yeniden karışım hesaplaması

	<b>C20/25 4. Karışım</b>	<b>C20/25 5. Karışım</b>
	1 küp (kg)	1 küp (kg)
Çimento	1,46	1,56
Su	0,87	0,8
İnce Agrega(Kum)	3,79	3,74
İri Agrega (Çakıl)	3,1	3,06
	<b>C25/30 4. Karışım</b>	<b>C25/30 5. Karışım</b>
	1 küp (kg)	1 küp (kg)
Çimento	1,62	1,68
Su	0,87	0,91
İnce Agrega(Kum)	3,71	3,69
İri Agrega (Çakıl)	3,04	3,02
	<b>C30/37 4. Karışım</b>	<b>C30/37 5. Karışım</b>
	1 küp (kg)	1 küp (kg)
Çimento	1,72	1,82
Su	0,78	0,89
İnce Agrega(Kum)	3,7	3,64
İri Agrega (Çakıl)	3,02	2,98



Şekil 5. 38 Yeniden hesaplamalarla geçekleşen beton dökümleri

Beton dökümleri gerçekleşen beton karışımları yine aynı şekilde 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılmıştır ve en az 7 gün olacak şekilde su dolu varilde numuneler bekletilmiştir. 12. gününde beton basınç dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan test sonuçları Çizelge 5.4.'te verilmiştir.

**Çizelge 5. 4** Beton karışımı yapılan numunelerin dayanım sonuçları

		<b>12 Günlük Dayanımı (MPa)</b>	<b>28 Günlük Dayanımı (MPa)</b> <b>= 12 Günlük*1,11127</b>	<b>Beton Sınıfı</b>
<b>C20/25</b> <b>4.Karışım</b>	595,6 kN	26,47111	29,416597	C20/25
<b>C20/25</b> <b>5.Karışım</b>	620,8 kN	27,59111	30,661221	C25/30
<b>C25/30</b> <b>4.Karışım</b>	614,7 kN	27,32	30,359943	C25/30
<b>C25/30</b> <b>5.Karışım</b>	668,2 kN	29,69778	33,0023	C25/30
<b>C30/37</b> <b>4.Karışım</b>	721,2 kN	32,05333	35,619962	C25/30
<b>C30/37</b> <b>5.Karışım</b>	754,6 kN	33,53778	37,269583	C30/37

Tüm yapılan beton karışım hesaplamaları ve uygulamaları sonucunda; C18/22 (SN-02) ve eksenel yükü sağlayacak kütleli beton hazır beton olarak temin edilmiştir.

C16/20 (SN-01) Betonu için C16/20 A Karışımı,

C20/25 (SN-03) Betonu için C20/25 4. Karışım,

C25/30 (SN-04) Betonu için C25/30 5. Karışım,

C30/37 (SN-05) Betonu için C30/37 5. Karışım,

C35/45 (SN-06) Betonu için C35/45 A Karışımı referans alınmıştır. Yapılan tüm beton basınç deneyleri sonucunda çeşitli çıkarımlar elde edilmiştir. Hesaplamalar yaklaşık 0,2 m<sup>3</sup> (bir numune ve 3 silindir numune hacmi) beton karışımı için revize edilmiş ve uygulamaya ilk olarak agrega, kum ve çimentonun tartımı ile başlanmıştır (Şekil 5.39.).



**Şekil 5. 39** Beton karışımları için malzemelerin tartılması ve karışıma hazır hale getirilmesi

Hazırlanmış olan malzemeler sonucunda SN-01, SN-03, SN-04, SN-05, SN-06 beton karışımları betoniyerde ilk olarak agrega-kum, sonrasında çimento ve yavaş yavaş su ilavesi yapılarak 2 dakika kadar sürekli çevrilmiştir (Şekil 5.40.).



**Şekil 5. 40** Betoniyerde 5 farklı beton karışımının yapılması

Betoniyerde homojen olana kadar karıştırılan beton, el arabasına alınarak kalıplara dökülmüştür (Şekil 5.41.).



**Şekil 5. 41** Homojen karışım elde edilen betonun el arabasına alınması

Kaliba dökülürken vibratör yardımı ile betonun homojen bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 5.42.). Vibratör her numunede, temel ve kolonun belirli yerlerinde birkaç defa kullanılmıştır.



Şekil 5. 42 Betonun vibratör yardımı ile düzgün şekilde yerleşimi

Beton dökümleri gerçekleşen SN-01, SN-03, SN-04, SN-05 ve SN-06 kolonlarının yüzeyleri mala yardımı ile düzeltilmiştir (Şekil 5.43.). Betonarme numunelerin dayanımlarını almaları için numunelere dökülmüş son hali Şekil 5.44.'te verilmiştir.



Şekil 5. 43 Mala yardımı ile beton yüzeylerinin düzeltilmesi



**Şekil 5. 44** Beton dökümü gerçekleşen numunelerin son hali

Tüm bu uygulamalara eş zamanlı olarak betoniyerde hazırlanan her beton karışımından 3'er adet 150mmx300mm silindir numunelere, aynı küp numunelerde olduğu gibi 3 seferde ve 25'er vuruşta yerleştirilmiştir (Şekil 5.45.). Dayanım testleri uygulanmak üzere toplam 15 adet silindir numune elde edilmiştir.



**Şekil 5. 45** Her numuneden elde edilen 3'er adet silindir numuneler

Sarsma tablasında dinamik analiz aşamasına geçmeden önce betonarme numuneler 28 gün dayanımlarını kazanması için bekletilmiştir (Şekil 5.46.). Betonarme numunelerin iki gün sonunda kalıpları sökülüştür. Yaklaşık 1 hafta çatlama önlemek için sulama işlemi uygulanmıştır. 28 günün sonunda dayanımlarını kazanan silindir numuneler ise basınç dayanım testine tabi tutulmuştur (Şekil 5.47.).





Şekil 5. 46 Betonarme numuneler ve kütlelerin dinamik analiz öncesi hazır hali



Şekil 5. 47 Silindir numunelerin 28 gün sonunda dayanımlarının elde edilmesi

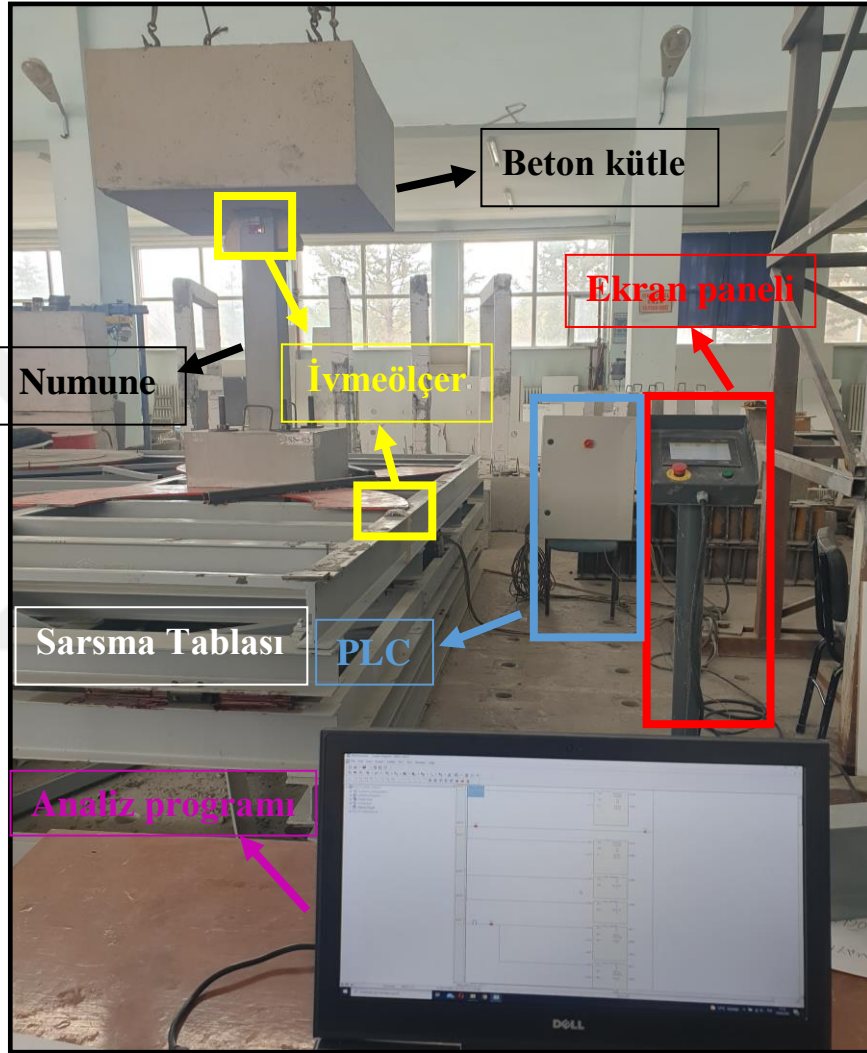
Yapılan testler sonucunda 28 günlük silindir dayanım sonuçları Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5. 5 Planlanan ve elde edilen beton sınıfları

Planlanan Beton Sınıfı	Elde Edilen Beton Sınıfı
C16/20	16,77 MPa
C18/22 ve beton kütle	18,4 MPa
C20/25	20,83 MPa
C25/30	25,72 MPa
C30/37	30,36 MPa
C35/45	38,63 MPa

## 6. SARSMA TABLASI İLE DİNAMİK ANALİZ DENEYLERİNİN YAPILIŞI

Operasyonel modal analiz ile numunelerin modal parametrelerini belirlemek üzere 6 adet numunenin deney düzeneği Şekil 6.1.'de verilmiştir. Deneylerde beton kütle vinç yardımı ile kolon numunelerinin üzerine sabitlenmiştir. Sabitlendikten sonra vincin halatları gevşetilerek güvenli kalması için deney esnasında üzerinde bırakılmıştır (Şekil 6.2.).



Şekil 6. 1 Sarsma tablası ve deney düzeneği



Şekil 6. 2 Vinç yardımı ile yerleştirilen beton kütle

Bilgisayar programıyla hazırlanan yazılım programı ile deney esnasında sarsma tablasına Kobe depreminde Kakogawa istasyonundaki titreşim baz alınarak ivme olarak yaklaşık 0,2g'lik yükleme yapılmıştır. Deneyin başlatılması ve durdurulması ekran paneli ile sağlanmaktadır. Verilerin sarsma tablasındaki motora aktarımını ise PLC (elektrik panosu) gerçekleştirmektedir. Uygulamada sarsma tablasının sadece y yönü kullanılarak yani tek yönlü deprem kuvveti verilerek deney yapılmıştır.

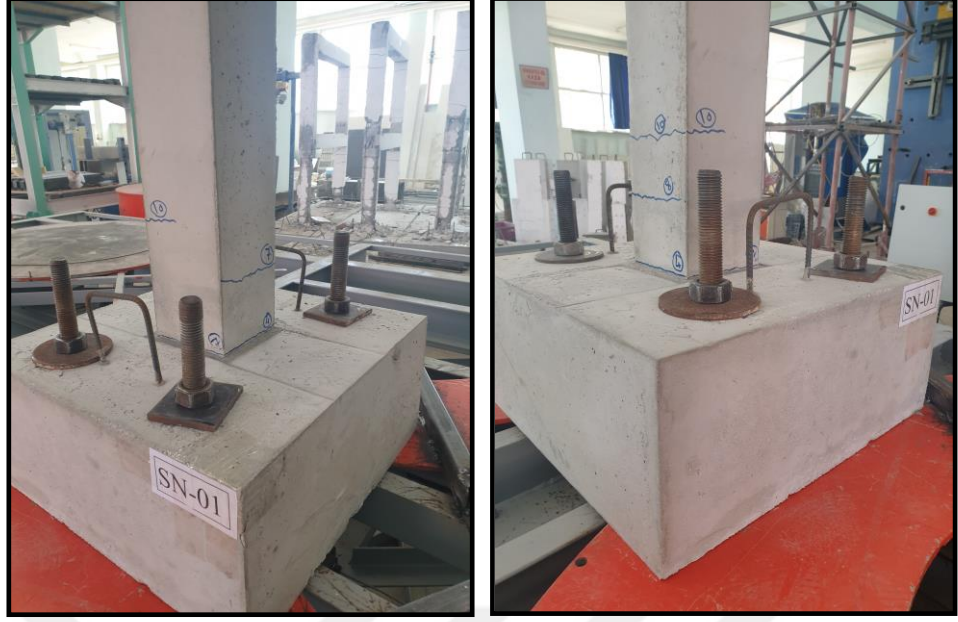
Elde edilen ivme-zaman kayıtları Seismosignal ve Orijin Pro programı ile ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafiklerine dönüştürülmüştür. Bu grafiklerde hata ayıklamaları ve filtre işlemleri yapılmıştır. Ardından elde edilen grafikler kullanılarak yine program vasıtasıyla Fourier Amplitude grafiklerine geçilmiştir. Sonuç grafiklerinden de yapının dinamik parametreleri yani doğal titreşim frekansları, periyotları, sönüm oranları belirlenmiştir.

### 6.1. SN-01 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması

Deney düzeneğinde ilk olarak SN-01 numunesi dinamik teste tabi tutulmuştur (Şekil 6.3.). SN-01 numunesinin beton sınıfı 16,77 MPa'dır. Tüm numunelerde olduğu gibi SN-01 numunesine 10 kere 0,2g ivme değeri ile sarsma tablasında y yönünde sarsıntı verilmiştir. 10 çevrim sonucu numunede oluşan kılcal çatlaklar Şekil 6.4.'de verilmiştir.



Şekil 6. 3 SN-01 numunesinin deney öncesi genel görünümü



Şekil 6. 4 SN-01 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar

İlk 3 çevrim süresince 0,2g ivme ve aksenal yük altındaki SN-01 numunesinde herhangi bir hasar görülmemiştir. 4. çevrim sonucunda sağ ve sol taraf birleşim bölgelerinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bir sonraki hasar 7. Çevrim sonucunda birleşim bölgesinin ön yüzeyinde ve sağ yüzeyin etriye aralığında oluşmuştur. 8. Çevrim sonucunda sol yüzeyde tam etriye yüzeyine denk gelen yerde ve arka yüzeyde çatlak oluşmuştur. 10. Çevrim sonucunda birleşim bölgesine 20 cm'lik mesafede sol yüzey ve ön yüzey köşesinde mikro çatlaklar meydana gelmiştir. Genel olarak kılcal çatlakların etriye yüzeylerinde olduğu görülmektedir (Şekil 6.5.).



Şekil 6. 5 SN-01 numunesi sol yüzeyindeki kılcal çatlaklar

## 6.2. SN-02 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması

Hazır beton olarak temin edilen, dayanımı 18,4 MPa olan SN-02 numunesinin genel görünümü Şekil 6.6.'da verilmiştir. Numunede oluşan kılcal çatlaklar Şekil 6.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 6. 6 SN-02 numunesinin deney öncesi genel görünümü  
SN-02 numunesine 10 kere uygulanan 0,2g ivmelik titreşim ile 7. çevrim sonucunda sağ ve arka birleşim bölgesinde, 10. çevrim sonucunda sol birleşim bölgesinde kılcal çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 6. 7 SN-02 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar

### 6.3. SN-03 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması

Beton basınç dayanımı 20,83 MPa olan SN-03 numunesi yine aynı şekilde 0,2g ivme ile 10 kere sarsıntıya maruz bırakılmıştır (Şekil 6.8.) Deney sonucunda oluşan kılcal çatlaklar Şekil 6.9.'da verilmiştir.



Şekil 6. 8 SN-03 numunesinin deney öncesi genel görünümü



Şekil 6. 9 SN-03 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar

SN-03 numunesinin 5. çevrimi sonucunda ön köşe yüzeyde, sağ birleşim bölgesinde ve sol tarafın birleşim bölgesinin 1 cm üzerinde kılcal çatlaklar görülmüştür. 7. çevrim sonucunda ise sağ yüzeyde etriye mesafesinde kılcal çatlak, 10. çevrimde ise arka, sağ ve sol yüzeylerde çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlakların hepsi son derece küçüktür.

#### 6.4. SN-04 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması

25,72 MPa beton sınıfına sahip olan SN-04 numunesinin genel görünümü Şekil 6.10.'da verilmiştir. 5. çevrim sonucunda kılcal çatlaklar önceki numunelerde de olduğu gibi etriye aralıklarında oluşmuştur (Şekil 6.11.). Bunun sebebi pas payının düşük bırakılmasıdır. Bu tür kılcal çatlaklar atalet momentini azaltmamaktadır. Deney sonucunda oluşan kılcal çatlaklar ise Şekil 6.12.'de gösterilmektedir.



Şekil 6. 10 SN-04 numunesinin deney öncesi genel görünümü



Şekil 6. 11 5. çevrim sonucu etriye yüzeylerinde oluşan kılcal çatlaklar

SN-04 numunesi için tüm titreşim testleri tamamlandıktan sonra 5. çevrimde sağ ve sol tarafta Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi etriye mesafelerinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. 8. çevrimde ise ön tarafta hem birleşim bölgesinde hem de 10 cm'lik mesafede kılcal çatlaklar oluşmuştur (Şekil 6.12.).



Şekil 6. 12 SN-04 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar

#### 6.5. SN-05 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması

Beton basınç dayanımı 30,36 MPa olan SN-05 numunesinin deney öncesi görünümü Şekil 6.13.'te verilmiştir. Deney sonucunda oluşan kılcal çatlaklar ise Şekil 6.14.'te gösterilmektedir. Numunede oluşan kılcal çatlaklar beton dayanımından bağımsız olarak pas payının yüzeye çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. 13 SN-05 numunesinin deney öncesi genel görünümü

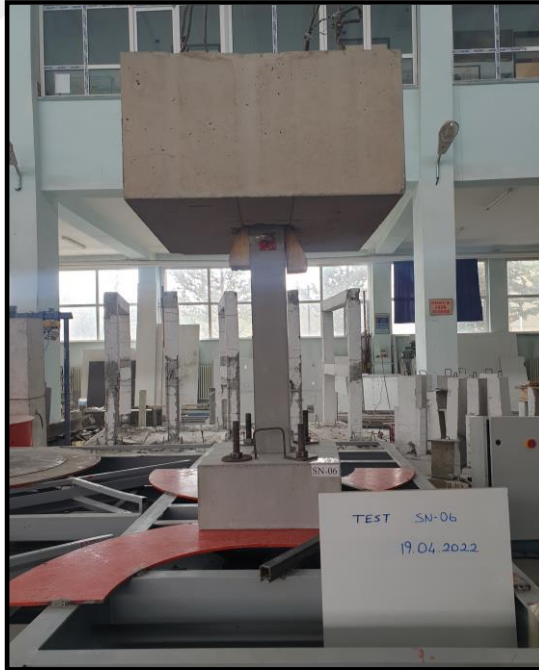




**Şekil 6. 14** SN-05 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar  
SN-05 numunesinde oluşan mikro çatlaklar sağ ve sol tarafta 5. ve 9. Çevrimde meydana gelmiştir. Kılcal çatlakların konumu incelendiğinde etriye yüzeylerinde olduğu hatta bazı etriyelerin yüzeyden görüldüğü saptanmıştır. Bunun sebebi de tamamen numunelerin uygulamasından kaynaklıdır.

#### **6.6. SN-06 Numunesine Sarsma Tablasında Titreşim Uygulanması**

Uygulanan dinamik testlerin son numunesi olan SN-06 numunesi 38,63 MPa beton dayanımına sahiptir. Uygulamaya geçmeden önceki düzeneğin genel görüntüsü Şekil 6.15'te verilmiştir.



**Şekil 6. 15** SN-06 numunesinin deney öncesi genel görünümü

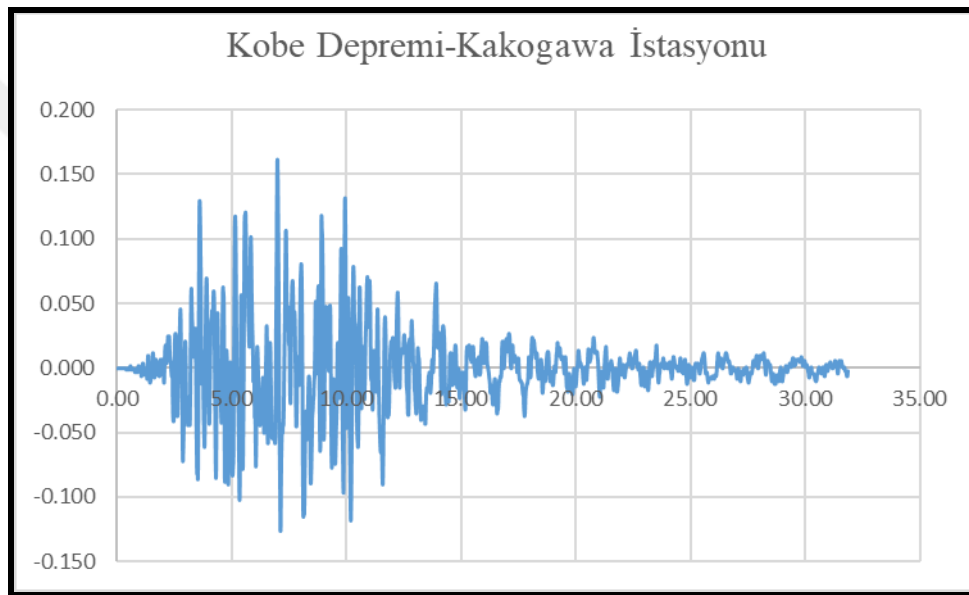
Oluşan kılcal çatlakların konumları Şekil 6.16.'da görünmektedir. 5. çevrim sonucunda sağ ve sol birleşim bölgelerinde kılcal çatlak oluşmuştur. 10. çevrimde ise sağ tarafta etriye yüzeyinde kılcal çatlak oluşumu gözlenmektedir.



Şekil 6. 16 SN-06 numunesinde oluşan mikro çatlaklar

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

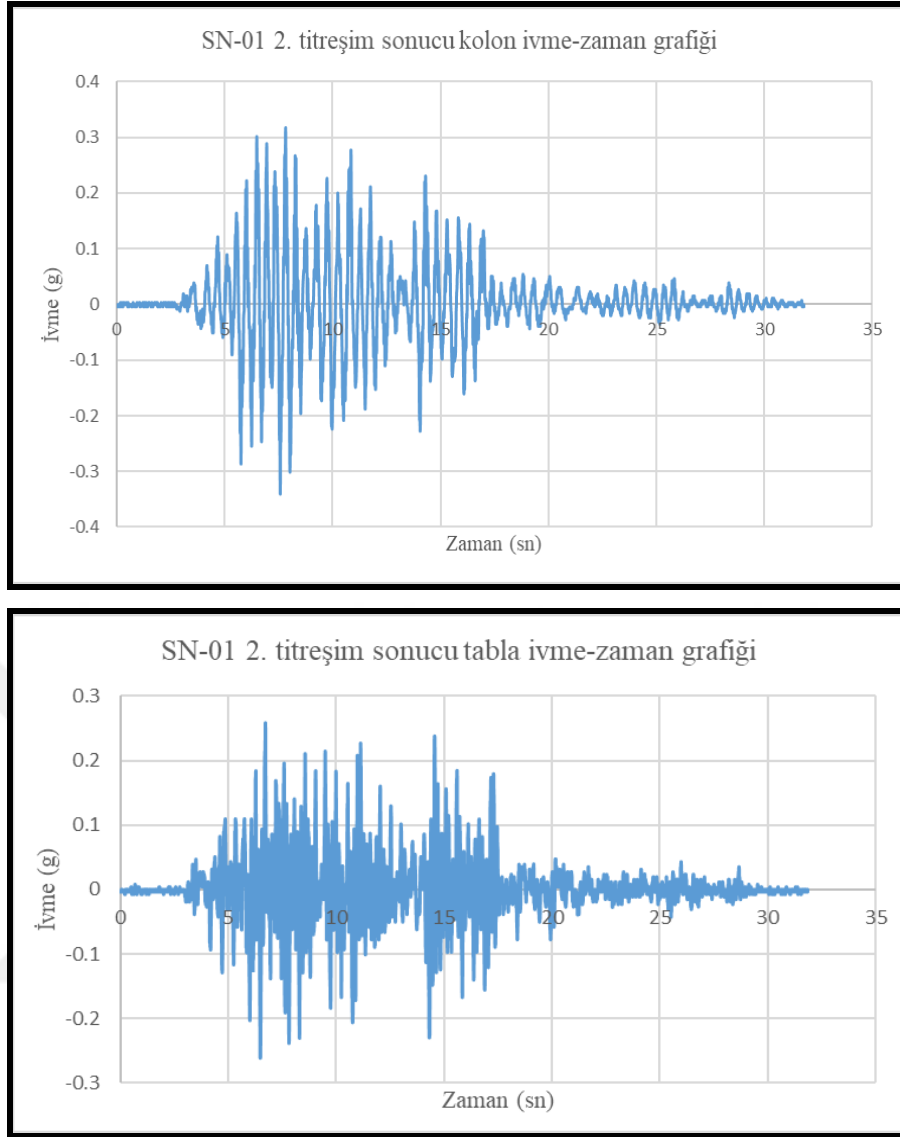
Deneysel çalışmalar sırasında sisteme uygulanan deprem kaydı 1996 Kobe Depremi 1107. İstasyon (Kakogawa istasyonu)'dan 90° yönü için okunan gerçek ivme verisi 0,5 scale factor ile çarpılarak küçültülmüştür (Şekil 7.1.). İvme birimi "g" süre birimi "sn"dir. En büyük ivme değeri yaklaşık olarak 0,2g'dir. Sarsma tablasına deprem kaydına göre komut vermek için PLC WinProLadder yazılım programı kullanılmıştır. Numunelerin her biri 10 kere aynı deprem kaydına maruz bırakılarak sisteme deplasman verilmiştir. Verilen deplasman ile de titreşim uygulanmıştır. Numunelerde mikro çatlak olarak adlandırılabilir hasarlar oluşmuştur. Bu mikro çatlaklar atalet kuvvetini azaltmamaktadır.



Şekil 7. 1 Deney esnasında numunelere uygulanan deprem kaydı

Deneyde 2 adet ADXL345 ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerlerden biri etki kuvvetini ölçmek üzere sarsma tablasına, diğeri ise tepki kuvvetini ölçmek üzere kolon numunelerin üzerine hep aynı bölgeye yerleştirilmiştir. İvmeölçerlerden elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan zaman tanım alanındaki bu verilerin frekans tanım alanına dönüştürülmesi için filtreleme işlemleri uygulanmıştır.

Her bir numune için sarsma tablasında 10'ar kere titreşim uygulanmış ve ilk olarak 6 numunedan toplam 120 adet ivme-zaman grafikleri elde edilmiştir. Numuneye her titreşim kaydı verildiğinde bir tabladan, bir de kolondan olmak üzere 2 farklı veri elde edilmiş, kolon ve tabla ivme-zaman grafikleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Elde edilen ivme-zaman grafiklerinden hem tabla hem de kolon için tipik olarak SN-01 numunesinin 2. titreşimi seçilmiş olup Şekil 7.2.'de verilmiştir.



Şekil 7. 2 SN-01 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen ivme-zaman grafikleri

İvme-zaman grafikleri elde edilirken boş gürültü verileri silinmiştir. İvme değerlerinin başladığı saniyeden 3 saniye öncesi silinerek sıfırlanmıştır. 31,85. saniye sonrası silinerek deprem kaydındaki ivme-zaman grafikleri çıkartılmıştır.

Bulanıklaştırma veya kenar yumuşatma olarak bilinen Alçak Geçiren (Low-Pass) filtresi kullanılmıştır. Filtreleme işleminde boş gürültü verileri silinmiştir. Kesme frekans değeri kolon için 11, tabla için 14,5 alınmıştır yani bu verilerden sonrası alınmamıştır. Excel yardımıyla elde edilen filtreleme sonuçları grafiklere dönüştürülmüştür. Orijin Pro ve Seismosignal programları aracılığıyla Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yapılmıştır. Bu sayede zaman tanım alanından frekans tanım alanına geçilmiştir. FFT işlemi yaparken pencereleme yöntemi uygulanmıştır. Pencereleme yöntemlerinden ise Blackman pencere fonksiyonu tercih edilmiştir.

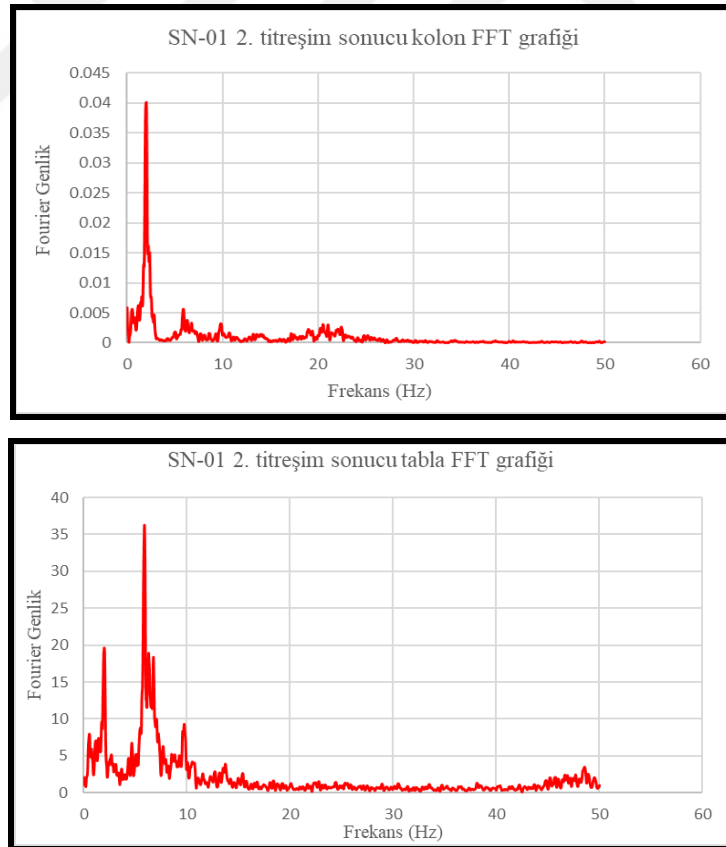
Sonrasında eğri yumuşatma yöntemine geçiş yapılmıştır. FFT grafikleri dalgalı (kademeli) çıktığı için öncelikle eğri yumuşatma yöntemi uygulanmıştır. Eğri yumuşatmada Savitzky-Golay filtresi kullanılmıştır. Bu filtre, yumuşatma işleminde sinyalleri bozmadan verilerin doğruluğunu arttırmaktadır. En küçük kareler yumuşatma filtresi veya dijital çok terimli yumuşatma filtresi olarak da adlandırılmaktadır (Matlab, 2011).

Eğri yumuşatma yönteminin 2 kademesi (parametresi) bulunmaktadır. Bunlar;

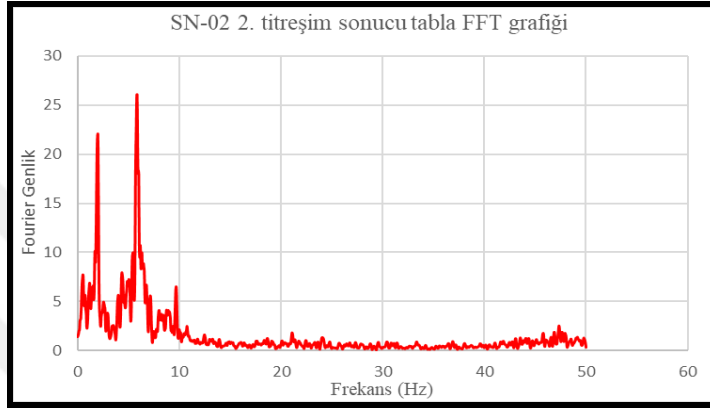
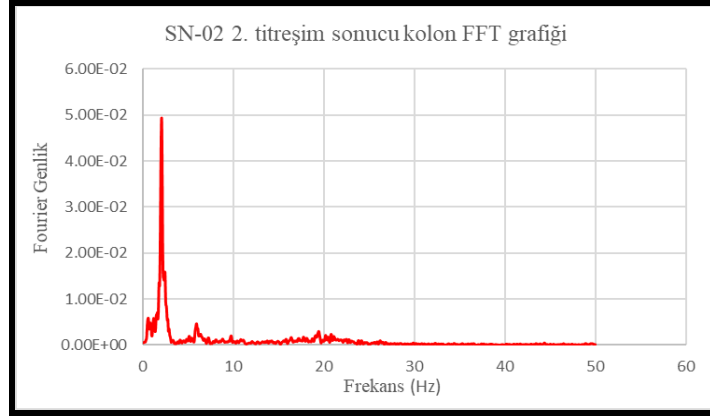
- Pencere sayısı 5 ile 30 arasında bir değer seçilmiştir. Değer seçimi yapılırken sonuçlarla uyumlu olan değer alınmıştır.

- Polinom derecesi 2 alınmıştır.

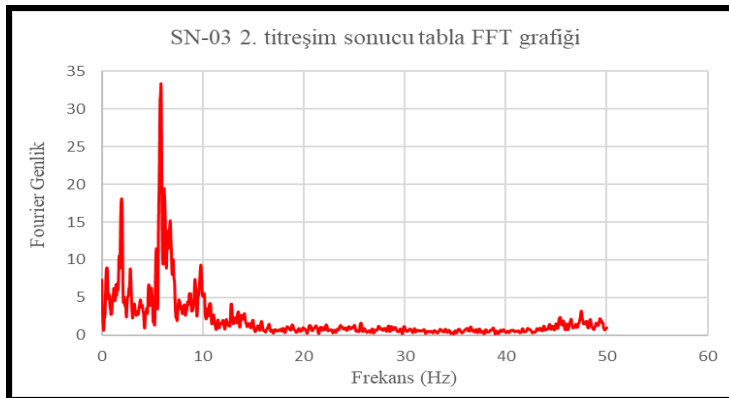
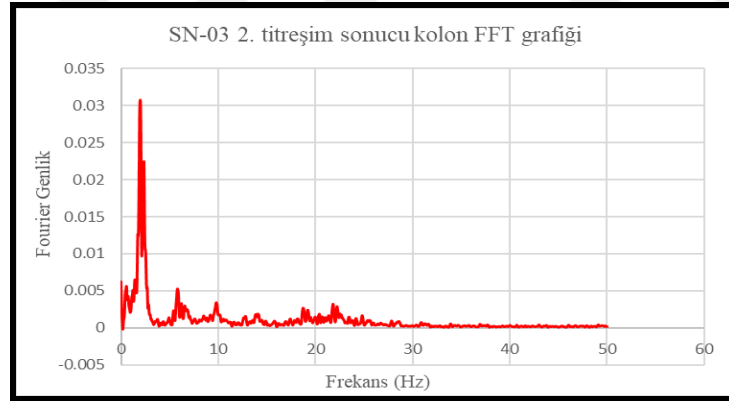
İvme-zaman grafiklerinden FFT grafiklerine geçilmiştir, FFT grafikleri oluşturulurken 50 Hertz'den sonrası silinmiştir (Şekil 7.3., Şekil 7.4., Şekil 7.5., Şekil 7.6., Şekil 7.7. ve Şekil 7.8.).



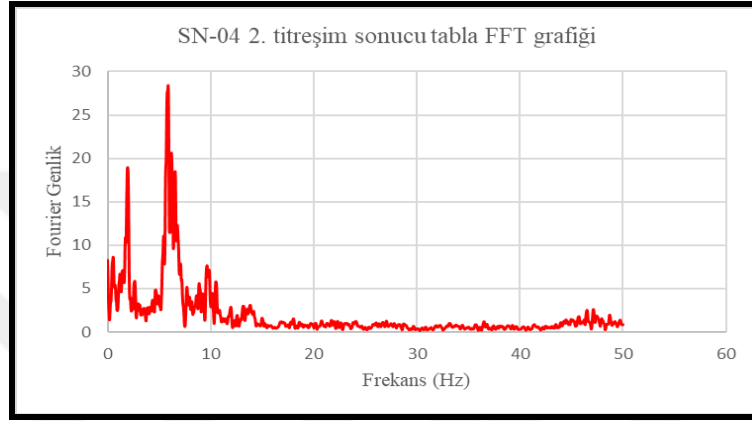
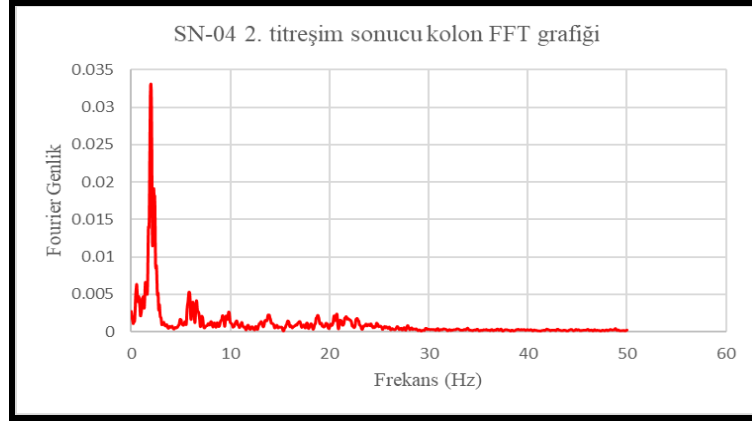
Şekil 7. 3 SN-01 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri



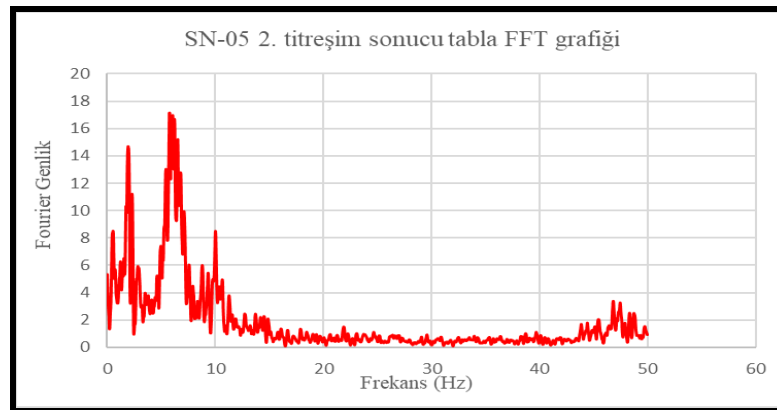
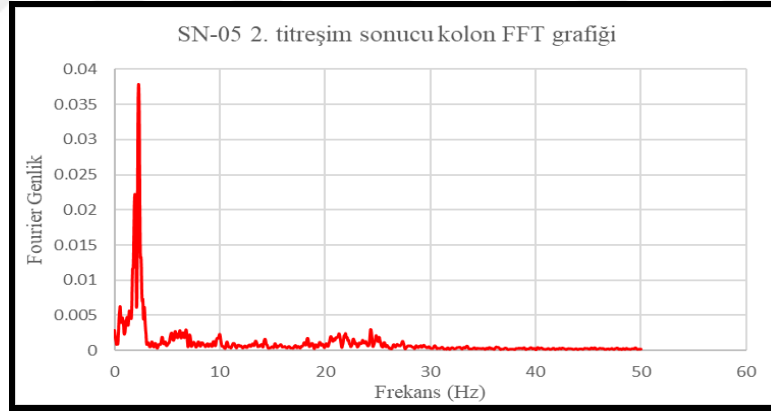
Şekil 7. 4 SN-02 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri



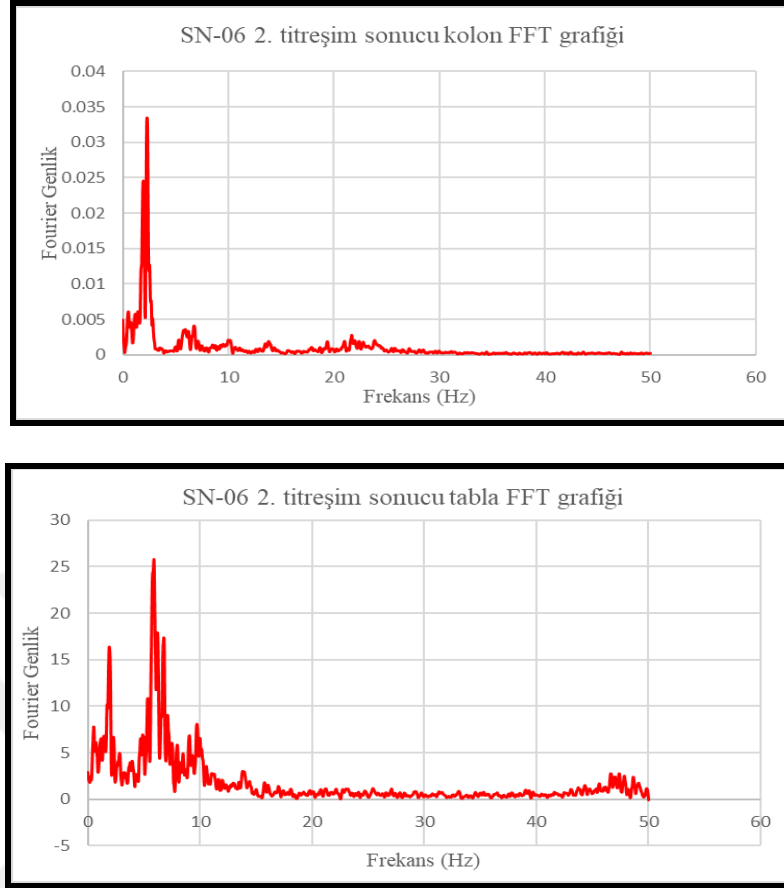
Şekil 7. 5 SN-03 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri



Şekil 7. 6 SN-04 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri



Şekil 7. 7 SN-05 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri



Şekil 7. 8 SN-06 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş FFT grafikleri

Eğri yumuşatma yöntemleri tamamlandıktan sonra Frekans Davranış Fonksiyonu (FRF) grafiklerine geçiş yapılmıştır. İvme cinsinden olan tabla verilerini kuvvete dönüştürmek için 1550 kg ile çarpılmıştır. 1550 kg değeri bir numune ve kütlelerin ağırlığıdır. Çarpım işlemi sayesinde tabla verisi N'a dönüştürülmüştür. Yani etki değeri kuvvet cinsinden bulunmuştur. Tepki kuvveti ise ivme değeri olarak aynı bırakılmıştır. Etki kuvveti tabladaki ivmeölçerden, tepki kuvveti ise kolon numunedeki ivmeölçerden elde edilmiştir. FRF grafiklerine ise tepkinin etkiye bölünmesiyle geçilmiştir.

FRF grafikleri düşey ekseninde genlik, yatay ekseninde frekansı temsil etmektedir. 50 Hertz'e kadar devam etmekte olan FRF grafiklerinde ilk pikin olduğu bölgeye kadar olan kısım alınmıştır. Tepe noktasının daha net görüntülemek yani modal parametrelere daha kolay ulaşabilmek için 5,05 Hertz'den sonraki değerler silinmiştir. Sonrasında ise eğri uydurma yöntemine geçilmiştir. Pik noktalarında eğri uydurma yapılmıştır.



Eğri uydurma yöntemi 3'e ayrılmaktadır. Bu yöntemlerin hepsi tez çalışmasında kullanılmıştır.

- Gauss Eğri Uydurma Yöntemi (geniş geçişli)
- Lorentz Eğri Uydurma Yöntemi (dar geçişli)
- Voigt Eğri Uydurma Yöntemi (geniş ve dar geçişin arasında)

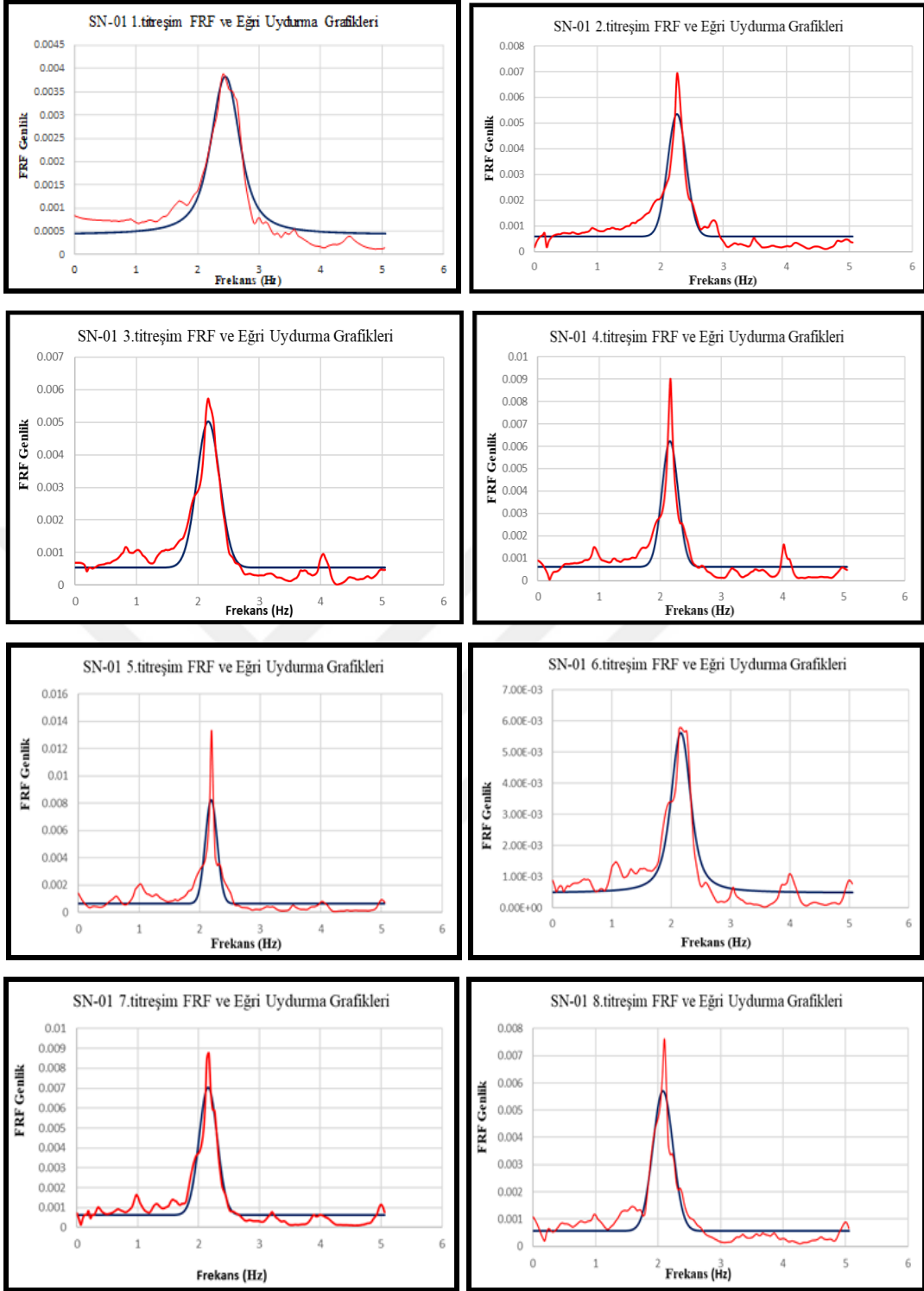
Eğri uydurma yöntemi tamamlandıktan sonra frekans ve sönüm oranları belirlenmiştir. Baskın 1. mod şekli belirlendikten sonra frekans ve sönüm oranlarına geçilmiştir. Frekans değerinden 1. doğal titreşim frekans (hâkim titreşim frekans) değeri bulunmuştur. Doğal titreşim frekansı Denklem 7.1.'de verilmektedir. Bu frekans değeri rijitlik ile doğru orantılıdır. Elastisite modülü, boyut ve atalet momenti rijitliği etkilemektedir. Numunelerde boyut, kütle sabit olduğu ve atalet momenti de değişmediği için doğal titreşim frekansına elastisite modülü etkilemektedir. Elastisite modülü, beton basınç dayanımına etkileyen tüm faktörlerde değişim göstermektedir. Yani beton basınç dayanımı elastisite modülünü etkilemektedir, buna bağlı olarak da rijitlik ve doğal titreşim frekansı değişim göstermektedir.

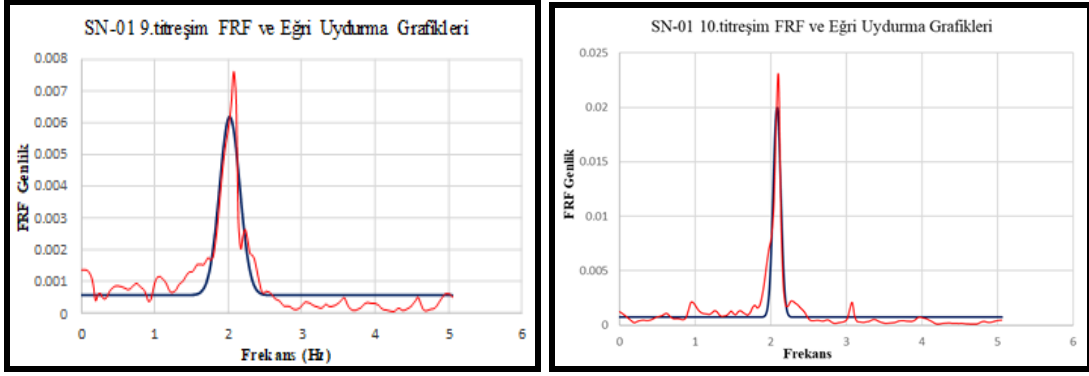
$$f = 1/2\pi \sqrt{(k/m)} \quad (7.1)$$

Hâkim titreşim periyodu değerine hâkim titreşim frekans değerini 1'e bölerek geçilmektedir. Çizgisel frekans değeri  $2\pi$  ile çarpılarak açısal frekans değerlerine ulaşılmaktadır. Her grafikte en yüksek nokta işaretlenerek bu pik noktaları 1. frekansı vermektedir.

6 farklı beton dayanımına sahip numunelerden elde edilen FRF ve Eğri Uydurma grafikleri Şekil 7.9., Şekil 7.10., Şekil 7.11., Şekil 7.12., Şekil 7.13. ve Şekil 7.14.'de verilmiştir. FRF grafiklerini kırmızı çizgiler, eğri uydurma grafiklerini ise mavi çizgiler oluşturmaktadır.

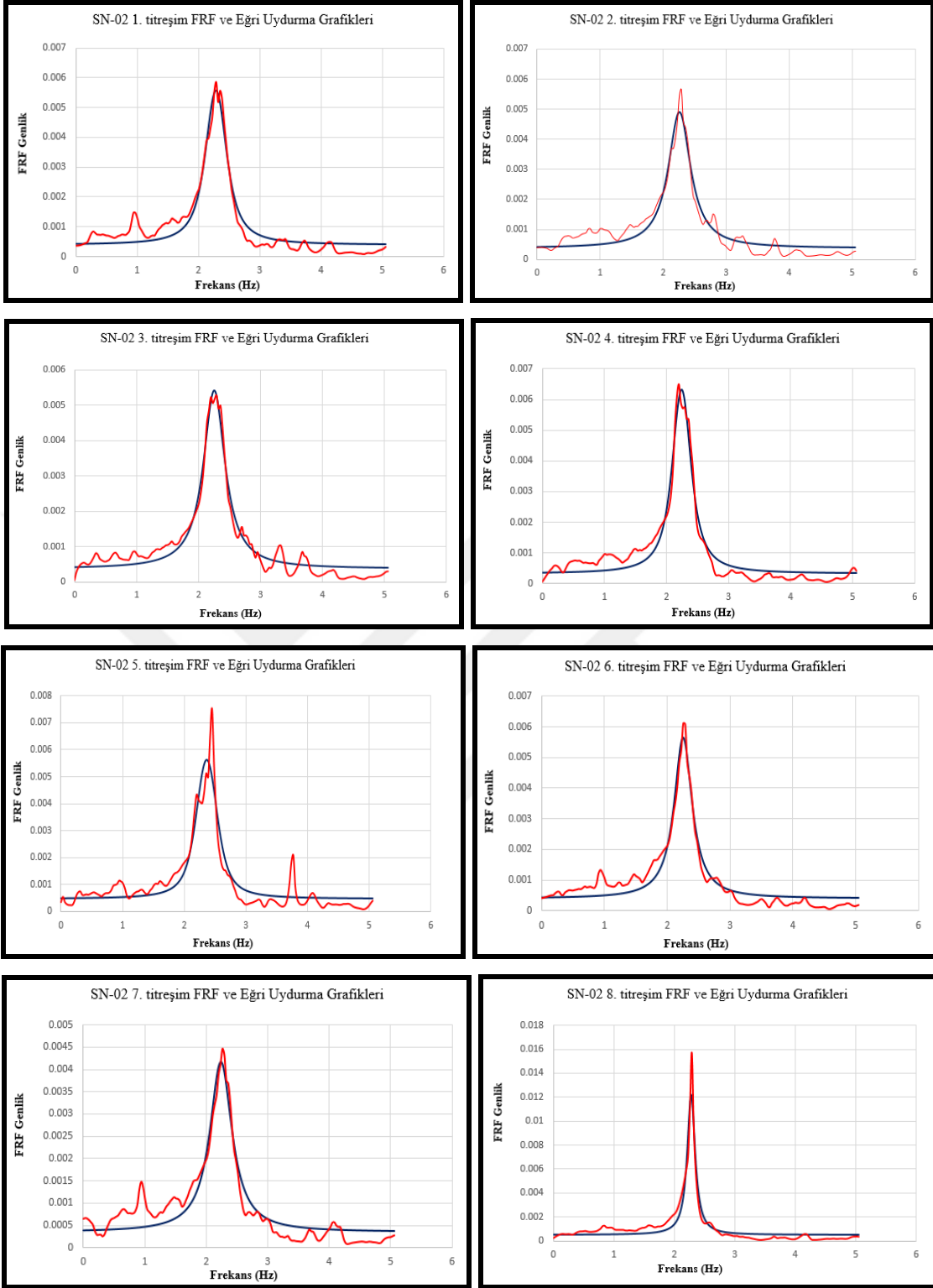
Son olarak yarım güç bant genişlik yöntemi ile sönüm oranları bulunmuştur.

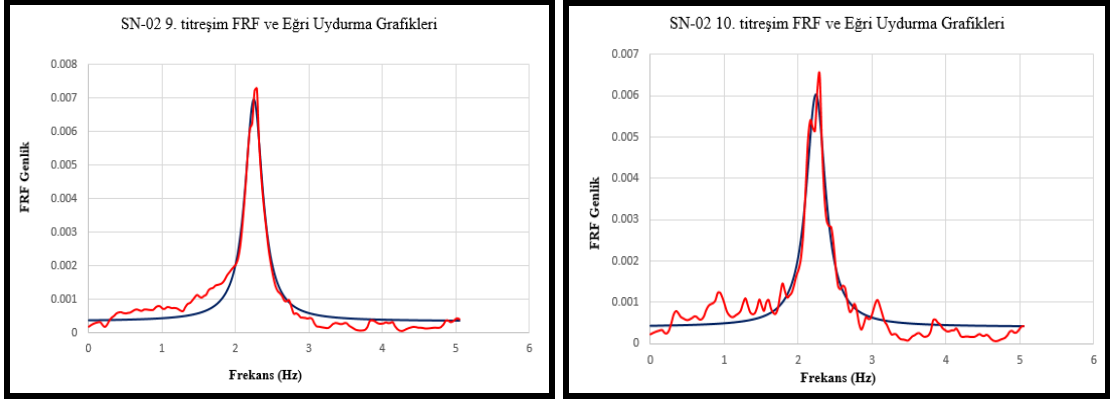




Şekil 7. 9 SN-01 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri

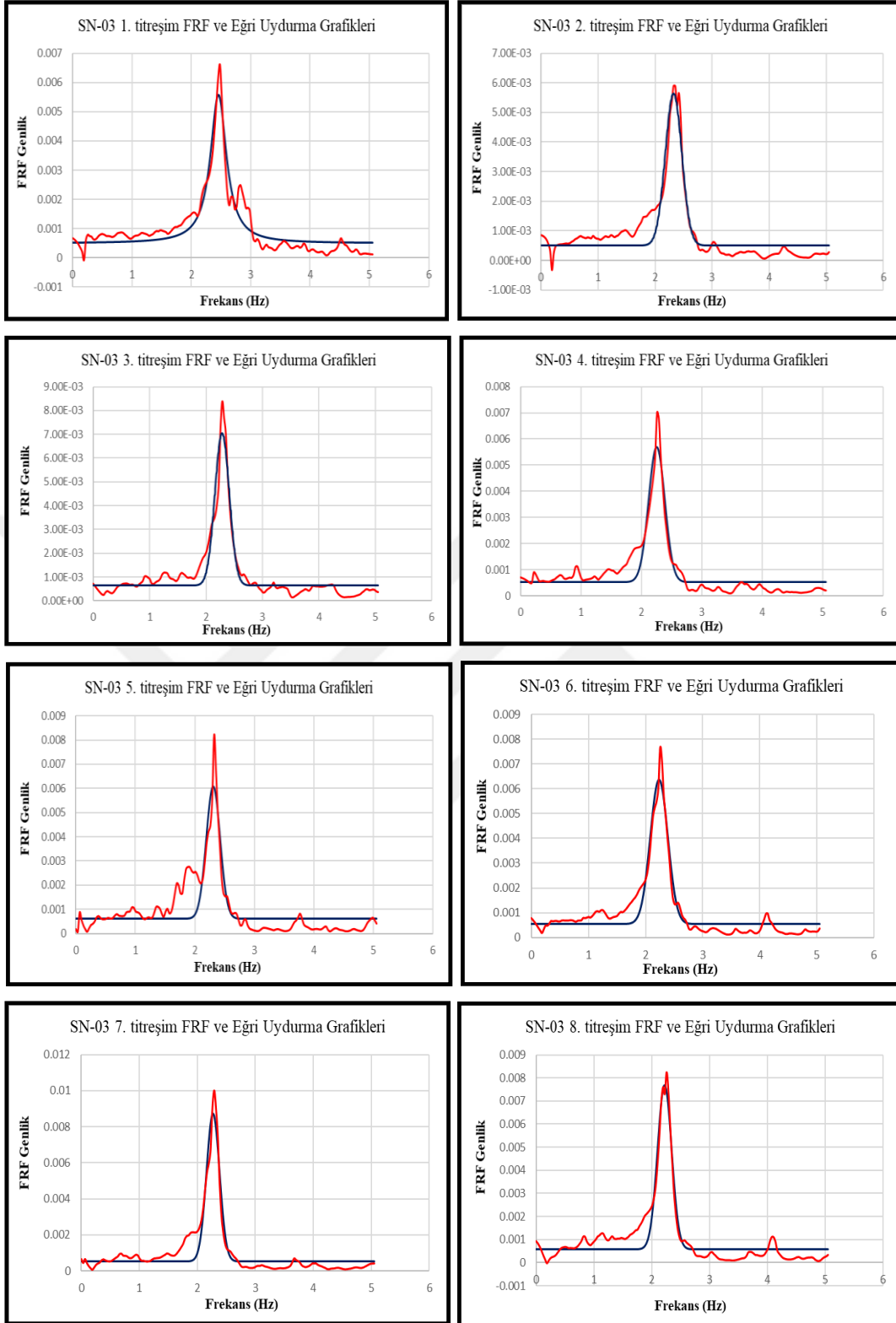


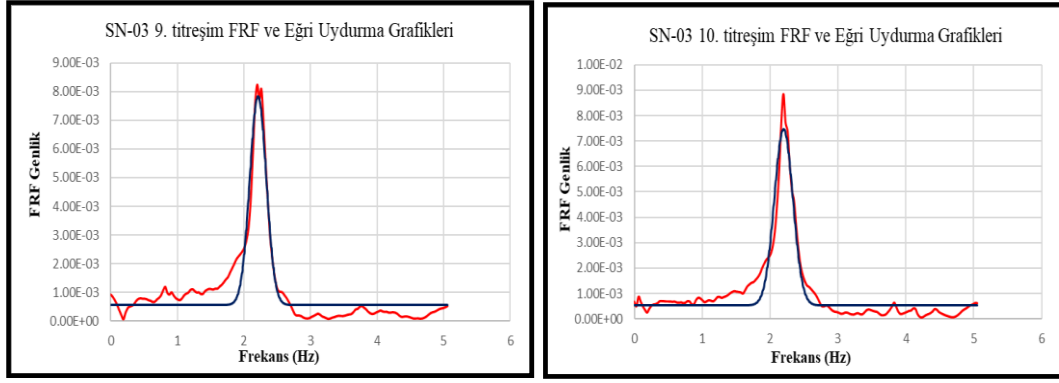




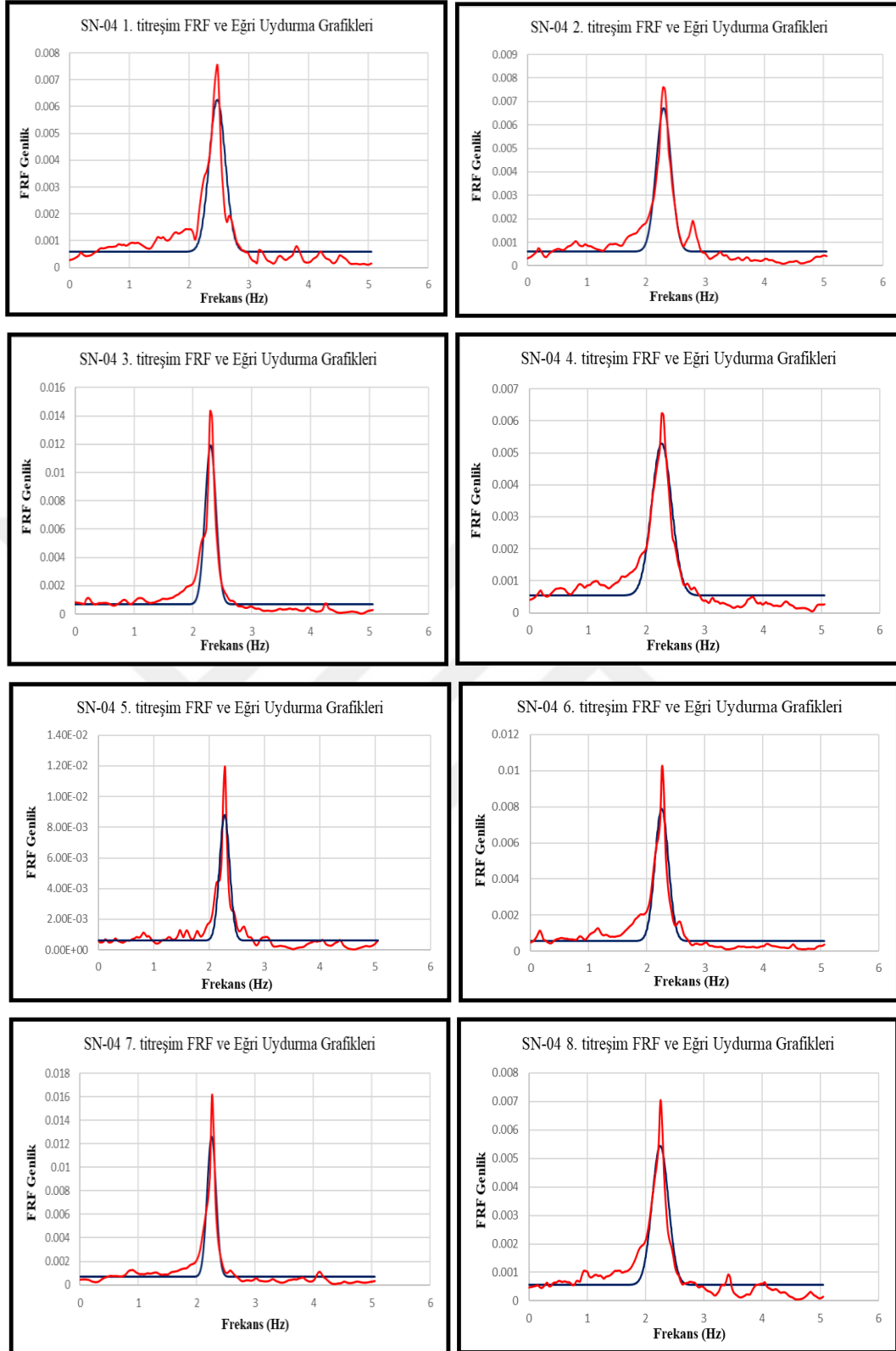
Şekil 7. 10 SN-02 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri



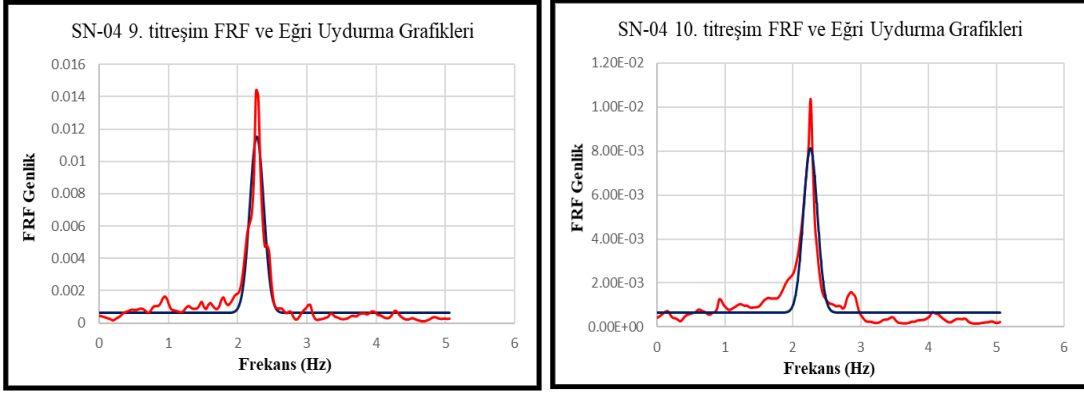




Şekil 7. 11 SN-03 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri

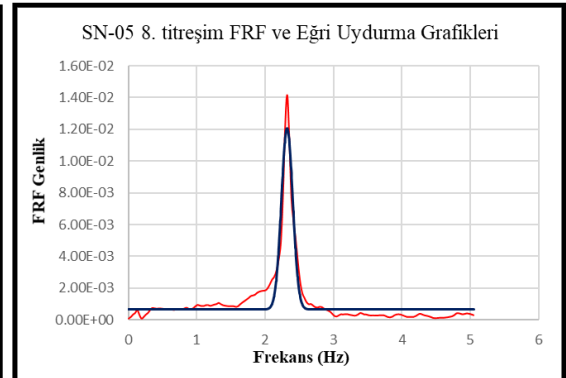
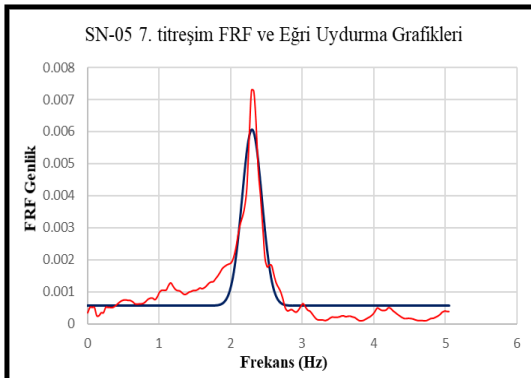
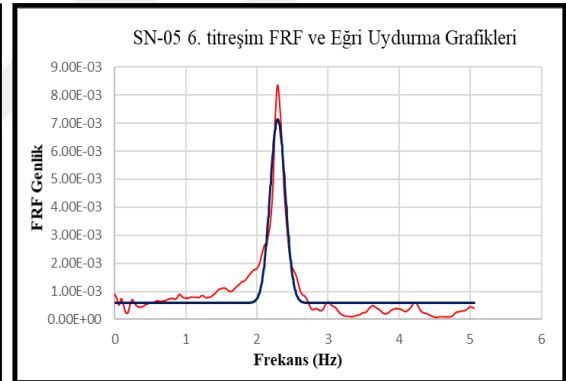
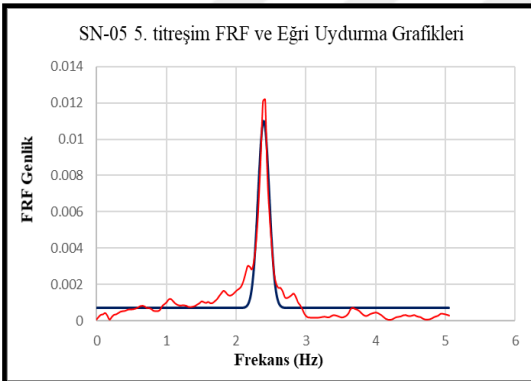
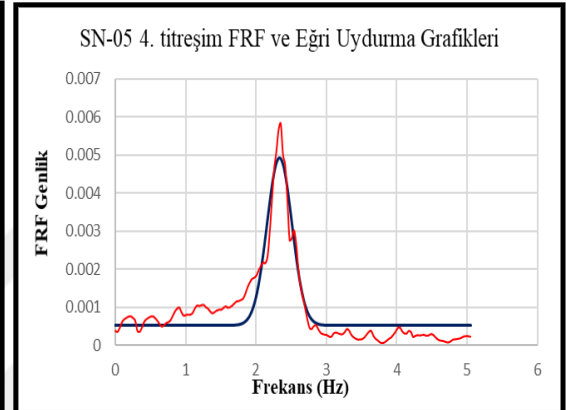
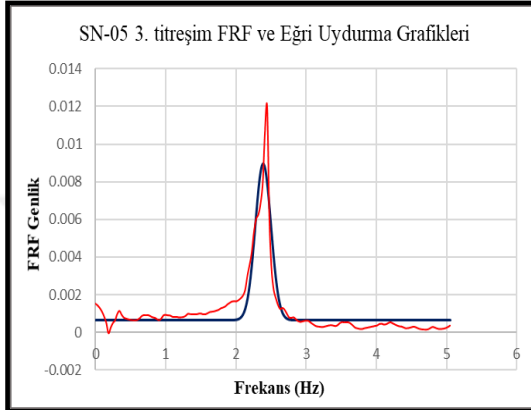
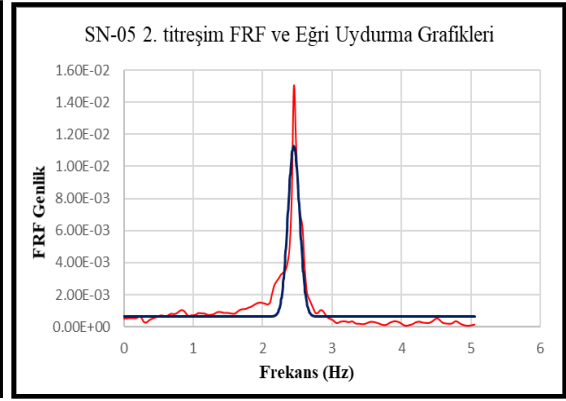
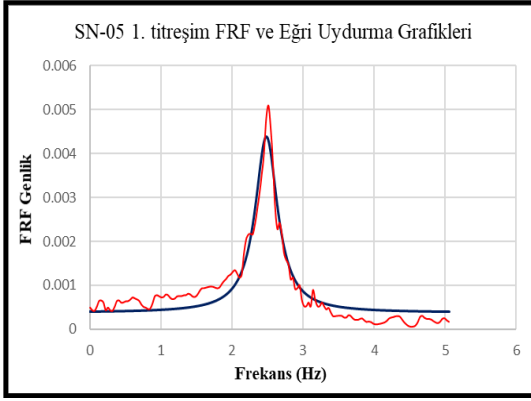


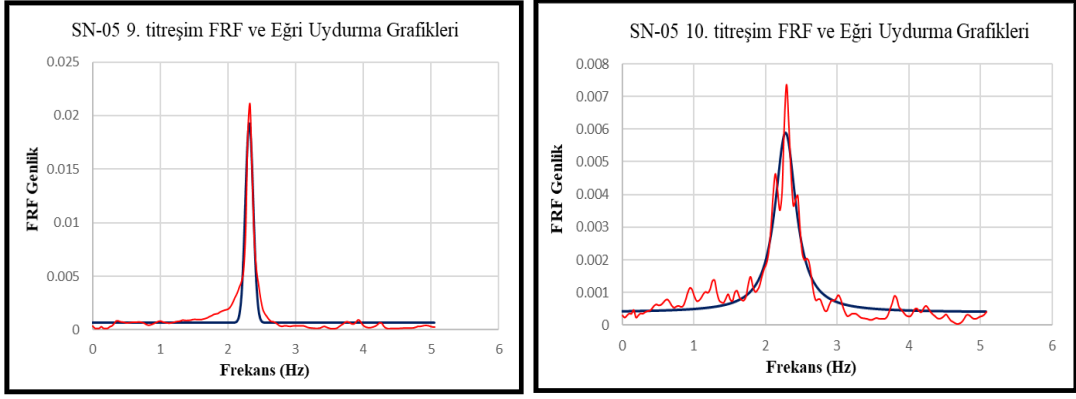




Şekil 7. 12 SN-04 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri

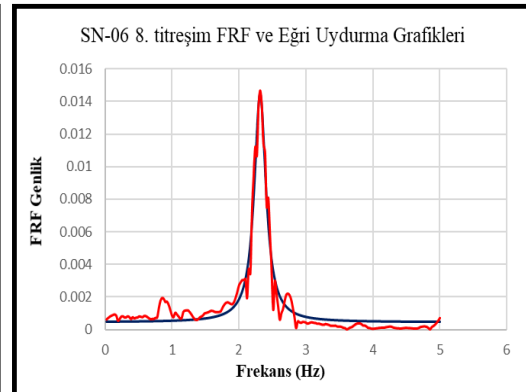
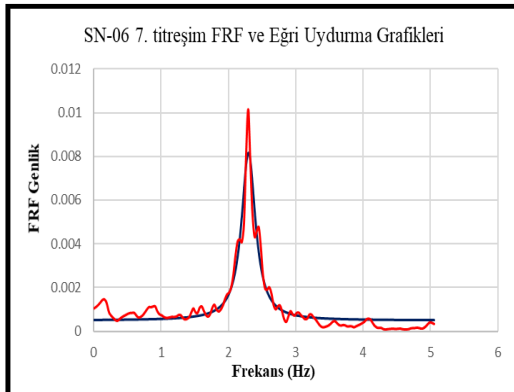
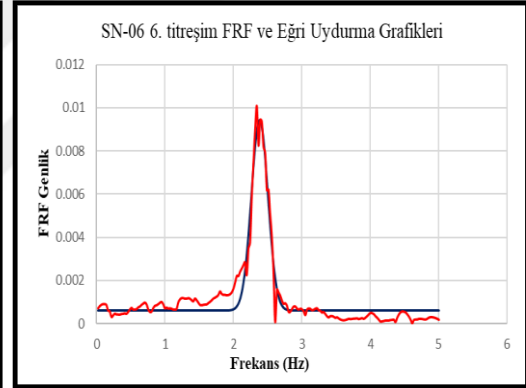
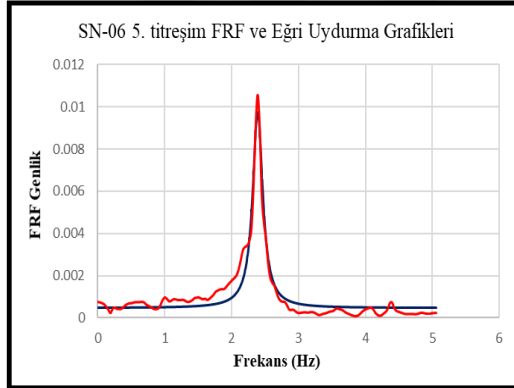
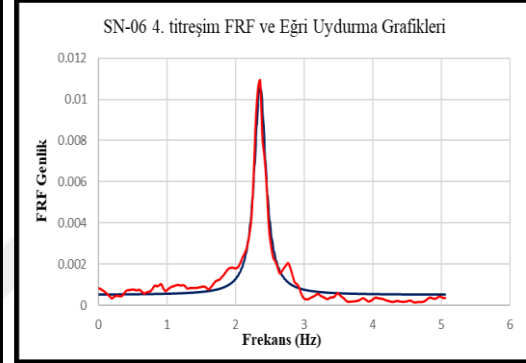
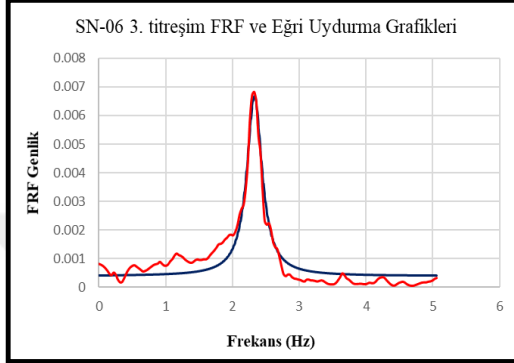
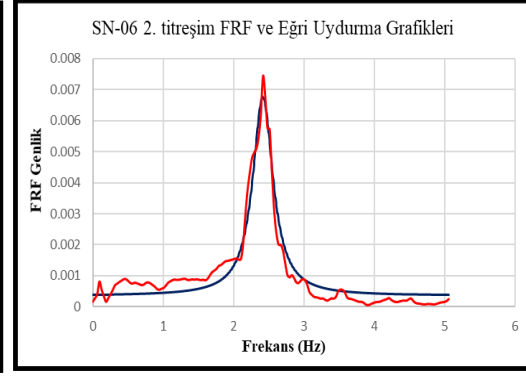
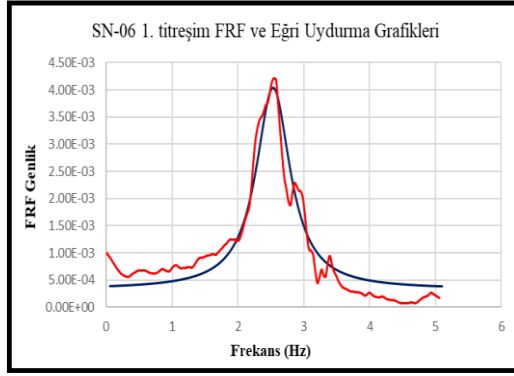


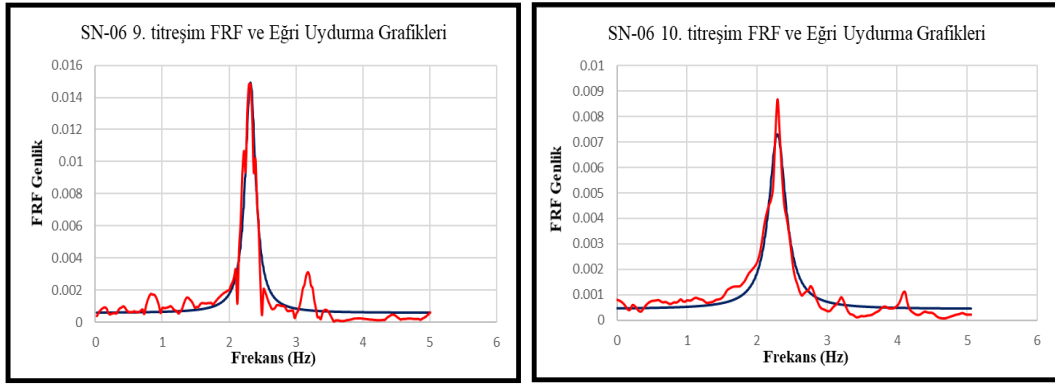




Şekil 7. 13 SN-05 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri







Şekil 7. 14 SN-06 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri

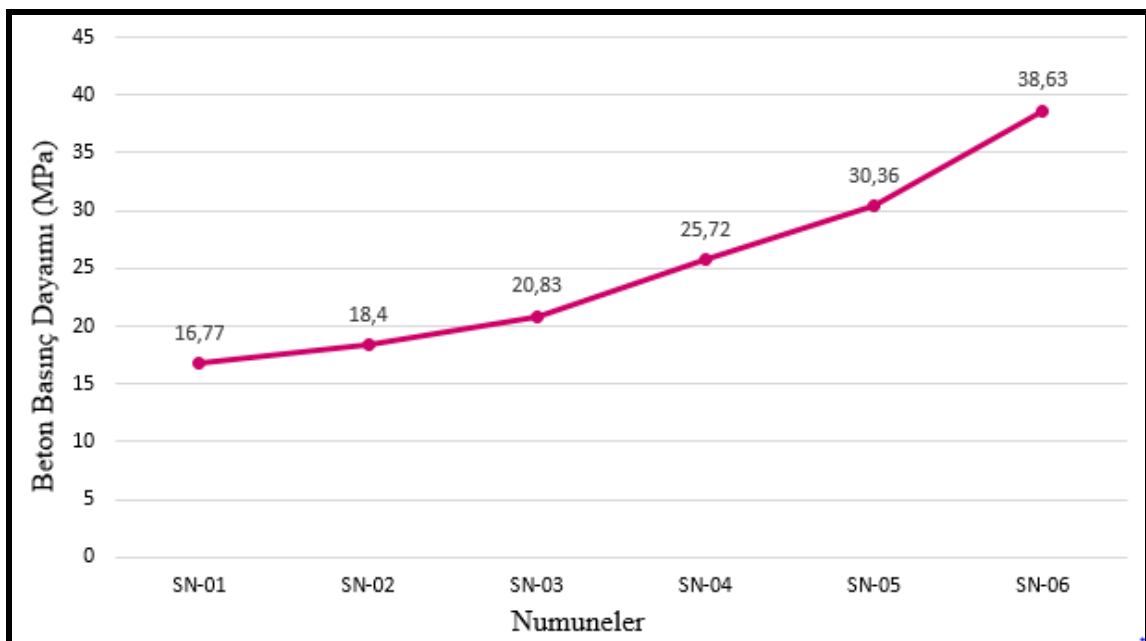


## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 8.1. Sonuçlar

Yapılmış olan tez çalışması kapsamında ‘‘Betonarme Yapılarda Beton Basınç Dayanımının Yapı Dinamik Davranışına Etkisi’’ üzerine deneysel çalışmalar yapılmış hesaplamalarla birlikte analiz edilmiştir.

Beton karışımı hazırlanırken yapılacak küçük değişiklikler, agregaların boyutları, içeriğindeki malzemelerin su emme kapasiteleri, hava koşullarının farklılıkları dayanıma direkt olarak etkimektedir. Şekil 8.1.’de laboratuvar çalışmasıyla elde edilen farklı beton basınç dayanımlarına sahip numunelerin grafiği görülmektedir.



Şekil 8. 1 Numuneler ve beton basınç dayanımları

Sarsma tablasında 6 farklı numuneye titreşim verildikten sonra numunelerde hasar sayılmayacak kadar küçük mikro çatlaklar oluşmuştur.

Oluşan mikro çatlaklar ilk olarak birleşim bölgelerinde yani plastik mafsal bölgesinde gözlemlenmiştir. Temel ve beton kütlede herhangi bir çatlak tespit edilmemiştir.

Tüm numuneler ayrı ayrı ve birbirleriyle kıyaslandığında;

SN-01 numunesi 16,77 MPa değeri ile numuneler arasındaki en düşük beton basınç dayanımına sahip olan numunedir. Sarsma tablası deneyinde 4. çevrim, 7. çevrim, 8. çevrim ve 10. çevrimde numunede kılcal çatlaklar olduğu görülmektedir. Çatlaklar ilk olarak birleşim bölgesinde ortaya çıkmıştır. Sonrasında çatlaklar etriye yüzeylerinde oluşmuştur. Toplam 8 adet mikro çatlak görülmüştür.

SN-02 numunesinin dayanımı 18,4 MPa'dır. Birleşim bölgelerinde 7. ve 10. çevrimde mikro çatlaklar oluşmuştur. Etriye yüzeylerinde çatlak oluşmamıştır. SN-01 numunesi ile kıyaslandığında SN-02 numunesinde bırakılan paspayının daha büyük olduğu kanısına varılmıştır. Toplam 3 adet mikro çatlak görülmüştür.

SN-03 numunesi 20,83 MPa dayanıma sahiptir. 5. çevrim, 7. çevrim ve 10. çevrimde ilk olarak birleşim bölgelerinden başlayarak paspayı yüzeylerinde mikro çatlaklar oluşmuştur. Beton basınç dayanımı ne kadar artsa da numuneyi oluşturan diğer malzemelerin özelliği ve uygulamada kullanımının önemi görülmektedir. Toplam 7 adet mikro çatlak görülmüştür.

SN-04 numunesi 25,72 MPa beton basınç dayanımındadır. 5. çevrimde birleşim bölgesi, 10 cm'lik ve 20 cm'lik etriye mesafelerinde mikro çatlakların olduğu görülmüştür. Etriye yüzeyleri incelendiğinde beton yüzeyinden etriyenin görüldüğü belirlenmiştir. Sonrasında 8. çevrimde mikro çatlaklar oluşmuştur. Dayanım arttıkça çatlakların sayısının ve boyutlarının azaldığı kanısına varılmıştır. Toplam 8 adet mikro çatlak görülmüştür.

SN-05 numunesinin beton sınıfı 30,36 MPa'dır. Oluşan mikro çatlakların önceki numunelerde olduğu gibi birleşim bölgesi ve etriye yüzeyinde olduğu görülmüştür. Çatlaklar ilk olarak 5. çevrimde, sonrasında ise 9. Çevrimde görülmüştür. Toplam 6 adet mikro çatlak görülmüştür.

SN-06 numunesinin beton basınç dayanımı 38,63 MPa'dır. Mikro çatlaklar sadece birleşim bölgesinde oluşmuştur. 5. çevrimde ve 10. çevrimde boyutları oldukça küçük 1'er tane, toplam 2 adet mikro çatlak görülmüştür.

Tüm numunelerdeki mikro çatlaklar kıyaslandığında beton basınç dayanımı arttıkça çatlakların kalınlık ve boyutlarının azaldığı görülmektedir. Dayanım arttıkça çatlak adetleri de genel olarak azalmıştır. Nasıl beton karışımını birçok faktör etkiliyorsa, betonarme numunede de birçok parametrenin etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Uygulamada paspayı mesafesinin yüzeye yakın olmasının çatlak oluşumunu tetiklediği kanısına varılmıştır. Bu çatlaklar gözle görülmeyecek kadar küçük olan mikro çatlaklardır. Atalet kuvvetini etkilemediği için frekans ve sönüm oranı gibi elde etmek istediğimiz verileri de etkilemeyecektir.

Tüm uygulamalar ve gerekli analizler sonucunda elde edilen frekans ve frekansa bağlı olarak elde edilen periyot değerleri, sönüm oranları Çizelge 8.1.'de verilmiştir. Ulaşılan modal parametreleri elde etmek için yapılan işlemler özetlenecek olursa;

- Sarsma tablasından bilgisayar ortamına zaman tanım alanındaki veriler aktarılmıştır.
- Hem tabla hem de kolon için ivmeölçerlerden alınan bu verilerden gürültü sinyalleri silinerek sadeleştirilmiş ivme-zaman grafikleri elde edilmiştir. Alçak Geçiren (Low-pass) filtreleme yöntemi kullanılmıştır.
- FFT öncesinde pencereleme işlemi ile sinyallerdeki düzensizlikler giderilmiştir. Uygulamada Blackman pencereleme yöntemi kullanılmıştır.
- İvme zaman grafikleri hızlı fourier dönüşümü (FFT) ile frekans tanım alanına dönüştürülmüştür.
- Sinyaller bozulmadan doğruluğunu artırmak için eğri yumuşatma yöntemi uygulanmıştır. Eğri yumuşatmada Savitzky-Golay yöntemi tercih edilmiştir.
- Eğri yumuşatma yöntemi sonrasında FRF grafiklerine geçilmiştir. FRF grafikleri tepkinin etkiye bölünmesiyle elde edilmektedir.
- FRF grafiklerinde tepe noktalarını daha net görebilmek için eğri uydurma işlemi yapılmıştır.
- Eğri uydurma işlemi sonucunda frekans değerlerine ulaşılmıştır.
- Sönüm oranına ise yarım güç bant genişlik yöntemi sayesinde ulaşılmıştır.



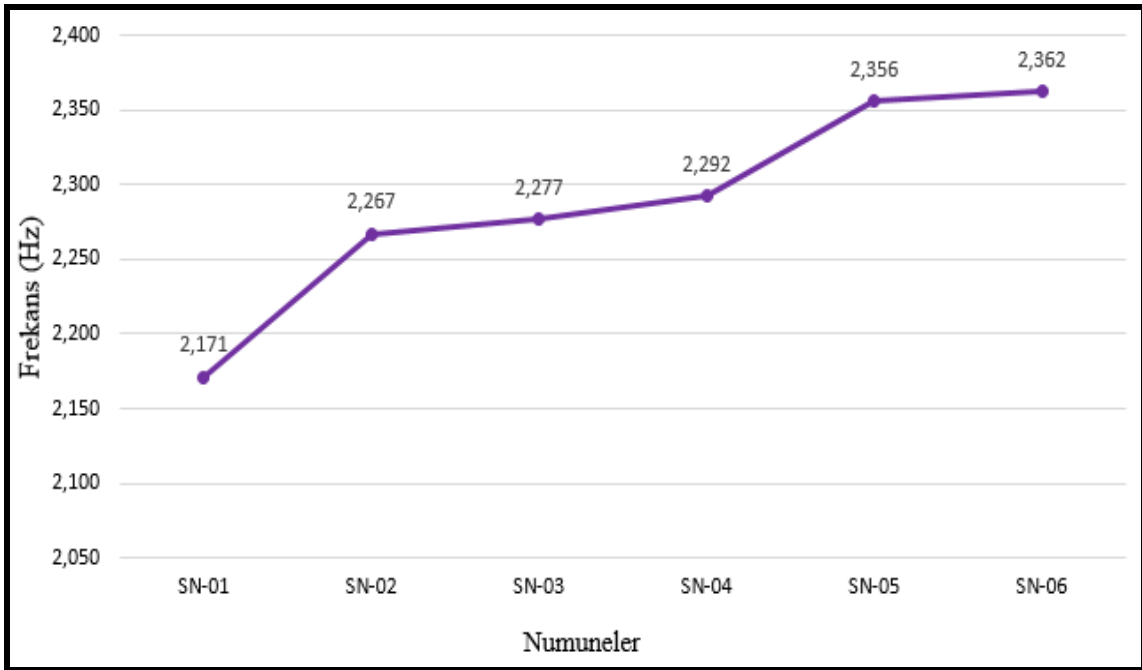
**Çizelge 8.1** Deney sonucu elde edilen frekans, periyot ve sönüm oranları

	SN-01			SN-02		
Test	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)
1	2,448	0,408	8,348	2,286	0,437	6,414
2	2,260	0,442	5,858	2,260	0,442	6,509
3	2,170	0,460	7,658	2,251	0,444	6,364
4	2,155	0,464	5,428	2,241	0,446	5,613
5	2,190	0,456	3,934	2,362	0,423	6,260
6	2,155	0,464	6,575	2,256	0,443	5,261
7	2,155	0,464	6,086	2,236	0,447	6,758
8	2,074	0,482	6,868	2,281	0,438	2,319
9	2,023	0,494	6,026	2,251	0,444	4,353
10	2,084	0,479	2,051	2,241	0,446	4,800
<b>Ort.</b>	<b>2,171</b>	<b>0,460</b>	<b>5,883</b>	<b>2,267</b>	<b>0,441</b>	<b>5,465</b>
	SN-03			SN-04		
Test	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)
1	2,453	0,407	4,622	2,474	0,404	4,869
2	2,323	0,430	5,444	2,302	0,434	4,855
3	2,291	0,436	4,930	2,302	0,434	3,483
4	2,256	0,443	5,247	2,260	0,442	6,823
5	2,307	0,433	4,501	2,286	0,437	3,470
6	2,241	0,446	6,035	2,256	0,443	4,410
7	2,271	0,440	4,292	2,256	0,443	2,939
8	2,226	0,449	4,800	2,260	0,442	5,501
9	2,205	0,453	4,938	2,271	0,440	3,850
10	2,197	0,455	5,547	2,256	0,443	3,975
<b>Ort.</b>	<b>2,277</b>	<b>0,439</b>	<b>5,036</b>	<b>2,292</b>	<b>0,436</b>	<b>4,417</b>

	SN-05			SN-06		
Test	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)	Frekans(Hz)	Periyot	Sönüm Oranı (%)
1	2,484	0,402	5,307	2,531	0,395	8,543
2	2,448	0,408	2,865	2,417	0,413	4,955
3	2,385	0,419	4,075	2,323	0,430	4,028
4	2,337	0,427	6,747	2,354	0,424	2,823
5	2,398	0,417	2,899	2,385	0,419	2,634
6	2,291	0,436	4,097	2,382	0,419	3,914
7	2,297	0,435	5,372	2,297	0,435	3,703
8	2,323	0,430	3,074	2,319	0,431	3,000
9	2,317	0,431	2,139	2,319	0,431	2,725
10	2,280	0,438	5,261	2,291	0,436	4,276
<b>Ort.</b>	<b>2,356</b>	<b>0,424</b>	<b>4,184</b>	<b>2,362</b>	<b>0,423</b>	<b>4,060</b>

Çizelge 8.1.'deki 6 numune için ortalama 1. Doğal titreşim frekansı değerleri grafik olarak özetlenmiştir (Şekil 8.2.). Grafikten beton basınç dayanımı arttıkça frekans değerlerinin arttığı görülmektedir.

En düşük beton basınç dayanımına sahip olan SN-01 numunesinin (16,77 MPa) ortalama frekans değeri 2,171 Hz olarak hesaplanmıştır. En yüksek beton basınç dayanımına sahip olan SN-06 numunesinde (38,63 MPa) ortalama frekans değeri 2,362 Hz'dir. Frekans değerinin, beton basınç dayanımı en yüksek numunenin en düşük numuneye oranına göre %8,08 oranında arttığı görülmüştür.

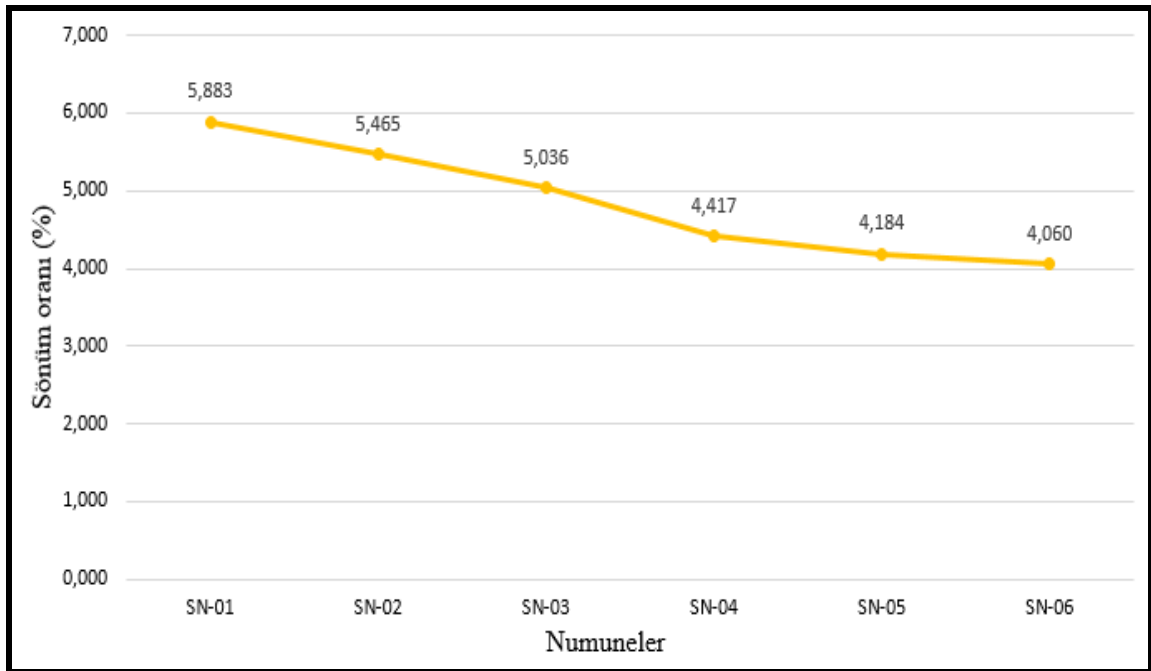


Şekil 8. 2 Frekans ve beton sınıfları arasındaki ilişki

Çizelge 8.1.'deki 6 numune için ortalama sönüm oranı (%) değerleri grafik olarak özetlenmiştir (Şekil 8.3.). Grafikten çıkarılan sonuç beton basınç dayanımı arttıkça sönüm oranının azaldığı yönündedir.

Yapılarda sönüm oranı ile periyot orantılıdır. Periyot ile frekans ise ters orantılıdır. Yani beton basınç dayanımı arttıkça rijitlik ve buna bağlı olarak frekans artmaktadır. Frekans arttıkça periyot azalmaktadır, yani sönüm oranı da azalmaktadır.

En düşük beton basınç dayanımına sahip SN-01 numunesinin (16,77 MPa) ortalama sönüm oranı değeri 5,883 (%), en yüksek beton basınç dayanımına sahip olan SN-06 numunesinin (38,63 MPa) ortalama sönüm oranı değeri 4,060 (%) olarak hesaplanmıştır. Sönüm oranı değeri, dayanımı en yüksek numunenin en düşük numuneye oranına göre %30,98 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. 3 Sönüm oranı ve beton sınıfları arasındaki ilişki

Çalışmada numunelerden elde edilen frekans ve sönüm oranlarının bazıları kıyaslandığında;

SN-01 ve SN-03 numuneleri için, SN-01 numunesinin dayanımı 16,77 MPa, SN-03 numunesinin dayanımı 20,83 MPa'dır.

Frekans %4,65 oranında artmıştır.

Sönüm Oranı %14,39 değerinde azalmıştır.

SN-03 ve SN-05 numuneleri için, SN-03 numunesinin dayanımı 20,83 MPa, SN-05 numunesinin dayanımı 30,36 MPa'dır.

Frekans %3,35 oranında artmıştır.

Sönüm Oranı %16,91 değerinde azalmıştır.

## 8.2. Öneriler

Tez çalışmasında betonarme numunelerin sarsma tablasında test edilmesiyle beton basınç dayanımının frekans ve sönüm oranlarına etkileri hakkında sonuçlara ulaşılmıştır.

Uygulama aşamasında iri ve ince agreganın hepsinin aynı hava koşullarında saklandığından emin olunmalıdır. Beton karışımı hazırlanırken en küçük ortam koşulları farklılığı bile dayanıma etkimektedir.

Paspayının az olması dinamik parametreleri etkilememiş olsa bile oluşturduğu mikro çatlaklardan dolayı mutlaka 1 cm'den daha fazla bırakılması gerekmektedir.

Deney çalışmasında Kobe Depremi'nin Kakogawa İstasyonu'ndaki deprem kaydı kullanılmıştır. Hazırlanmış olan numunelere kullandığımız ivme değerinden daha büyük titreşim uygulayarak gerçek göçme değeri bulunabilir veya güçlendirilmesi gereken bölgeler tespit edilebilir.

Deney çalışmasında maddi yetersizliklerden dolayı iki adet ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçer sayısı artırılarak mod şekilleri tespit edilebilir ve karşılaştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Açıkyol, H. E. (2009, Temmuz). Orta Katlı Betonarme Binaların Zorlanmış Titreşim Testleri. Antakya/Hatay.
- Ağcakoca, E. (2019). Yüksek Katlı Yapının Sarsma Tablası Üzerinde Deprem Performansının İncelenmesi. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 132-143.
- Akçay B., Ö. Y. (2000). İstanbul Binalarında Karot Yardımıyla Beton Nitelik Denetimi. *16. Teknik Kongresi*.
- Ararat, Ö. (2015, Ekim). Beton Basınç Dayanımına Boyut ve Cidar Etkisi. 9-10. İstanbul.
- Aras, F. (2018). Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneyle Araştırılması. *Teknik Dergi*, 8651-8667.
- Baran, M. (2012). Dolgu Duvarların Betonarme Çerçevesel Yapıların Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27(2), 275-284.
- Baran, T. (2008). Yapıların Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. Adana.
- Bayır, L. (1998). Türkiye’de yüksek binaların başlangıç ve gelişmesi. İstanbul.
- Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A., Sevim, B., Şahin, A., & Özcan, D. (2010). Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 5185-5205.
- Bedirhanoğlu, İ. (2009, Haziran). Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kolon ve Birleşimlerin Deprem Yükleri Altında Dinamik Davranışlarının İncelenmesi ve İyileştirilmesi. İstanbul.
- Benedetti, D., Carydis, P., & Pezzoli, P. (1998). Shaking Table Tests On 24 Simple Masonry Buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 67-90.

- Birdal, F. (2015, Nisan). Betonarme Yapıların Sismik Davranışlarının Sarsma Tablasında Deneysel Olarak İncelenmesi ve Analitik Olarak Modellenmesi. Kayseri.
- Boru, E., & Kutanis, M. (2015). Çevrel titreşim kayıtları kullanılarak yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi. *SAÜ Fen Bil. Dergisi*, 19(1), 59-66.
- Bötke, A., Horozoğlu, S., & Yılmaz, Ş. (2014, Mayıs 26-27). Frf Analizlerinde Analiz Sonrası İşlemler İçin Makro Oluşturulması. 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*. Bursa.
- Candeias, P., Costa, A.C., Coelho, E., (2004). Shaking table tests of 1:3 reduced scale models of four story unreinforced masonry buildings, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada.
- Ceccotti, A., Sandhaas, C., Okabe, M., Yasumura, M., Minowa, C., & Kawai, N. (2013). SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.
- Climent, A. (2005). Shaking table tests of reinforced concrete wide beam–column connections. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(15), 1833-1839.
- Çakar, O. (2003). Titreşim Testlerinden Elde Edilen Verilerin Kalitesinin İyileştirilmesi. 3-4. İstanbul.
- Çelik, M. T. (2017). Sertlik Deney Föyü. Gümüşhane.
- Çeven, S., & Bayır, R. (2020, Ağustos). Ortam Sesinden İnsan Sesinin Ayırıştırılması için Filtre Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 331-337.
- Deneyen, A. (2021, Mayıs). Betonarme Yapı Sistemlerinin Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranışlarının Belirlenerek Sarsma Tablası Deney Sonuçları İle Kıyaslanması. Kayseri.

- Dolce, M., Cardone, D., Ponzo, F., & Valente, C. (2005). Shaking table tests on reinforced concrete frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.
- Drosos, V., & Anastasopoulos, I. (2014). Shaking table testing of multidrum columns and portals. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.
- DTA Mühendislik. (2020, Nisan 3). Mayıs 20, 2022 tarihinde <https://blog.dta.com.tr/filtrelere-giris-fir-ve-iir-filtreleri/> adresinden alındı
- Durmuş, M. (1996). Yük geçmişi ve donatının beton karot numune dayanımı üzerindeki etkiler. Trabzon.
- El-Hafız, O. (2017). SONLU DELTA CEVAPLI FİLTRE TASARIM METOTLARININ PERFORMANS ANALİZİ. Bursa.
- Erdal, M., Şimşek, O. (2006). Bazı Tahribatsız Deney Metotlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesindeki Performanslarının İncelenmesi. Ankara.
- Erdoğan, T. (2003). *Beton*. Ankara: Metu Press.
- Ergün, A., & Kürklü, G. (2005, Mart). Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi. *Deprem Sempozyumu*.
- Ersubaşı, F. (2008). Yığma Yapıların Deprem Davranışının Sarsma Masasında Dinamik Olarak İncelenmesi ve Farklı Güçlendirme Seçeneklerinin Değerlendirilmesi. Konya.
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. California: Earthquake Engineering Research Center.
- Ghafoor, H. M. (2018). Numerical Simulation For Investigation of Dynamic Behaviour of Buildings with a Shaking Table. İstanbul.
- Göker, K. A. (2017, Haziran). Betonarme Kolonların Deprem Performansını Etkileyen Parametrelerin Araştırılması. Balıkesir.
- Graziotti, F., Tomassetti, U., Kallioras, S., Penna, A., & Magenes, G. (2017). Shaking table test on a full scale URM cavity wall. *Bull Earthquake Eng.*



- Grgic, N., Radnic, J., Matesan, D., & Banovic, I. (2017). Stirrups effect on the behavior of concrete columns. *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.*, 406-419.
- Gül, B. S. (2006, Haziran). Perde-Çerçeve Sistemlerinin Dinamik Analizi. İstanbul.
- Gür, D. (2013, Temmuz). Vlf Sinyallerinde Oluşan Tedirginliklerin Giderilmesi İçin Bir Yazılım Geliştirilmesi.
- H. Krawinkler, G. S. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation.
- Işık, M. (2008, Haziran). Çok Katlı Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Etkisi. İstanbul.
- İlhan, İ. (2000). Beton (Schmidt) çekici ne işe yarar. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 27-28.
- İstanbüllüoğlu, S. (1988, Eylül). Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma. *XXVII(3)*.
- Ji, X., Fenves, G., ASCE, M., Kajiwara, K., & Nakashima, M. (2011). Seismic Damage Detection of a Full-Scale Shaking Table. *Journal of Structural Engineering*, 14-21.
- Kaltakçı, M., & Yavuz, G. (2008). Beton Basınç Dayanımları Farklı Ve Donatı Detayları Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Tersinir-Tekrarlanır Yatay Yükler Altındaki Davranışının İncelenmesi. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 9, 199-210.
- Karaahmetli, S., & Dünder, C. (2017, Haziran). Yapıların Dinamik Analizinde Kullanılan Sönüm Modellerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23-35.
- Korkmaz, A., Düzgün, M. (2007, Haziran). Doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemlerinin değerlendirilmesi. *itüdergisi/d mühendislik*, 6(3).
- Kuyumcuoğlu, A. (2008, Haziran). Çalışma Şartlarında Modal Analiz.

- Li, Y. (1996). Non-Linear Time History and Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation. A.B.D.
- Lu, X., & Wu, X. (2000). Study on new shear wall system with shaking table test and finite element analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29(10), 1708-1721.
- Mahin, S., Sakai, J., Jeong, H., Espinoza, A., Hachem. M., Buckman, B., 2005. Shake table and analytical investigations of single column bents, proceedings, *Caltrans Bridge Research Conference*, 1-501, California.
- Matlab. *Curve Fitting Toolbox, User's Guide*. (2011).
- Nishida, H., & Nagaya, K. (2004). Dynamic response characteristic of reinforced concrete column subjected to bilateral earthquake ground motions. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 1-6. Canada.
- Onat, O. (2015, Kasım). Betonarme çerçeve dolgu duvarların sismik davranışının araştırılması. İstanbul.
- Öztürk, D. (2005). Beton mukavetinin yapının taşıyıcı sistemine ve maliyetine etkisi. İzmir.
- Rezaifer, O., Kabir, M., & Tehranian, A. (2008). Dynamic behaviour of 3D-panel single storey system using shaking table testing. *Engineering Structures*, 30(2), 318-337.
- RMC Mühendislik. (2022). Mayıs 20, 2022 tarihinde <https://rmc.com.tr/modal-analiz-nedir/> adresinden alındı
- Sert, A. (2019). Yapı Tanılama Algoritmalarıyla Özgün Yapı Dinamik Özelliklerinin Tahmini. 3. Kocaeli.
- Sert, A., & Beyen, K. (tarih yok). Sistem Tanılama Algoritmaları Kullanılarak Yapı Dinamik Karakteristin Tahmini. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.

- Soysal, B., & Arıcı, Y. (2013). Sarsma Tablası Testi İle Beton Barajların Doğrusal Olmayan Analiz Parametreleri Kalibrasyonu. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Hatay.
- Şahin, Ö., Çağlar, N., & Çelebi, E. (2017). Küçük Ölçekli Sarsma Tablası Test Modelleri için Uygun Ölçeklendirme Katsayısının Araştırılması. *Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*.
- T. Çoşgun, A. P. (2007, Ekim 22-26). Mevcut Yapıların Deprem Riski Analizinde, Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Örnek Bir Mikrotremor Çalışması. *International Earthquake Symposium*. Kocaeli.
- Tangüler, M. (2014). Yapı Denetim Sistemi Kapsamında Elde Edilen Beton Basınç Dayanımı Sonuçlarına Dair Bir İrdeleme.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*. Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS 706 EN 12620. (2009). Beton agregaları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS 802, 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS EN 1097-6. (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.
- TS EN 197-1. (2012). ÇİMENTO – BÖLÜM 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.

- Uzun, M., & Çöğürçü, T. (2019). Prefabrike Yapıların Rüzgâr Yüğü Güvenliđinin Belirlenmesi. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Dergisi*, 7(1), 171-188.
- Yavari, S. (2011). Shaking table tests on the response of reinforced concrete frames with non-seismic detailing. Columbia.
- Yetkin, M. (2016, Ocak). Betonarme Yapıların Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Dinamik Davranışının İncelenmesi. 16-19.
- Zarnic, R., Gostic, S., Crewe, A., Taylor, C., (2001). Shaking table tests of 1:4 reduced-scale models of masonry infilled reinforced concrete frame buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamic*, 819-834.
- Zebari, Z., Bedirhanoğlu, İ., & Aydın, E. (2016). Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. *Mühendislik Dergisi*, 8(1), 43-52.

**EKLER****ŞEKİLLER TABLOSU**

Şekil 3. 1 İz ölçme deneyi (Brinell sertlik deneyi) (Çelik ve Taşdemir,2017).....	16
Şekil 3. 2 Çekip çıkarma aleti şekli ve deneyinin şematik gösterimi(Ergün ve Kürklü,2005).....	17
Şekil 3. 3 Penetrasyon deneyinin uygulanması (Erdal ve Şimşek,2006).....	17
Şekil 3. 4 Sondanın beton yüzeyi dışında kalan kısmının ölçülmesi (Erdal ve Şimşek,2006) .....	17
Şekil 4. 1 Statik ve Dinamik yükleme (Gül, 2006).....	20
Şekil 4. 2 Dikdörtgen kesitli yapının rüzgâr esme yönüne göre sergilediği davranış (Yiğit ve İnal,2011).....	24
Şekil 4. 3 Deneysel ve Teorik Modal Analiz işlem sırası (Sert, 2019).....	26
Şekil 4. 4 Modal Analiz yöntemleri.....	27
Şekil 4. 5 Durağan sinyal ve fourier dönüşümü (Gür, 2013).....	29
Şekil 4. 6 Sürekli (durağan olmayan) sinyal ve fourier dönüşümü (Gür, 2013).....	30
Şekil 4. 7 Filtrelerin sınıflandırması (Çeven ve Bayır, 2020).....	31
Şekil 4. 8 Filtre uygulamaları (DTA Mühendislik, Erişim Tarihi: 20.05.2022).....	32
Şekil 4. 9 Blackman pencereleme yöntemi ile zaman ve frekans grafikleri (El Hafız, 2017).....	33
Şekil 4. 10 Lineer yapı (Çakar, 2003).....	33
Şekil 4. 11 FRF türleri (Çakar,2003) .....	34
Şekil 4. 12 Yarım güç bant genişliği ile sönüm oranlarının belirlenmesi (Kuyumcuoğlu, 2008).....	35
Şekil 5. 1 Boyutları standart 3 boyutlu deney numunesi .....	36
Şekil 5. 2 Boyutları standart numunelerin üstten görünümü .....	37
Şekil 5. 3 Boyutları standart numunelerin önden ve yandan görünümü.....	37
Şekil 5. 4 Numunelerde kullanılacak olan donatıların detaylandırılması.....	39
Şekil 5. 5 Deneyde kullanılacak Sarsma Tablası.....	40
Şekil 5. 6 Deneyde kullanılan ivmeölçer (ADXL345) .....	40
Şekil 5. 7 Sarsma tablası y yönündeki servo motor .....	41

Şekil 5. 8 Kontrol Paneli.....	41
Şekil 5. 9 Elektrik Panosu (PLC).....	42
Şekil 5. 10 Planlanan deney düzeneği .....	42
Şekil 5. 11 Betonarme numunelerde kullanılan çimento .....	43
Şekil 5. 12 Betonarme numunelerde kullanılan ince (kum) ve iri agrega .....	43
Şekil 5. 13 Metraj hesaplamaları sonucu ölçülere göre kesilen kalıp parçaları.....	44
Şekil 5. 14 Kolon kalıplarının çakılması .....	44
Şekil 5. 15 Temel kalıplarının çakılması .....	45
Şekil 5. 16 Temel kalıbı ve kolon kalıbının birleşim öncesi görüntüsü .....	45
Şekil 5. 17 Pvc borular için kalıplarda açılan daireler .....	45
Şekil 5. 18 Beton kütle kalıbının çakılması .....	46
Şekil 5. 19 Su terazisi kullanılarak kalıpların yüzeye paralel olacak şekilde sabitlenmesi .....	46
Şekil 5. 20 Donatı ve etriyelerin bükülme işlemleri .....	47
Şekil 5. 21 Hazırlanmış olan boyuna donatılar.....	47
Şekil 5. 22 Temel donatılarının birleştirilmiş hali.....	48
Şekil 5. 23 Etriyelerin 10 cm aralıklı olarak boyuna donatılara bağlanması .....	48
Şekil 5. 24 Kalıp ve demir arasında paspayı bırakılması.....	49
Şekil 5. 25 İnce suntalamalar yardımıyla kalıpların sabitlenmesi .....	49
Şekil 5. 26 Numunelere yerleştirilen tij ile birlikte beton dökümü öncesi numunelerin son hali.....	49
Şekil 5. 27 Kütlenin beton dökümü için hazır görünüşü .....	50
Şekil 5. 28 Kum ve agreganın hava koşullarından etkilenmesi .....	52
Şekil 5. 29 Etüv fırında ve kurutma makinesinde agrega ve kumun kurutulması .....	52
Şekil 5. 30 İri ve ince (kum) agregaların beton dökümü için hazırlanması.....	53
Şekil 5. 31 Beton karışımı için tartımı yapılan çimentolar .....	53
Şekil 5. 32 Kalıpların temizlenerek yağlanması .....	54
Şekil 5. 33 Beton karışımının hazırlanması .....	54
Şekil 5. 34 Beton karışımının küp numunelere homojen olarak yerleştirilmesi.....	55
Şekil 5. 35 Beton karışımının küp numunelere yerleşimi.....	56
Şekil 5. 36 Küp numunelerin kalıplardan çıkartılması .....	56
Şekil 5. 37 Beton basınç deneylerinin yapılması .....	57
Şekil 5. 38 Yeniden hesaplamalarla gerçekleşen beton dökümleri.....	58

Şekil 5. 39 Beton karışımları için malzemelerin tartılması ve karışıma hazır hale getirilmesi .....	60
Şekil 5. 40 Betoniyerde 5 farklı beton karışımının yapılması .....	60
Şekil 5. 41 Homojen karışım elde edilen betonun el arabasına alınması .....	60
Şekil 5. 42 Betonun vibratör yardımı ile düzgün şekilde yerleşimi.....	61
Şekil 5. 43 Mala yardımı ile beton yüzeylerinin düzeltilmesi .....	61
Şekil 5. 44 Beton dökümü gerçekleşen numunelerin son hali .....	62
Şekil 5. 45 Her numuneden elde edilen 3'er adet silindir numuneler.....	62
Şekil 5. 46 Betonarme numuneler ve kütlelerin dinamik analiz öncesi hazır hali.....	63
Şekil 5. 47 Silindir numunelerin 28 gün sonunda dayanımlarının elde edilmesi .....	63
Şekil 6. 1 Sarsma tablası ve deney düzeneği .....	64
Şekil 6. 2 Vinç yardımı ile yerleştirilen beton kütle .....	64
Şekil 6. 3 SN-01 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	65
Şekil 6. 4 SN-01 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar .....	66
Şekil 6. 5 SN-01 numunesi sol yüzeyindeki kılcal çatlaklar .....	66
Şekil 6. 6 SN-02 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	67
Şekil 6. 7 SN-02 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar .....	67
Şekil 6. 8 SN-03 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	68
Şekil 6. 9 SN-03 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar .....	68
Şekil 6. 10 SN-04 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	69
Şekil 6. 11 5. çevrim sonucu etriye yüzeylerinde oluşan kılcal çatlaklar .....	69
Şekil 6. 12 SN-04 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar .....	70
Şekil 6. 13 SN-05 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	70
Şekil 6. 14 SN-05 numunesinde 10. Çevrim sonucu oluşan mikro çatlaklar .....	71
Şekil 6. 15 SN-06 numunesinin deney öncesi genel görünümü .....	71
Şekil 6. 16 SN-06 numunesinde oluşan mikro çatlaklar.....	72
Şekil 7. 1 Deney esnasında numunelere uygulanan deprem kaydı.....	73
Şekil 7. 2 SN-01 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen ivme-zaman grafikleri.....	74
Şekil 7. 3 SN-01 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	75

Şekil 7. 4 SN-02 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	76
Şekil 7. 5 SN-03 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	76
Şekil 7. 6 SN-04 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	77
Şekil 7. 7 SN-05 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	77
Şekil 7. 8 SN-06 2.titreşim sonucunda kolon ve tabladan elde edilen yumuşatılmış ve filtrelenmiş .....	78
Şekil 7. 9 SN-01 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	81
Şekil 7. 10 SN-02 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	83
Şekil 7. 11 SN-03 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	85
Şekil 7. 12 SN-04 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	87
Şekil 7. 13 SN-05 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	89
Şekil 7. 14 SN-06 numunesinin FRF ve Eğri Uydurma grafikleri .....	91
Şekil 8. 1 Numuneler ve beton basınç dayanımları .....	92
Şekil 8. 2 Frekans ve beton sınıfları arasındaki ilişki .....	97
Şekil 8. 3 Sönüm oranı ve beton sınıfları arasındaki ilişki .....	98



**ÇİZELGELER TABLOSU**

Çizelge 3. 1 Beton sınıfları ve dayanımları (TS500, Sf. 12) .....	14
Çizelge 5. 1 Betonarme kolon numunelerinin adlandırılması, planlanan beton ve donatı sınıfları .....	36
Çizelge 5. 2 Farklı beton basınç dayanımları için hazırlanan hesaplamalar.....	51
Çizelge 5. 3 Beton dayanımı sağlamayan numuneler için yeniden karışım hesaplaması .....	58
Çizelge 5. 4 Beton karışımı yapılan numunelerin dayanım sonuçları .....	59
Çizelge 5. 5 Planlanan ve elde edilen beton sınıfları .....	63
Çizelge 8. 1 Deney sonucu elde edilen frekans, periyot ve sönüm oranları .....	95