



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME BİR BACANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM
ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ

GÖKHAN GÜRSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

OCAK - 2011

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME BİR BACANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN TİTREŞİM
ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ

GÖKHAN GÜRSOY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN danışmanlığında hazırlanan bu tez 10.01.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN
Başkan

Doç. Dr. Hakan YAVUZ
Üye

Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE
Üye

Bu tez Enstitümüz **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1.GİRİŞ.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1.Zorlanmış Titreşim Deneyleri.....	4
2.2.Mevcut Titreşim Analizleri (Ambient Vibration).....	9
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1.Materyal.....	11
3.1.1.Hızölçerler.....	11
3.2.Yöntem.....	13
3.2.1.Serbest Titreşim Hareketi.....	13
3.2.1.1.Sönümsüz Serbest Titreşim.....	13
3.2.1.2.Sönümlü Serbest Titreşim.....	14
3.2.2.Deneyin Yapılışı.....	14
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	18
4.1.Data Analizi.....	18
4.2.Modal Frekansların Bulunması.....	18
4.3.Mod Şekillerinin Bulunması.....	21
4.4.Sönüm Oranlarının Bulunması.....	21
4.5.Baca Hakkında Teknik Bilgiler.....	22
4.6.Deneyde Aletlerinin Yerleştirilmesi.....	29
4.7.Frekans – Tepki Eğrileri.....	33
4.8.Beton ve Donatı Örneklerinin Alınması.....	37
4.9.Alınan Numunelerden Elde Edilen Veriler.....	42
4.10.Bacanın Yapı Analiz Programları İle İncelenmesi.....	45

5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
5.1.Sonuç.....	59
5.2.Öneriler.....	61
KAYNAKLAR.....	62
TEŞEKKÜR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÖZET

**BETONARME BİR BACANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN
TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Gelişen teknoloji ile birlikte inşaat mühendisliğinde de önemli aşamalar kaydedilmiştir. Mevcut yapıların dinamik davranışlarının incelenmesi için ortaya çıkan yöntemler bu gelişmelerin en önemlilerindedir.

Yapıların dinamik davranışları hakkında fikir veren yapı izleme sistemleri mevcut titreşim testi (ambient vibration) ve zorlanmış titreşim testi olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu çalışmada 1975 yılında yapımı tamamlanmış, İSDEMİR A.Ş. Yüksek Fırınlara Aspirasyon Sistemine ait 59,2 m yüksekliğindeki betonarme bacanın mevcut titreşim testi ile dinamik incelemesi yapılmıştır.

Yüksek Fırınlara ve Kok Fabrikaları Konveyör Hatları arasında bulunması nedeni ile baca üzerinde doğal titreşimler ve rüzgar kuvveti bulunmaktadır. Baca üzerine yerleştirilen 5 adet ivmeölçerle, bacanın dinamik tepkisi bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Titreşim ölçümleri sonucunda elde edilen kayıtların analizleri ile bacanın dinamik karakteristik özellikleri tespit edilmiştir. Baca yapı analiz programı (SAP 2000) ile de çözülmüş, deneyden elde edilen sonuçlar ile yapı analiz programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapı analiz programından elde edilen sonuçların deney sonuçlarına (gerçek davranışa) yaklaşmasını sağlayabilmek için malzeme özellikleri değiştirilerek model kalibrasyonu yapılmış ve bacanın mevcut malzeme özellikleri tespit edilmiştir.

2011, 76 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mevcut Titreşim Testi, Frekans-Tepki Eğrisi, Sönüm Oranı, Doğal Frekans, Mod Şekli

ABSTRACT**DETERMINATION OF A REINFORCED CONCRETE CHIMNEY'S
DYNAMIC PROPERTIES BY USE OF VIBRATION MEASUREMENTS**

With the advancing technology in civil engineering has been achieved especially. Emerging methods for the examination of the dynamic behavior of existing structures are the most important of these developments.

Building monitoring systems, gives an idea about the dynamic behavior of structures, ambient vibration and forced vibration test was divided into two. In this study, the construction was completed in 1975, ISDEMIR Inc. 59.2 m high reinforced concrete chimney Aspiration System in Blast Furnaces by ambient vibration test and dynamic analysis has been made.

Blast Furnaces and Coke Plant Conveyor Lines because of the presence of the chimney is located on the natural vibrations and wind power. Placed on the chimney of 5 accelerometer, the dynamic response of the chimney has been computerized. Vibration analysis of records obtained from measurements with the chimney, the dynamic characteristics have been identified. Chimney structure analysis program (SAP 2000) and also solved, the results of the experiment were compared with results obtained from structural analysis program. Structural analysis of the results of the experimental program, the results (actual behavior) by changing the material properties of the model calibrated to ensure closer and the chimney, the current material properties have been identified.

2011, 76 papers

Keywords: Ambient Vibration Test, Frequency-Response Curve, Damping Ratio, Natural Frequency, Mode Shape,

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Tepki Genliği
c	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm Kapasitesi
$c_x(t)$	Hızla Orantılı Sönüm Kuvveti
E_c	28 Günlük Elastisite Modülü
E_{cj}	“J” Günlük Betonun Elastisite Modülü
f	Titreşim Frekansı, Doğal Frekans
f_{ck}	Beton Karakteristik Basınç Dayanımı
f_{ckj}	“J” Günlük Betonun Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı
f_1, f_2	Spektrum Genliğinin $A_0 / \sqrt{2}$ Kadar Azaldığı Yerlerdeki Frekanslar
f_0	Yapının doğal frekansı
k	Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Rijitlik Katsayısı
$k_x(t)$	Yer Değiştirme İle Orantılı Elastik Yay Kuvveti
m	Yapının Kütlesi
$m_x(t)$	İvme İle Orantılı Atalet Kuvveti
$p(t)$	Dış Kuvvet
R_a	İvme Tepki Faktörü
t	Zaman
ζ	Sönüm Oranı
ω	Titreşim Frekansı

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Aylık Kuvvetli Rüzgarlı Günler Sayısı.....	22
Çizelge 4.2 Aylık Maksimum Rüzgar Hızı.....	23
Çizelge 4.3 2010 Yılı Rüzgar Hız ve Yönü.....	23
Çizelge 4.4 Betonarme Çelik Çubuğu Deney Sonuçları.....	42
Çizelge 4.5 Karot Numuneleri Sonuçları.....	43
Çizelge 4.6 Beton Test Çekici Sonuçları.....	43
Çizelge 4.7 Beton Sınıflarına Karşılık Gelen Elastisite Modülleri.....	47
Çizelge 4.8 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 2650 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri	54
Çizelge 4.9 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 5300 Mesh Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri.....	55
Çizelge 4.10 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 10600 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri.....	55
Çizelge 4.11 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 2650 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri.....	56
Çizelge 4.12 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 5300 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri.....	56
Çizelge 4.13 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 10600 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri.....	57
Çizelge 4.14 SAP 2000 Program Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	57
Çizelge 4.15 View 2002, Matlab, SAP2000 ve Çubuk Model Sonuçları	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Baca Genel Görünüşü (Kuzey Cephe).....	3
Şekil 3.1 Hız Sensörü ve Bağlantıları.....	11
Şekil 3.2 Ana Kayıt Ünitesi ve Bilgisayar Bağlantısı.....	12
Şekil 3.3 Sensörlerin Taşınması.....	15
Şekil 3.4 Sensörlerin Taşınması.....	16
Şekil 4.1 Örnek Sinyal Değerleri.....	19
Şekil 4.2 Fourier Transformu	19
Şekil 4.3 İvme Değerleri.....	20
Şekil 4.4 Deplasman Değerleri.....	20
Şekil 4.5 Frekans – Tepki Eğrisi İle Sönüm Oranının Bulunması.....	21
Şekil 4.6 Baca Yerleşim Planı.....	25
Şekil 4.7 Baca Temel Detayları.....	26
Şekil 4.8 Baca Betonarme Detayı.....	27
Şekil 4.9 Baca Betonarme Kesitleri.....	28
Şekil 4.10 Baca Gömülü Eleman Detayları.....	29
Şekil 4.11 Sensör Yerleşimleri.....	31
Şekil 4.12 Üst Kotlarda Sensör Yerleşimleri.....	32
Şekil 4.13 MR1 Sensörü Frekans Grafiği.....	33
Şekil 4.14 MR2 Sensörü Frekans Grafiği.....	34
Şekil 4.15 MR3 Sensörü Frekans Grafiği.....	34
Şekil 4.16 Bütün sensörler için FFT Amplitude – Frekans Grafiği.....	35
Şekil 4.17 En üst kot MR2 Sensörü İçin FFT Amplitude – Frekans Grafiği.....	36
Şekil 4.18 Sönüm Oranı.....	37
Şekil 4.19 Numune Alınan Noktalar.....	38
Şekil 4.20 Numune Alımları.....	40
Şekil 4.21 Baca Pas payı Ölçümleri.....	41
Şekil 4.22 10m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi.....	44

Şekil 4.23 20m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi.....	44
Şekil 4.24 30m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi.....	45
Şekil 4.25 Bacanın SAP 2000 Modeli.....	46
Şekil 4.26 Bacanın 1. Mod Şekli.....	48
Şekil 4.27 Bacanın 2. Mod Şekli.....	49
Şekil 4.28 Bacanın 3. Mod Şekli.....	50
Şekil 4.29 Bacanın 4. Mod Şekli.....	51
Şekil 4.30 Bacanın 5. Mod Şekli.....	52
Şekil 4.31 Bacanın 6. Mod Şekli.....	53

1. GİRİŞ

Yerküremiz var olduğundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde deprem değişik periyotlarda ve sürekli olarak kendini göstermektedir. Bunun üzücü sonucu olarak milyonlarca insanın ve evlerin yok olduğu bilinmektedir.

Ülkemiz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir.

Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen büyük depremlerden sonra yapılan hasar incelemelerinde, yapılarda kayda değer hasarlar olduğu görülmüştür. Bu hasarlar, proje hataları, işçilik ve yapının üretim hatalarından başka, genel tasarım kabulleri, hassas analizler ve taşıyıcı elemanları içeren yapıların tepki karakteristikleri sebep olabilmektedir. Her ne kadar bazı durumlarda, hasarların nedenlerinin açıklanması ve araştırılması mümkün olsa da, yapı planına ve kabullere bağlı olarak bulunan sayısal sonuçlar ile ölçülen sonuçlar arasındaki farklar, sismik yüklerin yapıya daha sistematik bir yol ile aktarılmasına dayanan ve aletsel verilerin kullanıldığı ileri yaklaşımlara gerek olduğunu ortaya koymaktadır.

Son yıllarda teknolojiye hızlı gelişmeler inşaat mühendisliğinde de önemli aşamaların alınmasını sağlamıştır. Bu gelişmelerde en dikkat çekici olanı yapının dinamik davranışının incelenmesi konusunda izlenen yöntemlerdir. Eskiden laboratuvar testleri veya analitik yöntemlerle çözülen birçok problem günümüzde gerçek yapılara kurulan izleme sistemleri sayesinde daha doğru olarak hesaplanabilmektedir. Eskiden yapıların deprem altındaki dinamik davranışı analitik modeller veya sarsma masaları üzerine kurulan küçük ölçekli modeller üzerinde yapılan araştırmalar ile yapılmaktaydı. Günümüzde ise yapı izleme sistemleri sayesinde deprem bölgelerindeki yapılara aletler

yerleştirilerek alınan deprem verileri yapıların deprem davranışı konusunda gerçekçi bilgiler vermektedir. Mevcut yapılardan alınan veriler laboratuvar ortamında yapılan deneylerden ve analitik modellerden alınan verileri geçersiz kılan değil, tamamlayan veriler olarak düşünülmelidir. Modelleme ve ölçeklendirmelerden kaynaklanan hatalara ek olarak laboratuvar ortamında yapılan deneylerin en büyük dezavantajı temel çevresindeki zemin yer değiştirmelerinin etkisinin (yapı-zemin etkileşimi) göz önüne alınamamasıdır. Yapı izleme sistemleri sayesinde, yapının davranışları çok daha doğru bir şekilde izlenebilmektedir.

Yapı izleme sistemleri ikiye ayrılır: Bir tanesinde yapıya cihazlar yerleştirilip deprem esnasında okuma alınır, diğer yöntemde ise mevcut titreşimler sensörler vasıtası ile kaydedilir. Mevcut titreşimlerin ölçülmesinde de iki yol kullanılabilir. Bunlardan birincisinde yapıya titreşim üretici cihaz ve bu titreşimleri kaydedebilecek sensörler yerleştirilir (zorlanmış titreşim deneyleri), ikincisinde ise titreşim üretici cihazlara ihtiyaç duyulmadan yerleştirilen sensörlerden mevcut titreşim (ambient vibration) kayıtları alınır.

Zorlanmış titreşim testinin 1935 yılında Stanford Üniversitesinde Blume ve Jacobsen tarafından geliştirilen titreşim üretici ile başladığı kabul edilmektedir. Bu titreşim üretici eşit ağırlıkta iki eksantrik kütlede meydana gelmektedir. Bu kütlelerin birbirine ters yönde dönerek ürettiği harmonik hareketler gerçek boyutlardaki yapıları test etmek için kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan titreşim üreticiler de tamamen aynı prensipte çalışmaktadır. Bu yöntem kullanımda olan veya henüz kaba inşaatı tamamlanmış yapıların dinamik karakteristik özelliklerini belirlemek için kullanılan pratik bir yöntemdir. Binaların karakteristik özelliklerini yapının çeşitli yerlerinden çok sayıda karot olarak ve ultrason ile donatı durumunu belirleyerek yapmak ve yukarıda anlatıldığı gibi yapı izleme sistemleri yerleştirip tayin etmek de mümkündür.

Mevcut Titreşim Analizlerinin (Ambient Vibration) yapılar üzerindeki test raporları 1970'li yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Yapılan testlerin 3/4'ü bina, baca ve silolardan, 1/4'ü ise köprülerle alakalıdır.

Yapılar proje aşamasındayken bilgisayar programları ile modellenmektedir ve dinamik karakteristik özellikleri bu programlar (SAP2000) ile belirlenmektedir. Ancak uygulamada yapının üretim aşamasında projedeki pek çok parametrenin değiştiği

görülmektedir. Bu nedenler gerçekteki dinamik özellikler ile projedeki dinamik özelliklerin farklı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada Hatay İli İskenderun İlçesi'nde bulunan İSDEMİR Yüksek Fırın Aspirasyon Sistemi'nin bir parçası olan 59,2 m yüksekliğindeki betonarme aspirasyon bacası, dinamik davranışı incelenmek üzere seçilmiştir.



Şekil 1.1 Baca Genel Görünüşü (Kuzey Cephe)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Daha öncede bahsedildiği gibi Yapı İzleme Sistemleri'nde mevcut titreşimlerin ölçülmesi için iki yol izlenmektedir. Zorlanmış Titreşim Deneyleri'nde titreşim üretici cihazlar kullanılırken, Mevcut Titreşim Deneyleri'nde (ambient vibration) yapı üzerindeki mevcut titreşimler kaydedilmektedir.

2.1. Zorlanmış Titreşim Deneyleri

Titreşim deneyleri ilk olarak 1967 yılında California'nın Santa Clara şehrinde ki California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center) tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların bu deneyde seçtikleri yapı, genelinde ahşaptan inşa edilse de birleşimlerinde çeliğin kullanılmış olduğu bir yapıdır. Yapının California'daki tipik tek katlı okul binalarına örnek olabilecek bir özelliği vardır. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapının üç modu hesaplanmış. Enine ve boyuna olmak üzere iki yönde yapılan deneylerde frekanslar sırası ile 7 Hz ve 10 Hz, ortak sönüm oranı %3-%4 arasında hesaplanmıştır. Çatı diyaframının burulma frekansı sırası ile enine doğrultuda 6 Hz, boyuna doğrultuda 10 Hz olarak hesaplanmış, ortak sönüm oranı %1-%3 arasında bulunmuştur. Daha sonra deney sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır [Rea ve ark., 1968].

1972 yılında EERC bu titreşim testini Transamerica binası üzerinde denemiştir. Bu yapı San Francisco, California da inşa edilmiş altmış kattan oluşan, piramit şeklinde çelik bir yapıdır. Bu yapının toplam yüksekliği 260 m ve kare şeklinde 53m-53m plan ölçülerine sahiptir. Yapının üçüncü mod hariç Kuzey-Güney ve Doğu-Batı olmak üzere iki doğrultuda da ilk altı mod ile birlikte iki burulma modunda sallanmıştır. Yapının doğal titreşim periyodu 2.9 sn olarak hesaplanmış ve ortak sönüm %1 olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmış, analiz için yapının dörtte biri modellenmiş. İlk iki mod için elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar ile mod şekillerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür [Stephen ve ark., 1973].

Titreşim üretici cihazlar kullanılarak yüksek binaların test edilmesiyle ilgili yapılan çalışmalara bir diğer örnek ise California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory (EERL) tarafından yapılan 22 katlı

San Diego Gas and Electric Company binasının test edilmesidir. Yapının ilk 18 mod için K-G ve D-B doğrultularında frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunmuş ve ayrıca burulmalarda hesaplanmıştır [Jennings ve ark., 1971].

EERC araştırmacıları 1977'nin Nisan ve Mayıs aylarında Seattle Washington'daki Rainer Tower binasında titreşim testi uygulamıştır. Temel titreşim periyodu 4.44 sn olarak belirlenmiş. Kuzey - Güney doğrultusunda sönüm kapasitesi %1-%3 arasındadır. Analiz için, yapının dörtte bir modeli kullanılmış, analiz sonuçları ile deney sonuçlarının birebir uyumlu olduğu görülmüştür [Stephen ve ark., 1978].

Türkiye de ise zorlanmış titreşim testi 70'li yılların ortasında başlamıştır. Kuruluğu 4 Ekim 1976 olan Orta Doğu Teknik Üniversitesi'ne bağlı Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center of the Middle East Technical University METU/EERC) çeşitli binaların titreşim karakteristiklerini incelemek ve sonuçlarını Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (TDY) göstermek için projelere başlamıştır [Çelebi ve ark., 1977].

Bu merkez ilk olarak zorlanmış titreşim testini 1976' da ODTÜ'nün Mühendislik binasında gerçekleştirmiştir. Bu yapının toplam yüksekliği 41.55 m ve plan boyutları 7,20 m–15,96 m'dir. Döşeme sistemi betonarme asmolen tipi döşeme ve altyapı sistemi radye temel tipindedir. Yapının dördüncü katında yandaki binadan ayırmak için genişleme derzi bulunmaktadır. Test için titreşim üretici döşemeye ankrajlanmıştır. Sonuç olarak yapı sadece birinci modal frekansı etrafında sallanabilmiştir. Ayrıca yapı zemin etkileşimi de görülmemiştir. Elde edilen temel periyot 0,82 sn' dir. Tahmini birinci modal sönüm oranı %1,5 ile %1,7 arasında bulunmuştur. Yapı rijitlik merkezinden sallandığı halde büyük çapta burulma deformasyonu gözlenmiştir. Bu durumda yapının %25 eksantrisitesinin olduğu sonucuna varılmıştır [Çelebi ve ark., 1977; Atalay ve ark., 1981].

Aynı merkez tarafından gerçekleştirilen ikinci test 1976 yılında hükümet binasında gerçekleştirmiştir. Yedi katlı betonarme bir bina olarak tasarlanmış olan yapı test yapıldığı sırada henüz tamamlanmamıştır. Test sırasında yapının altıncı katı yeni bitmiş ama dolgu duvarları yapılmamıştır. Yapı 20,40 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 15,26 m– 48,30 m' dir. Döşeme sistemi iki yönlü betonarme kaplama şeklindedir. Birinci ve ikinci modlar için doğal frekanslar sırasıyla, 2,60 Hz deplasman ve 3,04 Hz burulma olarak elde edilmiştir. Temel sistemi esnek yerine rijit alındığı zaman serbest

titreşim analizi tutarlı sonuç vermektedir. Bu modlar için modal sönüm oranı tahmini olarak %2-%2,5 arasındadır. Ayrıca yapının mod şekilleri de hesaplanmıştır. Yapı zemin etkileşimi de gözlenmiştir [Atalay ve ark., 1981; Çelebi ve ark., 1977].

Daha sonra 14 katlı betonarme, tünel kalıp kullanılmış bir yapı olan TÜRKİŞ Apartmanları (1977) test edilmiştir. Yapı 44.1 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 19,08 m–20,86 m ‘dir. Döşeme sistemi iki yönlü betonarme döşeme ve temel sistemi radye temel tipidir. Ön prefabrik panel monte edilmiş ve edilmemiş iki bina test edilmiştir. Ön prefabrik panel monte edilmiş ve edilmemiş iki bina için sırasıyla hesaplanan birinci modal frekansları 1,643 Hz ve 1,525 Hz, sönüm oranları %2,3–2,7 ve %1,5 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar kapsamında panellerin sönüm oranını etkilediği ancak doğal titreşim frekansında önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Yapı zemin etkileşimi gözlenmiştir. Ayrıca yapı ile ek bina arasındaki genişleme derzi ve binanın çekirdeği bağıl harekete izin vermemektedir [Atalay ve ark., 1981; Çelebi ve ark., 1977].

Test edilen diğer bir bina Kirazlıdere’deki Kara Harp Okulunun A-Blok yatakhane binasıdır (Ankara 1977). Yedi katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme binanın yüksekliği 25,74 m ve plan ölçüleri 39,35 m–16,50 m’ dir. Döşeme sistemi betonarme, temel sistemi sürekli ve tekil temelden oluşmuştur. A-blok ve B-blok birimleri arasında genişleme derzi vardır. Hesaplanan ilk iki yakın yanal burulma frekansı 2.07 Hz ve 2.12 Hz., üçüncü burulma frekansı 3.86 Hz olarak bulunmuştur. Sönüm oranı birinci moddan başlayarak: %1.2-1.7,%2.0-3.1,%1.3-1.4 olarak hesaplanmıştır [Atalay ve ark., 1981; Erdik ve ark., 1978].

Yapılan diğer çalışma Sincan-Yenikent Evlerinde düşük maliyetli tipik bir konut binasında gerçekleştirilmiştir. Altı katlı dolgu duvarlı betonarme bir binadır. Yüksekliği 16,10 m ve plan ölçüleri 20 m–11 m’ dir. Bunların döşeme sistemi betonarme ve temel sistemi iki yönlü bileşik temeldir. Yapının tepkisini, farklı temel şartlarında, temel tiplerini değerlendirmek için bulunan iki eş binada test yapılmıştır. Sismik kırılma araştırmasından hesaplanan kesme modülleri zemin-A ve zemin-B için sırasıyla; $2.3 \times 10^4 \text{ t/m}^2$ ve $4,2 \times 10^4 \text{ t/m}^2$ ’dir. Yapı-A için hesaplanan birinci modal frekans 3,39 Hz ve yapı-B için 3,25 Hz’dir. Zemin yapısını da dikkate aldığımızda bu sonuçlar ile analiz sonuçları uyumlu bulunmuştur (3,43 Hz ve 3,17 Hz) [Atalay ve ark., 1981; Erdik ve ark., 1978].

Daha sonra yapılan test yedi katlı betonarme bina olan ODTÜ kız yurdunda gerçekleştirilmiştir. 23,65 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 17 m–30,41 m' dir. Döşeme sistemi betonarme kirişli döşeme ve temel sistemi bileşik ve tekil temelden oluşmuştur. İki blok bitişik oldukları genişleme derzi boyunca bağımsız sallanmıştır. Her ikisi de aynı davranışı göstermiştir. Hesaplanan ilk iki modal frekans 2,36 Hz ve 2,58 Hz' dir. Bu modlar için hesaplanan sönüm oranları sırasıyla %1,7–2,1 ve %3,0–4,0'dır. İkinci mod baskın burulma modudur. Genel olarak burumla hareketi bölme duvarların bina içindeki asimetrik yerleşiminden dolayı oluşmuştur [Atalay ve ark., 1981].

Araştırmacılar yeryüzünde meydana gelen büyük depremlerden sonra binaların durumunu tespit etmek için de benzer çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalardan biri Vun Nuys Californiada yedi katlı betonarme bir binada gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar 17 Ocak 1994 Northridge depreminde ($M_L=5,3$, merkez üssü 1,5 km binanın doğusunda) binaların zarar görmesinden sonra yapılmıştır. Uzun doğrultuda (Doğu- Batı) ve kısa doğrultuda (Kuzey-Güney) ilk dört mod bulunmuştur. D-B doğrultusunda yapının frekansları sırası ile 1,0, 3,5, 5,7 ve 8,1 Hz. olarak bulunmuş, normalize edilmiş mod şekilleri çizilmiştir. K-G doğrultusunda yapının frekansları sırası ile 1,4, 1,6, 3,9, 4,9 Hz. olarak bulunmuş ve normalize edilmiş mod şekli çizilmiştir. Bu frekanslardan 1,4 ve 3,9 Hz. deplasman modu, 1,6 ve 4,9 Hz. burulma modu olarak belirlenmiştir. Daha sonra bölgede meydana gelen depremler etkisinde yapı-zemin etkileşimi incelenmiştir. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılmıştır [Ivanovic ve ark., 2000].

Ayrıca zorlanmış titreşim deneylerinde yaygın olarak kullanılan veri analizi yöntemi olan FFT metoduna alternatif Maksimum Entropi Metodu da kullanılmıştır. Bu iki metod arasındaki değerlendirmeler, rüzgâr yükü kullanılarak yapılardaki titreşimlerin ölçülmesi ile incelenmiştir [Cao ve ark., 1977].

Yapılan çalışmalar sadece betonarme binalar ve çok katlı çelik binalarla sınırlı kalmamış ahşap çerçevesel yapılarda da denenmiştir [Ellis ve ark., 2001]. Bu çalışmada altı katlı ahşap çerçevesel bir yapının dinamik özellikleri ve rijitlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu deneyde iki farklı yöntem kullanılmıştır. İlk olarak yapı lazer ölçüm cihazları ile ölçülmüştür. Bu yöntemin avantajı ölçümlerin uzaktan yapılabilmesi ve yapıya herhangi bir deney düzeneği kurmaya gerek olmamasıdır. Ayrıca yapının inşaat halinde iken ölçüm yapmak için kullanılacak en uygun yöntem olmasıdır. Diğer

yöntemde zorlanmış titreşim testidir. Bu yöntemde bilindiği gibi yapıya ölçüm cihazları yerleştirilir. Verilen harmonik titreşimler sonrasında yapının karakteristik özellikleri (hakim frekans, mod şekli, sönüm oranı) belirlenir. Bu iki ölçüm sonrasında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın bulunmuştur. Dinamik karakteristik özelliklerin belirlenmesi genellikle betonarme yapılarda ve çelik yapılarda uygulanan zorlanmış titreşim deneyleri ile yapılmıştır. Bu nedenle uzun seneler ayakta kalmış olan yığma yapıların dinamik karakteristik özelliklerini belirlenmesi amaçlanmış ve zorlanmış titreşim testi yığma yapılar için de uygulanmıştır. Deney ve teorik sonuçlar karşılaştırılmış ve benzer oldukları görülmüştür [De Sortis ve ark., 2005].

Dünyanın birçok yerinde yüksek gökdelenler bulunmaktadır. Bu yapıları en çok tehdit eden doğa olayı ise şiddetli rüzgarlardır. Araştırmacılar bu durumu dikkate alarak Hong Kong da dünyanın en yüksek binalarından olan iki yapıya rüzgar etkisi altında dinamik tepkilerini ölçmek için cihazlar yerleştirilmişlerdir. Imbudo Tayfunu ve Dujan Tayfunu'nun bu yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğal frekansları ve burulma frekansları ampirik, sayısal ve deneysel olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen frekanslar birbiri ile karşılaştırılmış ve deney sonucunu daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar şu fikri vermiştir; Hong Kong'daki yüksek betonarme binalar, diğer şehirlerdeki benzer binalara göre daha rijittir [Campbell ve ark., 2005].

Rüzgar etkisi çok katlı yapılar için önemi bir sorundur. Bu nedenle gökdelen tarzı çok yüksek yapılarda bu tarz çalışmalar yapılmıştır [Li ve ark., 2004].

Titreşim kayıtları sadece yapının dinamik karakteristik özelliklerinin değil yapının rijitlik merkezinin bulunmasında da kullanılmıştır. Burada temel ölçüt rijitlik merkezinde ötelenme hareketi ile burulma hareketinin minimum uyumlulukta olmasıdır. Bu durumdan yola çıkarak elde edilmiş formüllerden rijitlik merkezi bulunmuştur. Bu metod için iki örnek kullanılmış; dikdörtgen yapı için dışarıdan harmonik yük verilerek ve üçgen yapıda ise deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Bu örnekler bu yöntemin doğruluğunu kanıtlamaktadır [Şafak, E., Çelebi, M., 1990].

Yapıların dinamik özellikleri belirlenirken kullanılan titreşim kayıtları yapı-zemin etkileşiminin bulunmasında da önemlidir. Elde edilen kayıtlar analiz edildikten sonra yapı-zemin etkileşimi olup olmadığı ile ilgili bir yöntem önerilmiştir (Şafak, E., 2007). Onyedili katlı çelik bir yapıya aralıklarla harmonik titreşim verilerek, yirmidört saatlik bir rüzgar etkisi altındaki titreşimleri kayıt edilerek ve 28 Mart 2003 Encino, California

($M_L=2.9$), 3 Eylül 2002 Yorba Linda, California ($M_L=4.7$) ve 3 Kasım 2002 Alaska ($M_w=7.9$) depremlerinin kayıtları kullanılarak belirlenen karakteristik özellikleri karşılaştırılmıştır [Kohler ve ark., 2005].

Temmuz 2002 de California Institute of Technology (Caltech)'de bulunan Millikan Kütüphanesi'ne zorlanmış titreşim testi uygulanmıştır. 9 katlı ve toplam yüksekliği 44 m olan betonarme yapıya en üst katına yerleştirilen titreşim üretici K-G ve D-B doğrultuları olmak üzere iki yönde 1 Hz ile 9,7 Hz arasında titreşimler verilmiştir. Doğal frekaslar şu şekilde bulunmuştur; 1,14 Hz (D-B), 1,67 (K-G), 2,8Hz (burulma). Sönüm kapasiteleri D-B doğrultusunda %2,28, K-G doğrultusunda %2,39 olarak hesaplanmıştır. K-G ve D-B olmak üzere her iki doğrultuda birinci moda ait deney ve analitik sonuçlar yakın çıkmıştır. Sonraki modlarda bu durum görülememiştir [Bradford ve ark., 2004].

2.2. Mevcut Titreşim Analizleri (Ambient Vibration)

California'da yapılan Zorlanmış titreşim ve mevcut titreşim testleri yaklaşık 65 yıldır yürütülmektedir. The U.S. Coast ve Geodetic Survey mevcut titreşim analizleri ile yapılan temel periyotlarını ölçmeye 1930'ların başlarında başladı. Yaklaşık 30 yıl sonra; bu test incelendi ve yapıların titreşim modlarının ve düşük frekanslarının belirlenmesinde kullanılabileceğini gösterildi [Crawford, R., Ward, H.S., 1966].

Trifunac 1970 yılında rüzgarı ve mikro sarsıntıları çerçeve sistem yapıların testinde kullandı. Birkaç yıl sonra mevcut titreşim analizlerinin sonuçlarıyla aynı iki bina üzerindeki zorlanmış titreşim testinin sonuçlarını karşılaştırdı [Trifunac, 1972]. İki testin de sonuçları benzer ve tutarlıydı. Udwadia ve Trifunac değişik tipteki 4 binanın mevcut titreşim analiz test sonuçlarını sundu ve deprem öncesi ve sonrasındaki mevcut titreşim analiz tepkilerindeki değişiklikleri tartıştı. Yumuşak toprak ve sert yapı arasındaki etkileşimin etkilerini depremin hemen sonrasında ve çok sonrasında nasıl olduğunun analizi de bu çalışma içinde yer aldı [Udwadia, F.E., Trifunac, M.D., 1973].

1970'ler ve 1980'lerde, mevcut titreşim ve zorlanmış titreşim testleri yapıların deprem sonrası belirli frekanslarını kıyaslamada ve bu frekanslara eşlik eden 3 boyutlu deformasyonların doğal hallerini belirlemede kullanıldı. Aynı zamanda deprem sonrası

yapıların nonlinear sonuçlarıyla yumuşak yapı etkileşiminin önemi hakkındaki tutarsız yorumları çözüme kullanıldı [Moslem, K., Trifunac, M.D., 1986].

Mevcut titreşim analizlerine 1990 ve 2000'lerde daha derin çalışmalarla katkı sağlanmaya devam edildi.

Mevcut titreşim analizinin en sık kullanım alanlarından biri de doğal frekansların titreşimlerinin yapıların mod şekillerinin bulunmasını içerir. Mevcut titreşim analizleri, aynı zamanda parametre tahminlerini ve yapıların model özelliklerini geliştirmede kullanılır.

Cracow University of Technology, ve Building Research Institute, Polonya'da yapılan çalışmalarda 100m uzunluğundaki yeni bir çelik bacanın rüzgar etkisi altındaki titreşimler sonucu bulonlarında oluşan hasarların nedenleri incelenmiştir. Baca ve paralel bina mevcut mod ve frekansları ölçülerek mevcut yapı davranışlarının farklılıkları üzerinde durularak hasarın nedeni açıklanmıştır [Kaweckia J., Zuranski J.A., 2007].

Universidad Polite'cnica de Valencia'da yapılan çalışmada sanayi devrimi döneminde pek çok Avrupa kentinde inşa edilmiş tuğla bacalara örnek bir baca ele alınmıştır. Buhar kazanları yanma sisteminin bir parçası olarak inşa edilen baca üzerinde bilgisayar modellemesi sonucu basınç ve çekme bölgeleri, mod şekilleri bulunmuş, baca malzemesi üzerindeki etkileri tartışılmıştır [Pallare's ve ark., 2004].

Nagoya City University ve Politecnico di Torino'da yapılan çalışmada bir tuğla baca ele alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar modellemesi sonucu oluşan mod şekilleri bulunmuştur. Yapılan deneysel sonuçlarla teorik model arasındaki farkı en aza indirmek amacıyla model kalibrasyonu yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir [Aoki ve ark., 2007].

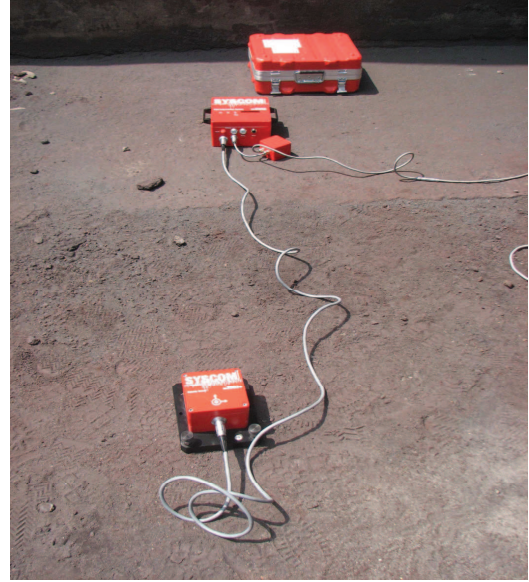
University of Sheffield'da yapılan çalışmada 183 m uzunluğunda betonarme bir baca incelenmiştir. Baca izleme sistemi ve kurulumunun anlatıldığı çalışmada bilgi işlem sistemleri ve TMD (Tuned Mass Damper) sistemi ele alınmıştır. İvme ölçerlerle alınan mevcut titreşim değerleri bilgisayar yardımı ile analiz edilmiş, deplasman değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler yardımı ile mod şekilleri elde edilmiştir [Brownjohn ve ark., 2008].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada çelik üretimi için kurulmuş olan yüksek fırınların hemen yakınında bulunan bacada mevcut titreşimler ölçülerek bacanın bazı dinamik karakteristik özelliklerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu amaçla malzeme taşınmasının sürekli devam ettiği hammadde bantları ve kok bandının arasında kalan bacada sensör yerleşimleri yapılmış ve titreşim kayıtları analiz edilmiştir.

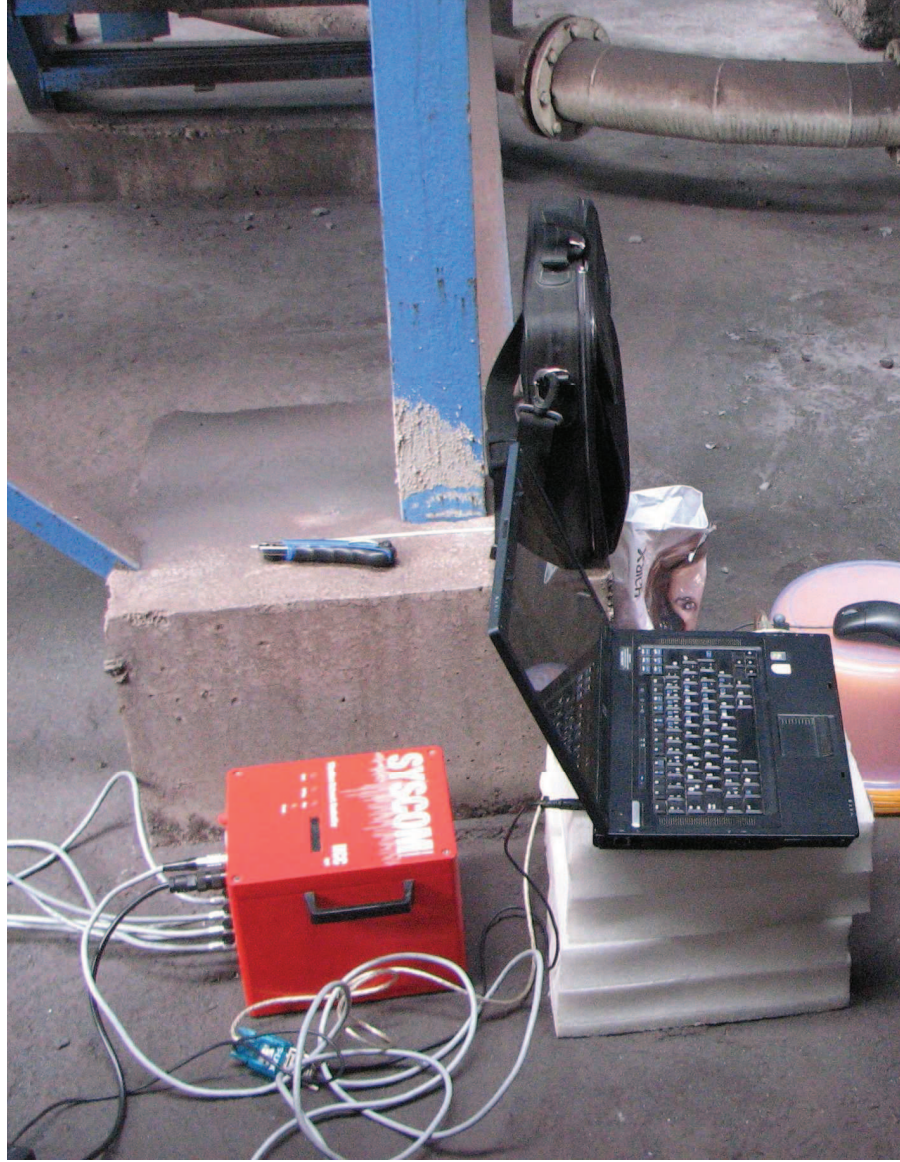
3.1. Materyal

3.1.1. Hızölçerler



Şekil 3.1 Hız Sensörü ve Bağlantıları

Hız ölçüm cihazları üç bölümden oluşmaktadır, bir adet hız sensörü, bir adet dönüştürücü ve bir adet kayıt kutusu. Bu sistemdeki cihazların birbiri ile bağlantısı şu şekilde yapılmaktadır; hız sensörü üzerindeki su terazisi ile dengeye getirildikten sonra kablo ile kayıt ünitesine bağlanır. Bir dönüştürücü ile ana kayıt ünitesine (Network Control Centre) bağlanır. Sensörler yapıdaki mevcut titreşimleri algılar ve kaydeder.



Şekil 3.2 Ana Kayıt Ünitesi ve Bilgisayar Bağlantısı

3.2. Yöntem

3.2.1. Serbest Titreşim Hareketi

Çok serbestlik dereceli sistemlerde serbest titreşimden doğal modlar bulunur. Çok serbestlik sistemlerde serbestlik derecesi sayısı kadar doğal mod ve bunlara karşılık gelen doğal titreşim periyotları mevcuttur. Sistemin koordinat noktalarının yer değiştirmelerinin birbirlerine oranları serbest titreşimin herhangi bir zamanında sabittir. Genel denklemden, sönüm kuvvetleri ve dış kuvvetler çıkarılırsa, çok serbestlik dereceli sistemin, serbest titreşim hareket denklemi elde edilir. Genel dinamik hareket denklemi;

$$m\ddot{x}(t)=P(t)-kx(t)-c\dot{x}(t) \quad (3.1)$$

veya

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=P(t) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm düzeneği bulunmayan sistemlerde hareket denklemi;

$$m\ddot{x}(t)+kx(t)=P(t) \quad (3.3)$$

şeklini alır. Kütleyle harekete zorlayacak dış etkenler bulunmaması halinde ise, sistemin serbest titreşim denklemi şu şekildedir:

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=0 \quad (3.4)$$

3.2.1.1.Sönümsüz Serbest Titreşim

Dış zorlamalar sona erdikten sonra sürmeye devam eden salınımlara serbest titreşim denir. Serbestçe titreşen, tek serbestlik dereceli bir sistemde sönüm olmadığı varsayılırsa, hareketi tanımlayan denklem;

$$m\ddot{x}(t)+kx(t)=0 \quad (3.5)$$

halini alır. Denklem şu şekilde yazılabilir;

$$\ddot{x}(t)+(k/m)x(t)=0 \quad (3.6)$$

Buradan sönümsüz serbest titreşim frekansı;

$$\ddot{x}(t)+\omega^2(x(t))=0 \quad (3.7)$$

$$\omega^2=k/m \text{ ve } \omega=\sqrt{\frac{k}{m}} \text{ olarak yazılabilir.} \quad (3.8)$$

3.2.1.2.Sönümlü Serbest Titreşim

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=P(t) \quad (3.9)$$

$x=e^{\alpha t}$ alındığında denkleminin çözümü:

$$m\alpha^2+c\alpha+k=0 \quad (3.10)$$

olur. Buradan hareketle;

$$\alpha^2+(c/m)\alpha+k/m = \alpha^2+2\xi\omega\alpha+\omega^2 =0 \quad (3.11)$$

elde edilir. Sönüm oranı;

$$\xi=c/2\omega m \quad (3.12)$$

olarak bulunur.

Çözümü geçerli kılacak α değerleri 3.11 denkleminin kökleridir. Dolayısıyla bu değerler;

$$\alpha_1 = -\xi\omega + \omega\sqrt{\xi^2 - 1} \text{ ve } \alpha_2 = -\xi\omega - \omega\sqrt{\xi^2 - 1} \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır (Yerlici, 2007).

3.2.2. Deneyin Yapılışı

Deney için seçilen baca sanayi kuruluşu içerisinde bulunması münasebetiyle birçok titreşim kaynağının arasında bulunmaktadır. Bununla birlikte deneyin yapıldığı bölgede çok şiddetli rüzgar etkisi de bilinmektedir. 22.07.2010 tarihinde sensör yerleşimi için yüksekte çalışabilir, ağır ve tehlikeli işlerde çalışabilir raporlu iki çalışana sensör yerleşimleri ve bağlantıları konusunda baca tabanında detaylı bilgiler verilmiştir. Burada sensörlerin aynı doğrultuda olmaları ve aynı yöne bakmaları büyük önem arz etmektedir.

Uygulamalı olarak yapılan bilgilendirmenin ardından iş güvenliği açısından emniyetli bir şekilde sensörler sırası ile 1. sahanlık, 1. platform, 3. sahanlık ve 2. platforma yerleştirilmiştir. En son platforma iki sensör ve baca altına bir sensör yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Sensörlerin Taşınması



Şekil 3.4 Sensörlerin Taşınması

Sensörlerin yerleştirilmesinden sonra kablolar ek noktaları kelepçeler vasıtası ile sağlamlaştırılarak her noktadan ayrı ayrı ana kayıt ünitesine bağlanmıştır. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra deneye başlanmıştır.

Bir saati aşkın bir süre alınan okuma değerleri ana kayıt ünitesinin hafızasından bilgisayara aktarılmıştır.

Daha sonra baca üzerinden karot numuneleri, betonarme çelik çubuk örnekleri alınmış ve dayanımlarının araştırılması için laboratuara gönderilmiştir. Baca içerisindeki betonarme çelik çubukların yerleşimlerinin ve sıklıklarının incelenmesi için donatı tespit ve analiz cihazı ile yapının donatı içeriği incelenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

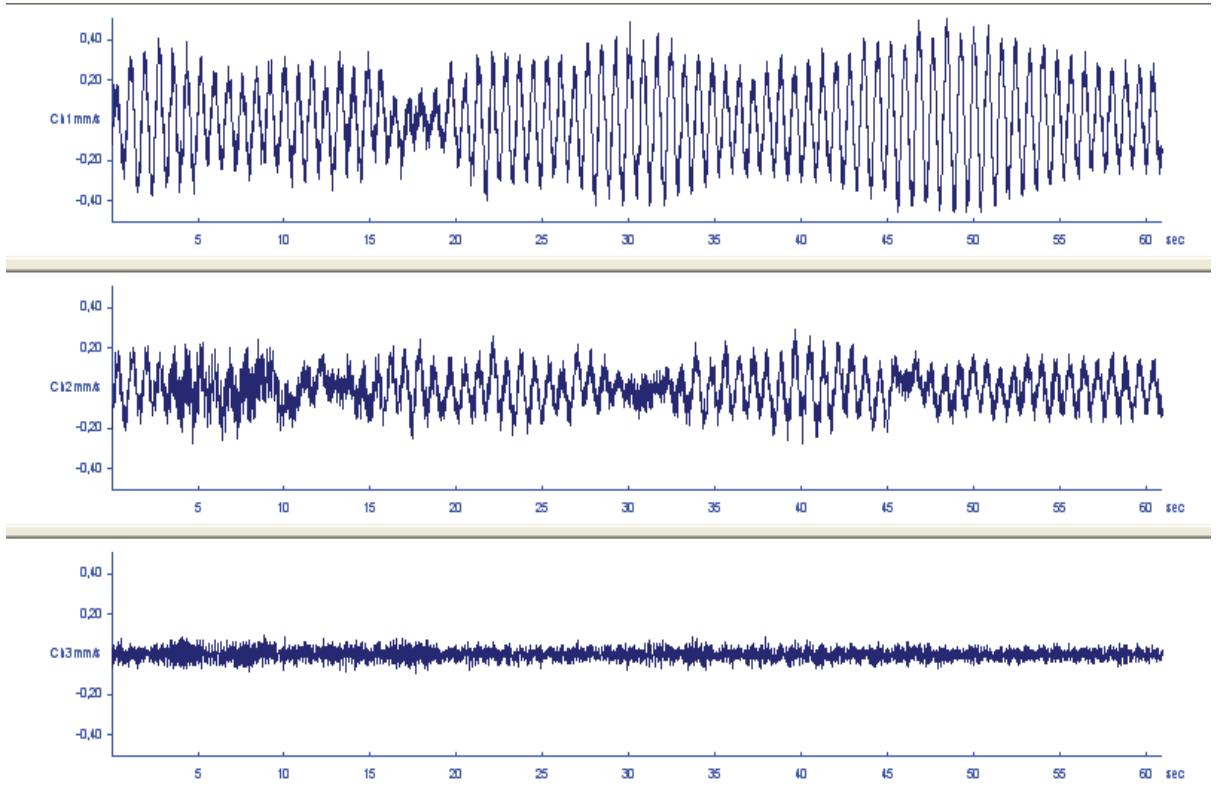
4.1. Data Analizi

Deneyle sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi VIEW2002 ve Matlab paket programları ile yapılmıştır. Aletlerden alınan kayıtların analiz edilmeden önce veri işleme denilen bir data temizleme işleminden geçirilmesi gerekir. Bu işlem analizi kolaylaştırdığı gibi hata oranlarını da azaltır. Bu kayıtlar için veri işleme aşağıdaki adımları kapsar (Şafak, 2007):

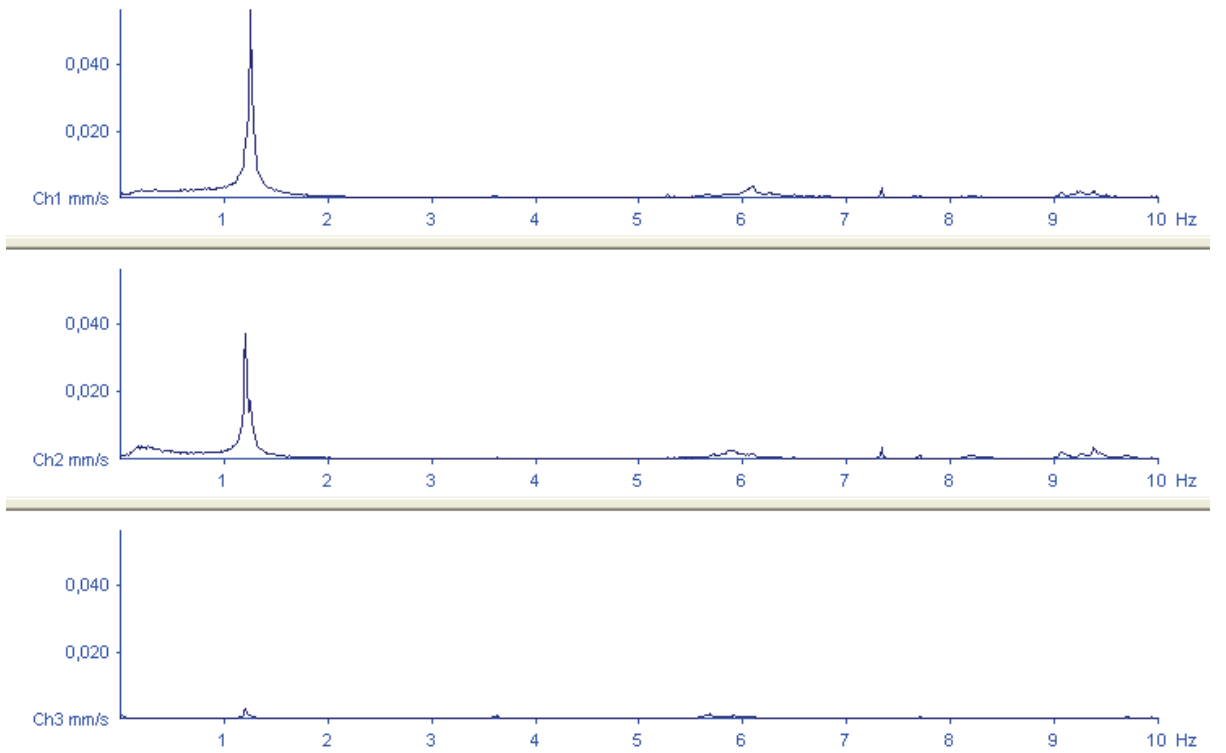
1. Datadaki ortalama değerlerin ve lineer hataların ayıklanması (base-line correction).
2. Kayıtlarda gürültünün fazla olduğu çok düşük ve çok yüksek frekanslı kısımların filtre edilmesi.
3. Yapıda mevcut en yüksek frekans değerleri göz önüne alınarak gerekirse kayıtlardaki örnekleme aralığının yükseltilmesi (decimation)
4. Eğer sensörlerden alınan kayıtlar senkronize değilse analitik yöntemler kullanılarak kayıtların senkronize edilmesi.

4.2. Modal Frekansların Bulunması

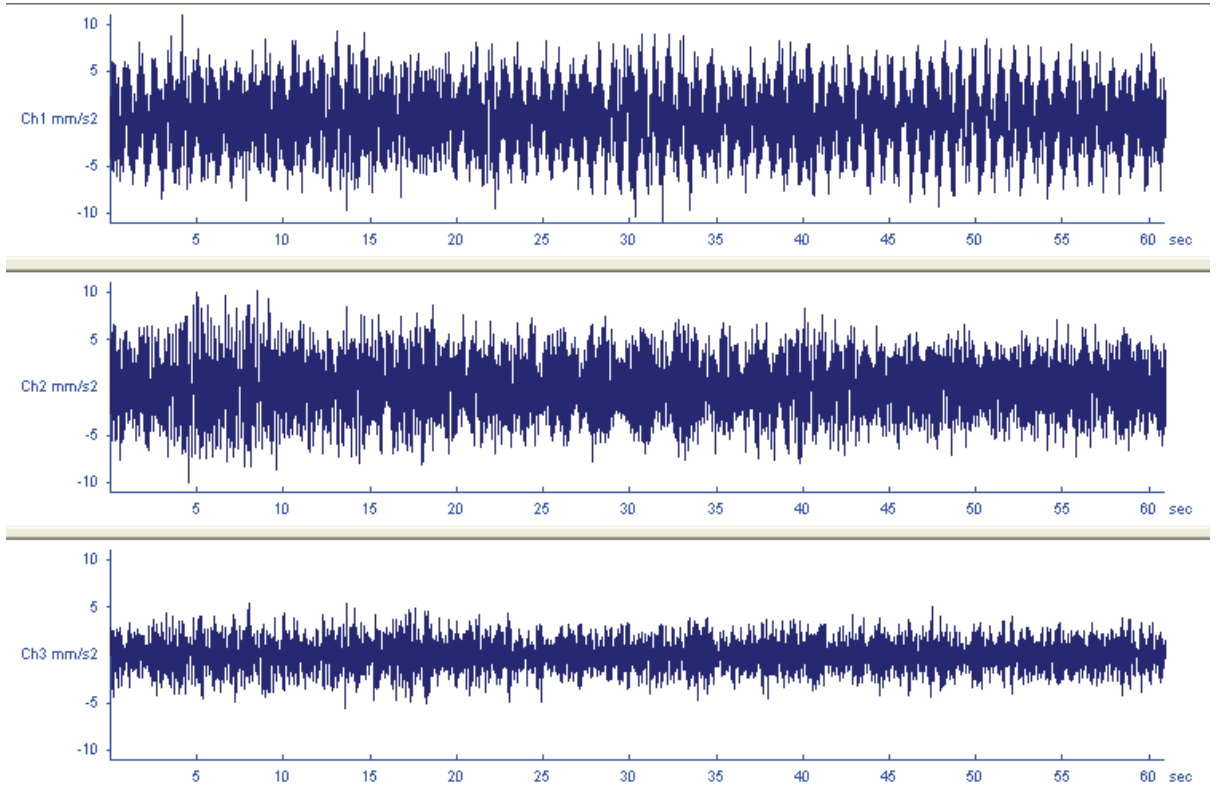
Yapının modal frekanslarının bulunması en basit yolu işlenmiş datanın Fourier transformunu almaktır. Fourier transformu esas olarak datanın sonlu sayıda sinüs eğrisinin genliklerini değiştirerek ve birbirine göre kaydırarak toplanmasına eşdeğer hale getirilmiş işlemidir. Fourier transformunda genliğin maksimum olduğu frekanslar yapının modal frekansını gösterir (Şafak, 2007). Aşağıdaki şekilde örnek bir kayıt gösterilmekte ve bu kaydın fourier transformu, ivmesi, deplasman değerleri gösterilmektedir.



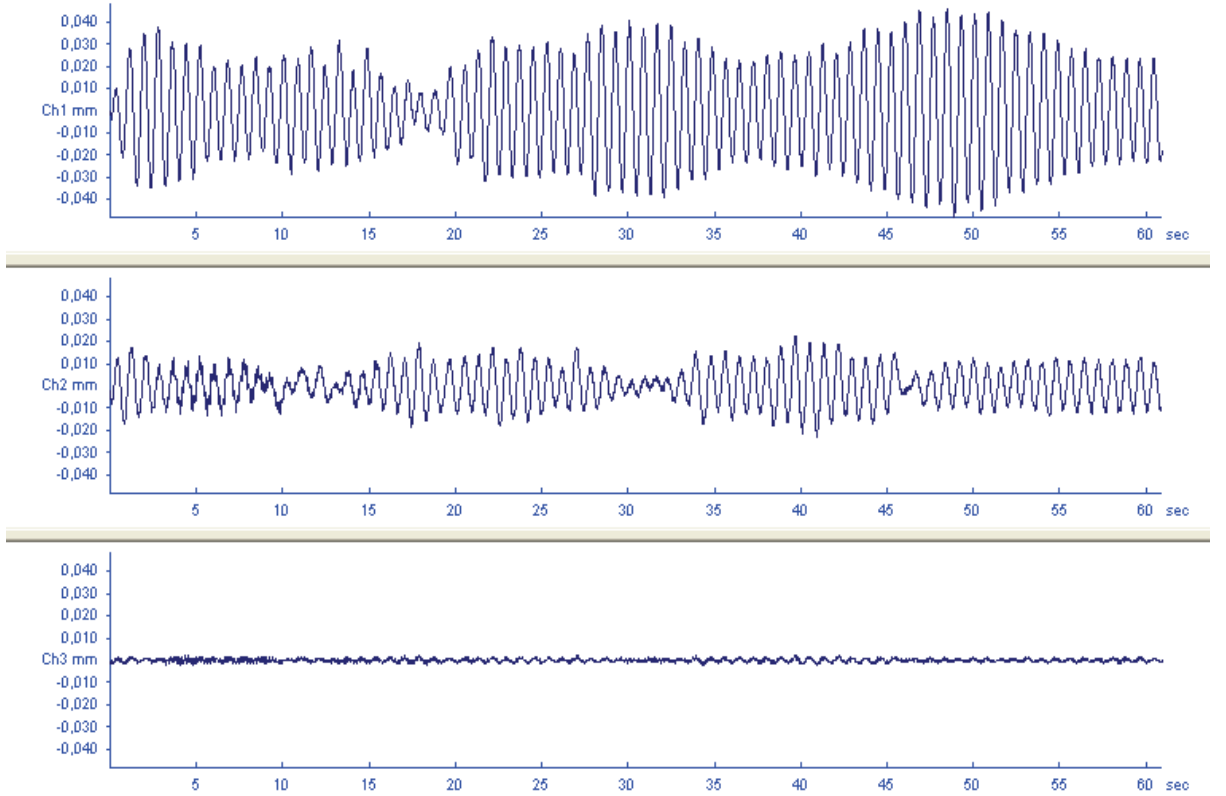
Şekil 4.1 Örnek Sinyal Değerleri (Hız)



Şekil 4.2 Fourier Transformu



Şekil 4.3 İvme Değerleri



Şekil 4.4 Deplasman Değerleri

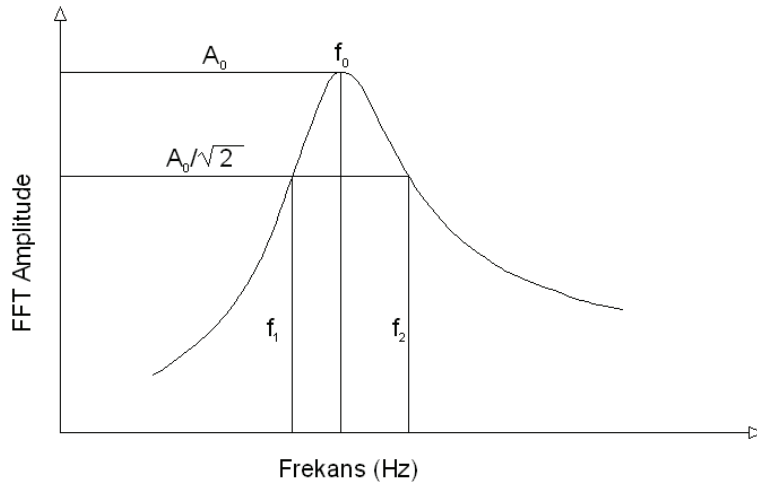
4.3. Mod Şekillerinin Bulunması

Mod şekilleri yapının her modal frekansta hangi geometrik konumda titreştiğini gösterir. Herhangi bir moda karşılık gelen mod şeklini bulmak için yapının kayıtları bu modu tanımlayan frekans etrafında dar bantlı bir filtre kullanılarak filtre edilir. Filtrelenmiş dataların genliği, ölçme noktalarındaki mod şeklinin genliğini verir.

4.4. Sönüm Oranlarının Bulunması

Modal sönüm oranları her moda karşı gelen filtrelenmiş kayıtları kullanarak tayin edilebilir. Genelde sönüm çok nonlineer bir parametredir ve yapıya gelen deprem yükünün frekans karakteristikleri ve yapının deplasmanları ile değişir. Bu nedenle kaydın kuvvetli titreşim kısmını kullanarak modal sönüm hesaplamak uygun değildir ve istikrarlı bir değer elde etmek zordur. Modal davranışı gösteren filtrelenmiş datanın Fourier spektrumunda maksimum genliğin genişliği kullanılır. Eğer f_0 modal frekansı bu frekanstaki genlik A_0 alınır ve spektrum genliğinin $A_0/\sqrt{2}$ kadar azaldığı yerdeki frekanslar f_1 ve f_2 olarak hesaplanırsa, modal sönüm aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Chopra, 1995):

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} \quad (4.1)$$



Şekil 4.5 Frekans – Tepki Eğrisi İle Sönüm Oranının Bulunması

4.5. Baca Hakkında Teknik Bilgiler

Konveyör bantlarıyla taşınan hammaddelerin taşıma, eleme, tartılması ve fırınlara şarjı esnasında sistemde fazla tozlu ortam oluşmaktadır. Bu tozların tutulması, boşaltılması ve sevkiyatının bütününe kapsayan sistem Aspirasyon Sistemi olarak adlandırılmaktadır.

Çalışma yapılan baca aspirasyon sistemi bacası olup yapımı 1975 yılında sona ermiştir. Çalışma alanı ve bulunduğu bölge nedeniyle bir çok titreşim etkisine ve rüzgar yüküne maruz kalmıştır. Aşağıda ilgili bölgenin son on yılda ve güncel rüzgar hızı ölçüm değerleri verilmiştir.

Aylık Kuvvetli Rüzgarlı Günler Sayısı

ISTASYON ADI/NO: ISKENDERUN / 17370	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1990	8	10	5	10	6	3	3	2	4	6	10	9
1991	11	8	10	8	9	2	9	9	7	7	7	15
1992	15	18	11	8	8	10	15	2	6	1	12	16
1993	10	15	14	15	11	12	6	7	7	7	9	10
1994	12	11	6	9	8	9	13	11	4	9	13	17
1995	21	4	10	6	9	5	13	16	9	5	11	9
1996	6	12	10	8	3	3	1	6	10	7	8	9
1997	12	8	10	10	1	4	6	11	8	5	5	13
1998	13	13	14	15	10	4	5	1	4	6	6	13
1999	7	11	6	8	6	8	2	12	5	7	4	8
2000	14	12	8	6	5	7	3	7	6	4	3	12
2001	5	13	6	13	10	8	6	9	8	9	10	14
2002	9	4	10	12	6	7	5	9	4	3	5	15
2003	15	8	11	7	5	4	4	1	5	1	4	11
2004	9	9	5	3	10	4	2	5	4	8	7	16
2005	14	14	13	9	7	6	6	4	6	6	8	7
2006	9	7	15	8	5	6	10	3	6	9	3	3
2007	4	2	9	8	2		2	1	2	4	8	3
2008	4	4	6	3	2	2	1	1	6	2	1	8
2009	11	7	10	8	2		3		3	5	6	

Çizelge 4.1 Aylık Kuvvetli Rüzgarlı Günler Sayısı

Aylık Maksimum Rüzgar Hızı (10 m.de) (m_sec) ve Yonu

İSTASYON ADI/NO: İSKENDERUN / 17370												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1990	18.5 /ENE	17.6 /NNW	16.7 /SE	20.5 /N	19.9 /SW	20.3 /W	18.4 /W	11.7 /W	23.0 /N	21.2 /NNW	20.1 /NW	21.7 /SE
1991	24.1 /NW	22.7 /SSE	23.0 /NE	23.9 /NE	24.2 /NNW	12.2 /WSW	14.7 /WSW	13.5 /W	20.4 /N	20.6 /W	17.0 /SSE	24.9 /SSE
1992	24.4 /NNE	26.2 /NNW	20.6 /SSE	26.9 /SE	24.4 /W	17.2 /W	34.3 /NNW	16.2 /NNW	21.1 /NW	26.0 /W	28.3 /NNW	22.6 /N
1993	23.0 /SW	22.6 /SSE	22.6 /S	20.4 /NW	24.0 /SSE	26.5 /N	13.6 /NW	16.7 /N	15.3 /ESE	15.3 /ENE	27.6 /NE	20.0 /SW
1994	22.0 /NE	20.5 /WSW	23.4 /NE	24.6 /WSW	25.2 /WSW	21.2 /WSW	22.1 /W	20.0 /WSW	21.0 /SW	26.9 /W	25.0 /N	26.0 /SSE
1995	21.8 /ESE	18.0 /SSE	20.2 /NNW	22.0 /N	20.4 /SW	16.2 /WSW	19.0 /NW	16.2 /NNW	21.0 /NNW	20.6 /SE	23.3 /WSW	15.7 /S
1996	18.4 /E	21.6 /NE	23.0 /SSE	19.9 /SSE	21.2 /NW	17.2 /NNW	13.0 /NE	15.9 /NNW	25.7 /N	21.4 /SSE	15.3 /SSE	25.6 /SSE
1997	23.0 /NE	21.2 /ENE	30.8 /SSE	27.4 /NNW	21.2 /NNW	14.6 /NNW	15.4 /NNE	17.6 /NNW	22.1 /NE	18.5 /WSW	23.4 /SW	17.8 /S
1998	20.3 /S	21.4 /ENE	34.4 /SSE	27.2 /SSE	30.1 /SW	14.4 /SW	15.8 /WSW	11.9 /WSW	20.1 /NNE	18.2 /SSE	23.8 /NNW	23.6 /NNW
1999	19.4 /S	26.1 /SSW	27.1 /SE	14.9 /N	20.8 /NNE	15.8 /N	21.2 /ENE	14.2 /NNW	19.6 /NNE	20.2 /ENE	23.4 /NE	18.0 /S
2000	23.3 /ESE	19.3 /NNW	21.7 /NNW	33.0 /ESE	17.6 /SE	16.1 /NNE	12.1 /W	21.2 /NE	15.4 /W	16.1 /NW	20.6 /SW	22.1 /NNW
2001	18.9 /SW	20.3 /N	24.8 /SSE	23.2 /S	24.5 /NNE	15.6 /WSW	12.2 /W	16.6 /NNE	17.6 /SSW	19.2 /ENE	27.3 /N	23.8 /WSW
2002	25.3 /S	25.7 /WSW	27.9 /SE	28.4 /SE	17.0 /ENE	19.6 /NNE	16.7 /N	18.6 /NNE	17.7 /NNE	25.3 /NNW	21.5 /WSW	20.7 /NNE
2003	17.2 /SSE	32.0 /NE	25.6 /NNE	24.2 /SE	19.6 /WSW	13.5 /NNW	15.8 /NW	11.0 /WSW	23.9 /N	28.8 /NNE	22.2 /ENE	21.2 /SSE
2004	22.8 /SSE	24.9 /N	21.6 /WSW	27.7 /NW	17.2 /WSW	17.6 /WSW	12.1 /WSW	14.7 /WSW	14.4 /NW	22.0 /SE	27.1 /WSW	19.9 /NNE
2005	28.3 /SE	23.4 /W	18.8 /N	20.8 /ESE	25.2 /NNE	20.2 /N	16.9 /WSW	20.6 /NE	24.5 /ENE	23.2 /NW	25.6 /NNW	17.5 /WSW
2006	26.9 /W	19.5 /ESE	22.1 /ESE	18.0 /ESE	13.8 /NNE	16.2 /WSW	14.4 /NNE	12.2 /WSW	14.9 /W	21.6 /NNW	28.4 /WSW	20.2 /NNE
2007	16.0 /N	11.8 /ENE	18.9 /S	16.4 /NNE	15.4 /WSW	10.4 /WSW	12.6 /WSW	11.5 /WSW	12.9 /WSW	13.1 /ESE	16.7 /NNW	16.7 /SE
2008	13.2 /N	13.1 /N	20.9 /SSE	16.2 /SSE	11.0 /WSW	15.8 /WSW	10.8 /WSW	15.7 /NNW	14.2 /NNE	12.7 /SW	10.8 /N	18.0 /NNE
2009	17.9 /NNE	16.8 /SSE	20.7 /W	14.1 /WSW	22.5 /SSE	10.7 /W	15.3 /WSW	9.5 /NNW	16.2 /NNE	14.1 /SW	14.0 /N	

Çizelge 4.2 Aylık Maksimum Rüzgar Hızı

Ay	En Yüksek	Ortalama
	m/sn	m/sn
Ocak	117,7	22,2
Şubat	175,4	69,1
Mart	189	37
Nisan	51,1	52,8
Mayıs	147	5,2
Haziran	55,1	0,2
Temmuz	47,4	-
Ağustos	60	3,3
Eylül	56,4	37,4
Ekim	95,9	33,4
Kasım	223,6	11
Aralık	129,4	40,9
Yıllık	34.0	20,4

Çizelge 4.3 2010 Yılı Rüzgar Hız ve Yönü

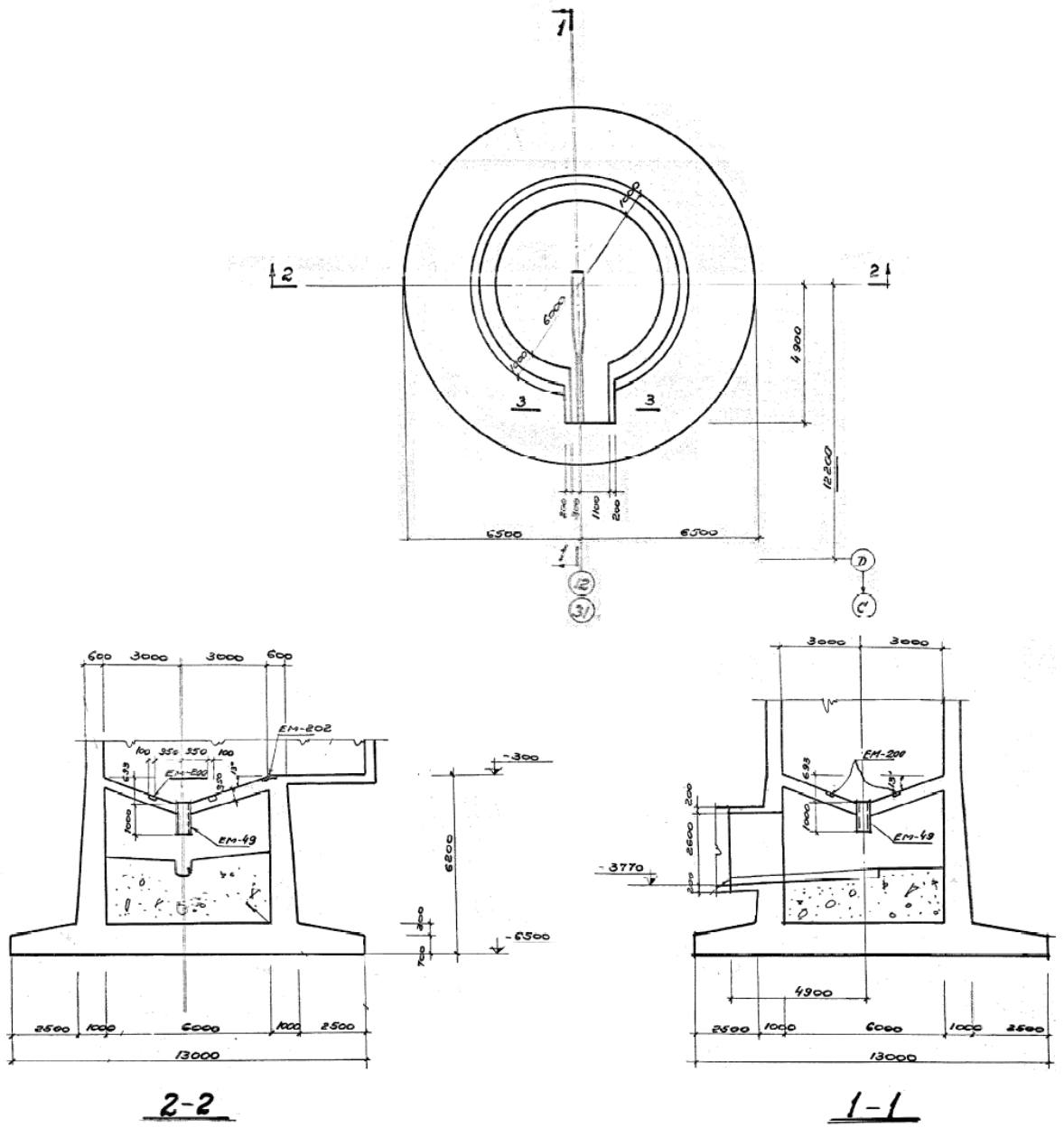
Rus Normu'na göre projelendirilen bacada B-225 (C-18) beton AI ve AII betonarme elik çubukları kullanılmıştır. Betonarme elik çubuğu akma değerleri aşağıda verilmiştir:

AI: 2400 kg/cm²

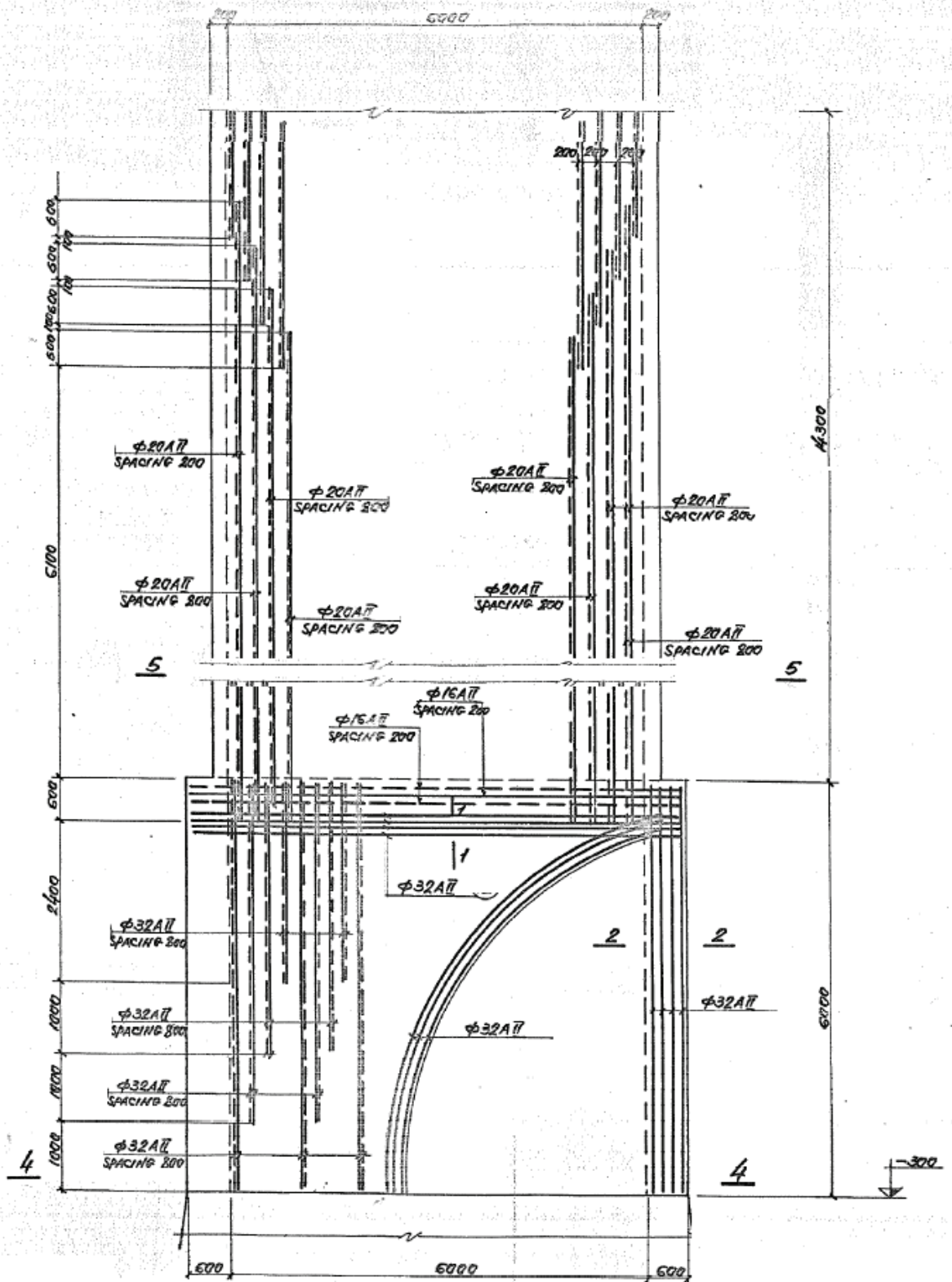
AII: 3000 kg/cm²

AIII: 4000 kg/cm²

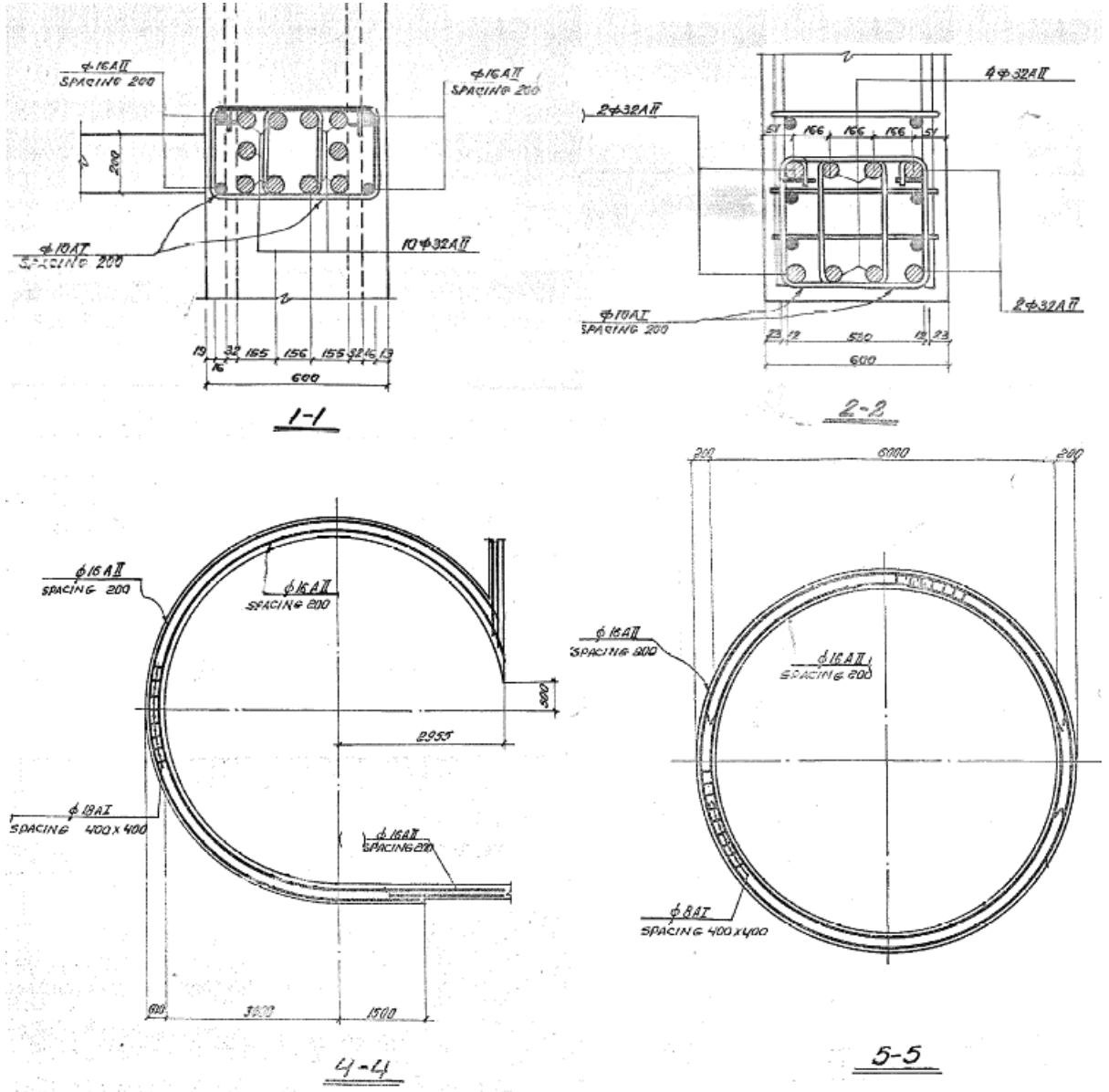
Bacanın st kotu, zemin kotu sıfır olarak kabul edildiğinde 5920 cm'dir. İlk 6m boyunca et kalınlığı 60 cm olan baca daha sonra 20 cm et kalınlığı ile en st kota kadar devam etmektedir. Kesit değişimi söz konusu olmayıp ilk 6 m ve sonrası kesitler aynı genişlikte devam etmektedir.



Şekil 4.7 Baca Temel Detayları

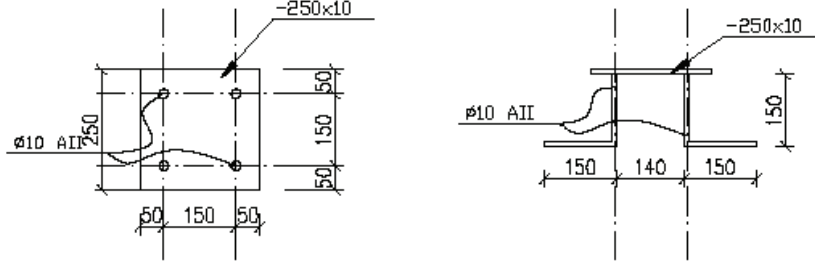


Şekil 4.8 Baca Betonarme Detayı



Şekil 4.9 Baca Betonarme Kesitleri

Bacada tırmanma merdiveni, 1970 cm ve 5670 cm kotlarında ise platformlar vardır. Merdivenler 25 cm x 25 cm gömülü elemanlarla bacalara monte edilmiştir. Platformlara denk gelen kısımlarda gerektiğinde baca ile ilgili ölçüm almak için pencere şeklinde boşluklar bırakılmıştır.



GÖMÜLÜ ELEMAN DETAYI

Şekil 4.10 Baca Gömülü Eleman Detayları

Baca çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir:

Aspirasyon Sistemleri'nden emilen tozlar değişik çaptaki çelik borular ile ilk etapta kolektörlere girmektedir. Burada iri olan tozlar kendi ağırlıkları ile toz bunkerlerine çökmektedir. 7 adet toz bunkerlerinde tutulamayan ince taneli tozlar siklon bataryalarına girmektedir. Burada ince taneli tozlar siklon etkisi ile bataryaların altındaki üçer adet toz bunkerlerine çökmektedir. Her toz bunkerinin altında ise kuru toz toplama ve vakum bunkerleri mevcuttur.

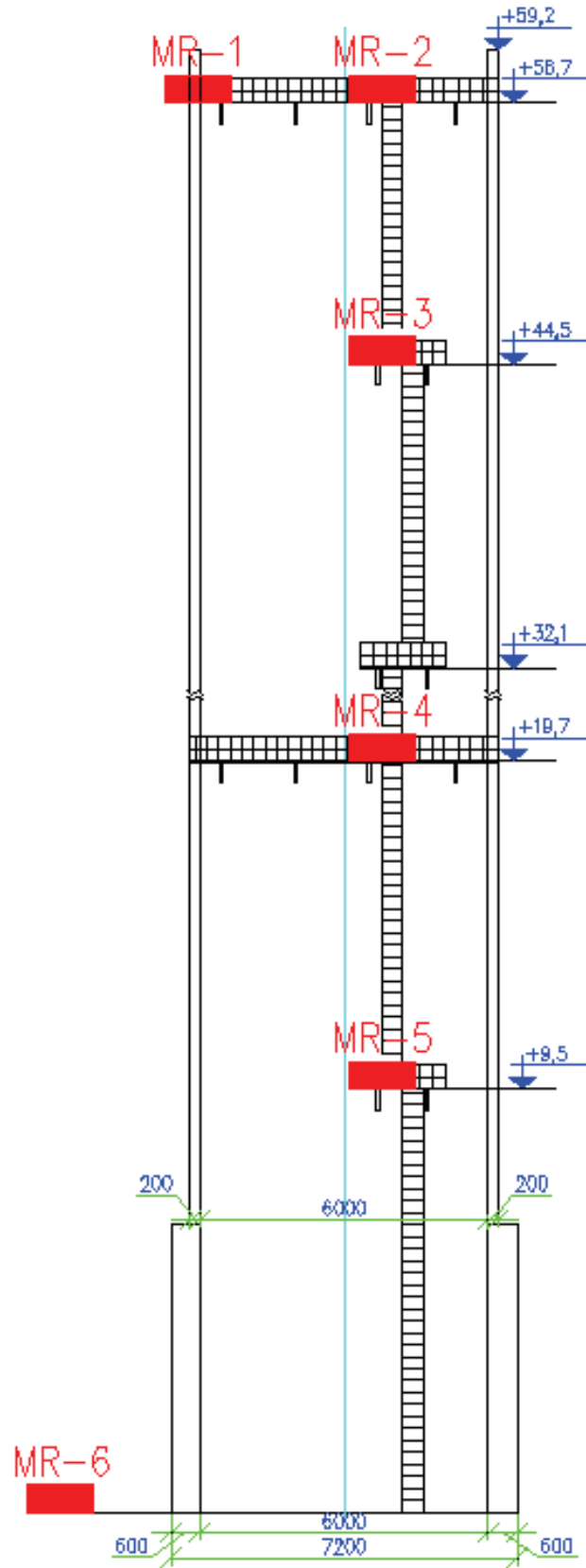
Siklon grubunda da tutulamayan çok ince taneli tozlar ise Aspirasyon Sistemi ile çelik borular vasıtası ve fan yardımı ile bacaya taşınır. Bacaya giren tozlar duşlama sistemi ile çökertilir. Bacada çökertilen tozlar baca altında bulunan kanallar vasıtası ile çamur havuzlarına gönderilmektedir. Çamur havuzlarında temizlenen sular tekrar sistemde kullanılmak üzere Aspirasyon Sistemi'ne verilir, çökelen tozlar ise çamur kanalları ile hammadde harmanında kullanılmak üzere kurutularak sisteme katılır.

4.6. Deneyde Aletlerinin Yerleştirilmesi

Yapıda altı adet hızölçer kullanılmıştır. Hızölçerler özel kutularında halatlar yardımı ile planlanan kotlarına çıkarılmış ve sırası ile bağlantıları yapılmıştır.

Hızölçerler rijit platform ve sahanlıklara şekilde görülen sıra ile bacaya en yakın olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Sensör-1 ve Sensör-2 en üstte 58,7m kotuna, Sensör-3 44,5m kotuna, Sensör-4 19,7m kotuna, Sensör-5 9,5m kotuna ve Sensör-6 zemin kotuna yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemleri sırasında giriş bağlantılarının sabit olmasına dikkat edilmiş ve ilk okumalarla birlikte düzeneğin çalışması ana üniteden takip edilmiştir.

Okuma süresinin bitmesinin ardından datalar kontrol edilerek düzeneğe, sensörleri, yerleştiren elemanlar tarafından aynı sırada sökülerek halatlar yardımı ile özel kutularına konularak zemin kotuna indirilmiştir.



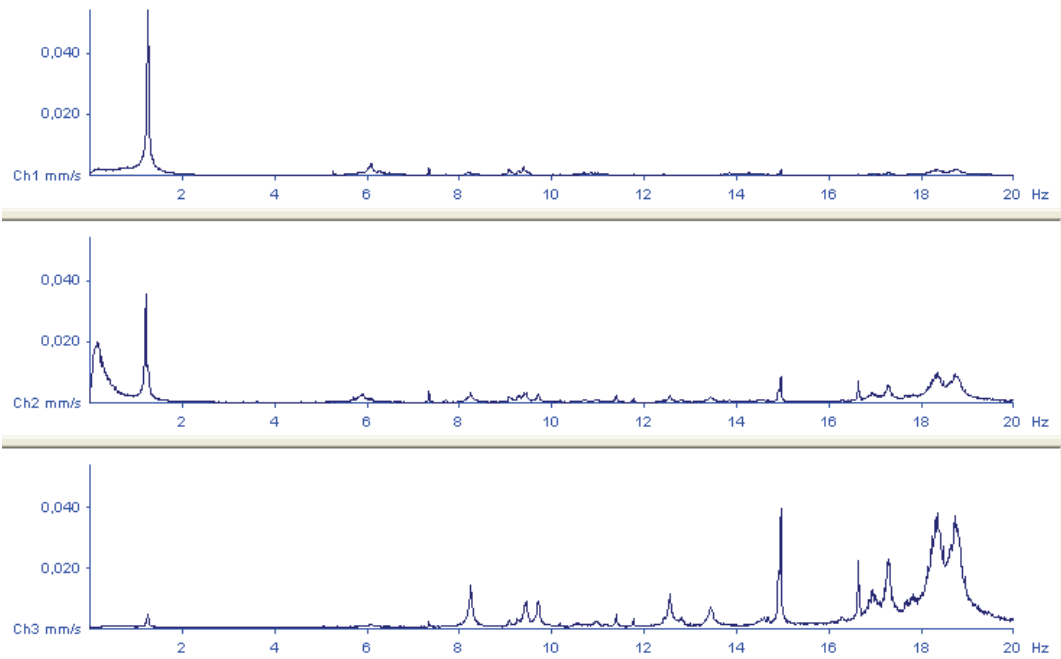
Şekil 4.11 Sensör Yerleşimleri



Şekil 4.12 Üst Kotlarda Sensör Yerleşimleri

4.7. Frekans – Tepki Eğrileri

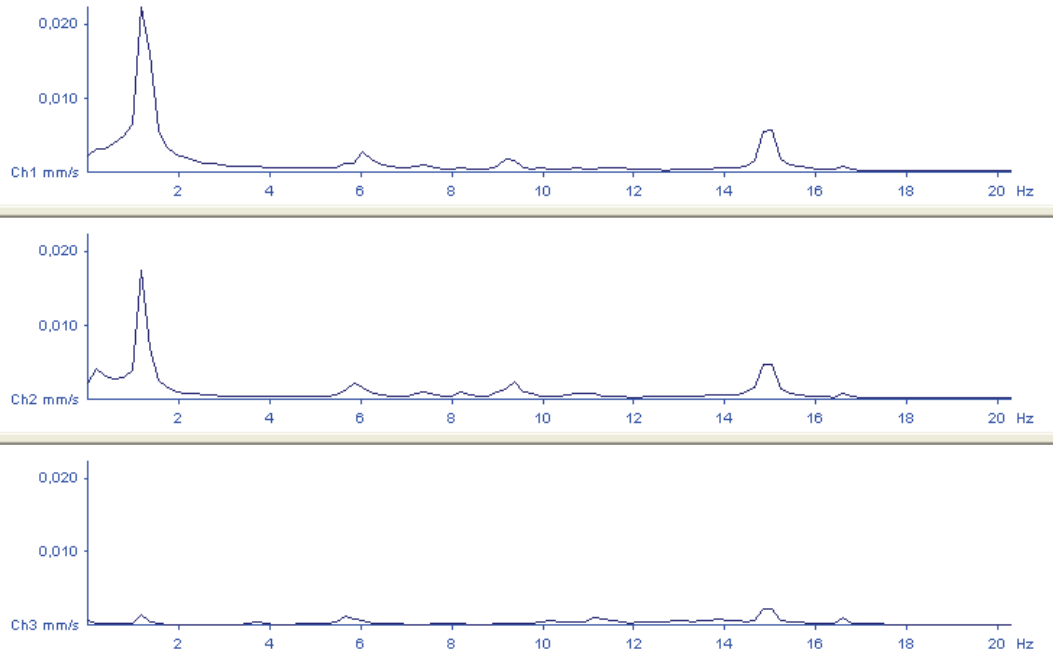
View 2002 Programı Yardımı ile elde edilen ilk üç sensör sonucu oluşan grafikler ve frekans değerleri aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 4.13 MR1 Sensörü Frekans Grafiği

MR1 Sensörü datalarının View 2002 programı ile analiz edilmesi sonucu elde edilen frekans değerleri:

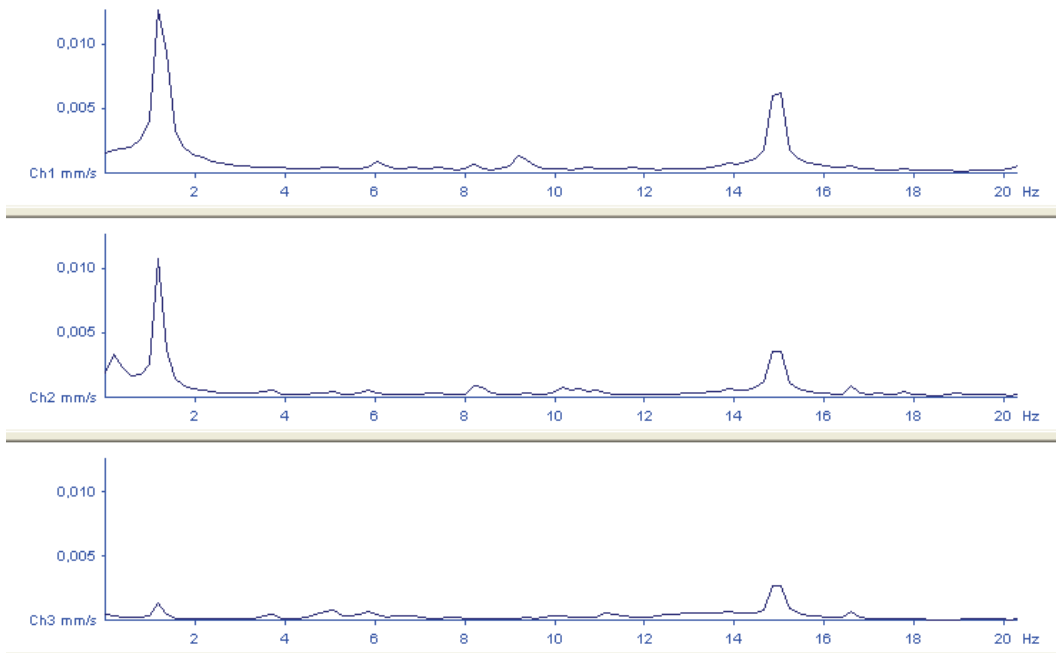
- 1- 1.257 Hz
- 2- 1,208 Hz
- 3- 14.970 Hz



Şekil 4.14 MR2 Sensörü Frekans Grafığı

MR2 Sensörü datalarının View 2002 programı ile analiz edilmesi sonucu elde edilen frekans değerleri:

- 1- 1.172 Hz
- 2- 1,172 Hz
- 3- 15,040 Hz

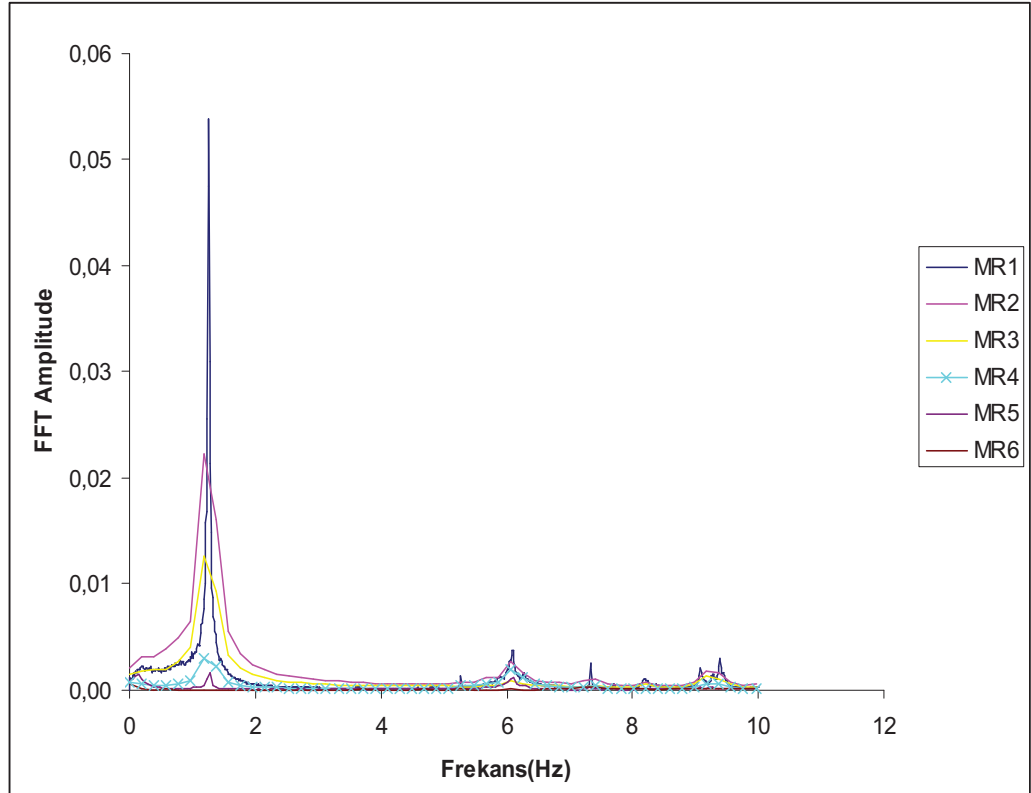


Şekil 4.15 MR3 Sensörü Frekans Grafığı

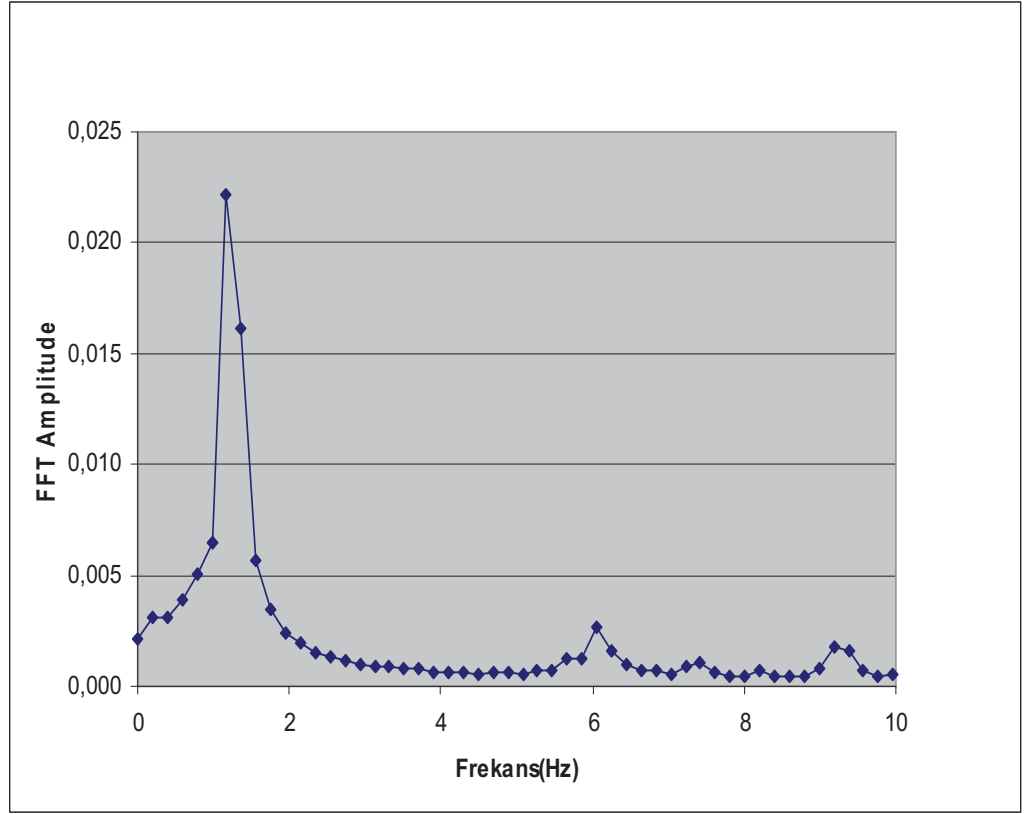
MR3 Sensörü datalarının View 2002 programı ile analiz edilmesi sonucu elde edilen frekans değerleri:

- 1- 1.172 Hz
- 2- 1,172 Hz
- 3- 14,840 Hz

Tireşimlerden elde edilen kayıtlar analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen Fourier transform değerleri kullanılarak Şekil 4.16'da verilen tepki eğrisi elde edilmiştir. Bu grafikte genliğin maksimum olduğu frekans yapının modal periyodunu göstermektedir.

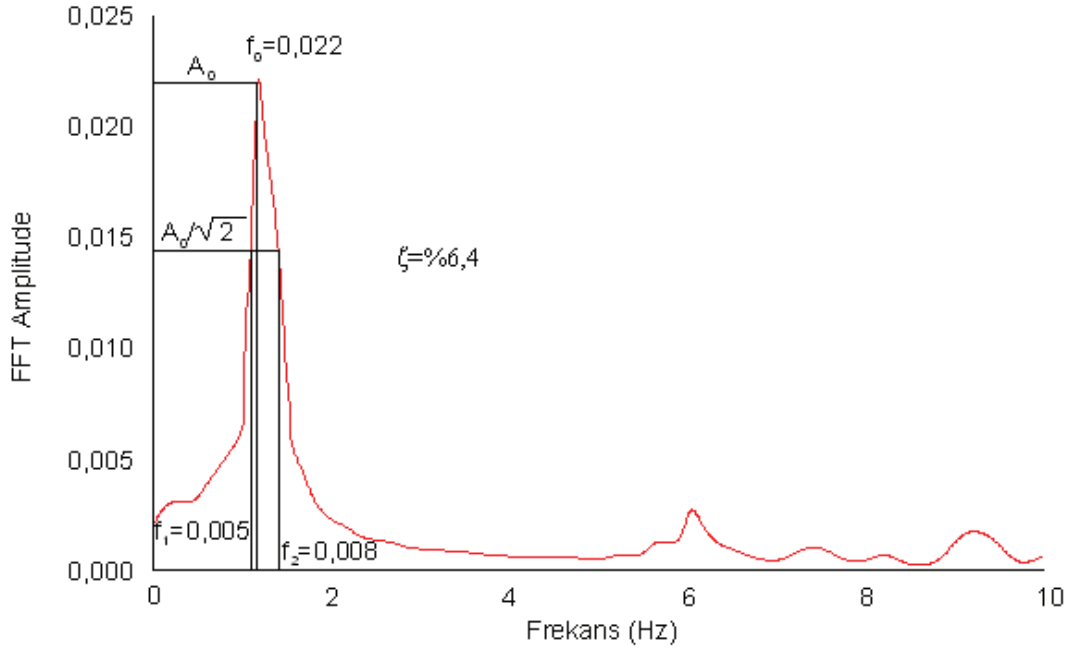


Şekil 4.16 Bütün Sensörler İçin FFT Amplitude – Frekans Grafığı



Şekil 4.17 En Üst Kot MR2 Sensörü İçin FFT Amplitude – Frekans Grafiği

Modal davranışı gösteren filtrelenmiş datanın Fourier spektrumu grafiği kullanılarak, denklem (4.1) yardımı ile yapının sönüm oranı 6,4 % olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.18 Sönüm Oranı

$$0,977 - 0,829 = 0,148$$

$$(0,00145 / 0,196) \times 0,148 = 0,00109489$$

$$f_1 = 0,00646 - 0,00109489 \approx 0,00537$$

$$1,563 - 1,515 = 0,048$$

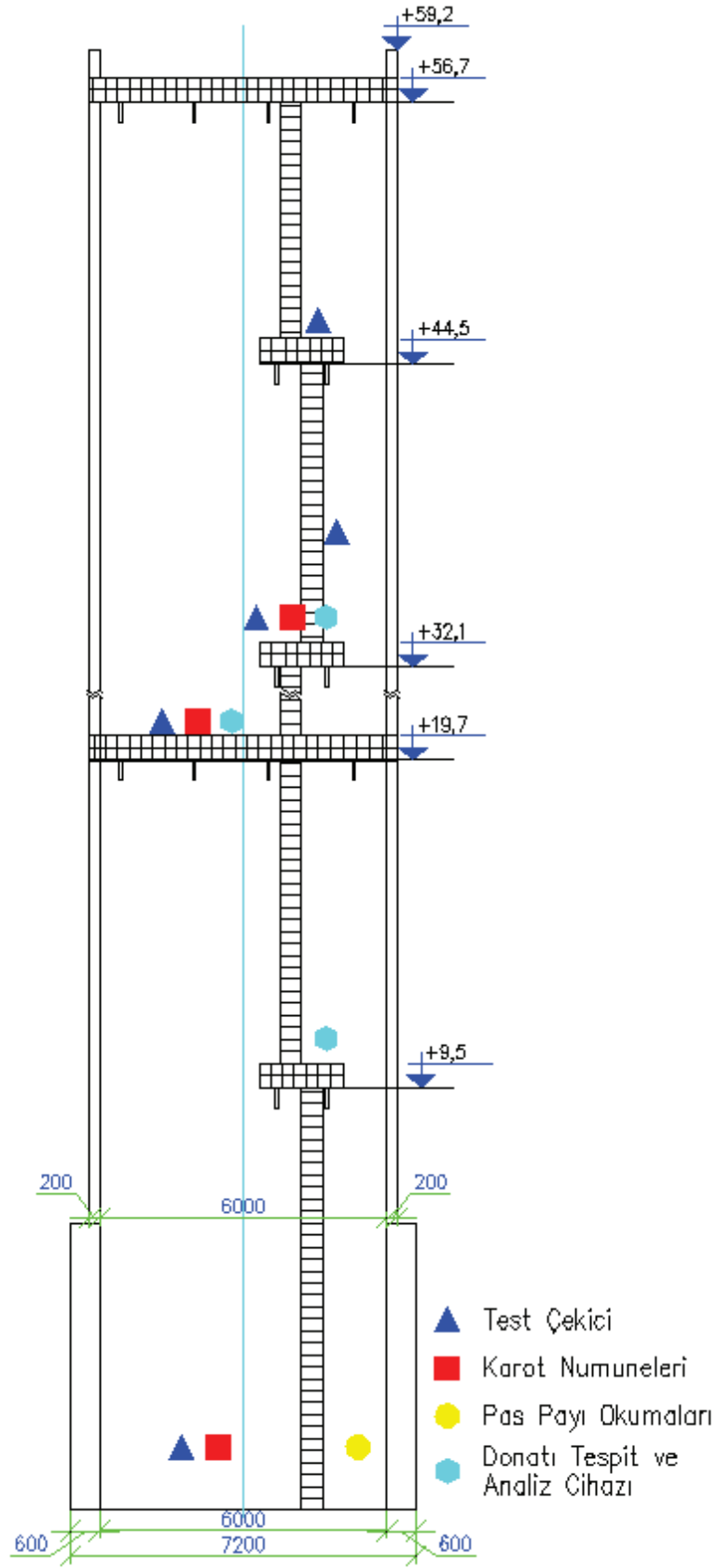
$$(0,01046 / 0,196) \times 0,048 = 0,0025616$$

$$f_2 = 0,00564 + 0,0025616 \approx 0,00820$$

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} = \frac{0,00820 - 0,00537}{2 \times 0,0222} = 0,064$$

4.8. Beton ve Donatı Örneklerinin Alınması

Bacanın mevcut durumunun tahlili için betonarme yapıda model teşkil edebilecek numunelerin alınmasına gerek duyulmuştur. Daha öncede belirtildiği gibi uzun yıllar aspirasyon sisteminin toz ve su etkilerine maruz kalan bacada kesit özelliklerinin gözle görülür şekilde bozulması alınacak numunelerin önemini arttırmıştır. Numunelerden elde edilen sonuçlarla yapılacak modelleme mevcut duruma daha yakın davranacaktır.



Şekil 4.19 Numune Alınan Noktalar

Numune alımı için gerekli aletler baca sahasına getirildikten sonra ilk önce karot alımı için çalışmalara başlanılmıştır. Öncelikle baca yüzeyinde gözle görülür bozulmaların olduğu alanlar tespit edilmiş ve betonun özelliğini en fazla kaybettiği alandan numune alınmaya çalışılmıştır. Belirlenen alanlara karot makinesi halatlara bağlanarak bir üst platformdan çekilmek suretiyle çıkarılmıştır. Donatı içeriği kızılötesi aletle okunarak belirlenmiş ve donatı olmayan kısımlar işaretlenmiştir. Karot aleti kurularak işaretlenen alanlarda 1,7m, 21,5m ve 32,0m kotlarından numune alınmıştır. Numune alınan noktalarda epoksi esaslı tamir harcı ile onarım yapılarak ilgili alanlar onarılmış ve numuneler laboratuvar ortamında test edilmek üzere araca yüklenmiştir.

Numune alım işleminden sonra kızılötesi aletlerle donatı çap, derinlik ve aralıklarını tespit edebilmek için okuma yapılmıştır. Baca yüzeyine donatı tespit ve analiz cihazı paralel konumda yaklaştırılmış ve ekrandan donatıların yerleşimi hakkında bilgi alınmıştır. Bu işlem 10m, 20m ve 30m kotlarında gemici merdiveninin denk geldiği kısımlarda yapılmıştır. Ekranda görünen yerleşim data olarak saklanmış ve grafik halinde sonuçlar okunmuştur.

Bu işlemler devam ederken baca üzerinde, özellikle pas payının en düşük olduğu noktalardan betonarme çelik çubuğu örnekleri almak için donatı açığa çıkarılana kadar baca yüzeyi temizlenmiş ve farklı noktalardan 3 adet örnek kesilerek alınmıştır. Temizlenen yüzeylerde pas payı de donatı aralığı okuması çıplak gözle yapılmıştır. Donatı kesme işlemi yapılırken dağıtma donatılarından çok ana donatı örnekleri alınmasına özen gösterilmiştir. Burada da donatı alımı için baca yüzeyinde tıraşlanan alanlar epoksi esaslı tamir harcı ile onarılmış ve örnekler çekme testine tabi tutulmak üzere araca taşınmıştır.

Karot numunelerin desteklemesi amacıyla beton çekici testi yapılmasına da gerek duyulmuştur. Bununla ilgili aletle 1,7m, 21,5m, 32,0m, 38,0m ve 45,0m kotlarında çalışılmış ve alınan sonuçlar tablo şeklinde listelenmiştir.



Şekil 4.20 Numune Alımları



Şekil 4.21 Baca Pas Payı Ölçümleri

4.9. Alınan Numunelerden Elde Edilen Veriler

Alınan numuneler gerekli testlerin yapılması için laboratuara götürüldükten sonra üzerlerinde hazırlık işlemleri yapılarak hazır hale getirilmiştir.

Karot numuneleri başlık yapma işleminden sonra isimlendirilmiş ve basınç testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar tablo halinde listelenmiştir. Burada en ve boy oranları eşdeğer olması nedeniyle basınç mukavemeti standart küp basınç mukavemeti olarak kabul edilmiş ve hesaplamalarda standart silindir basınç mukavemeti değerlerine dönüştürülerek kullanılmıştır.

Kesilerek alınan betonarme çubuklar üzerinde öncelikle kesit kaybı için okumalar yapılmış ve daha sonra çekme testine maruz bırakılmıştır. Test sonucu elde edilen akma ve çekme dayanımları, ayrıca Rus Normu'na göre AII Donatı akma dayanımları tablo halinde verilmiştir.

3 ADET NERVÜRLÜ ÇELİK ÇUBUK							AII ÇELİK ÇUBUK DEĞERİ
SIRA	ÇAP (mm)	KÜTLE (kg/m)	AKMA DAYANIMI Re (N/mm ²)	ÇEKME DAYANIMI Rm (N/mm ²)	ÇEKME/ AKMA Rm/Re	KOPMA UZAMASI (%)	AKMA DAYANIMI (N/mm ²)
1	15,9	1,563	168	191	1,14	5	300
2	15,9	1,563	176	403	2,29	10	300
3	13,4	1,107	245	360	1,47	12	300

Çizelge 4.4 Betonarme Çelik Çubuğu Deney Sonuçları

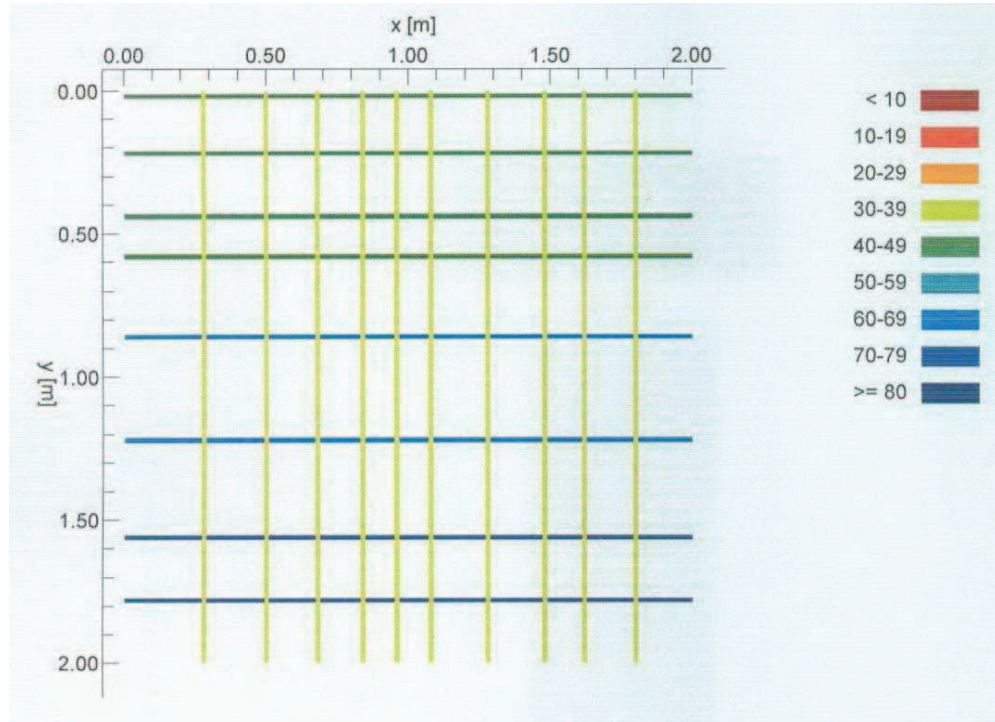
KAROT NUMUNE BASINÇ MUKAVEMETİ SONUÇLARI						
SIRA	KOT	YÜKSEKLİK	ÇAP	AĞIRLIK	BASINÇ YÜKÜ	BASINÇ MUKAVEMETİ
	m	h:mm	d:mm	gr	N	MPa
1	1,7	75	75	762	38370	8,7
2	21,5	75	75	700	118790	26,9
3	32	75	75	658	30070	6,8
Ortalama Basınç Değerleri					62410	14,1

Çizelge 4.5 Karot Numuneleri Sonuçları

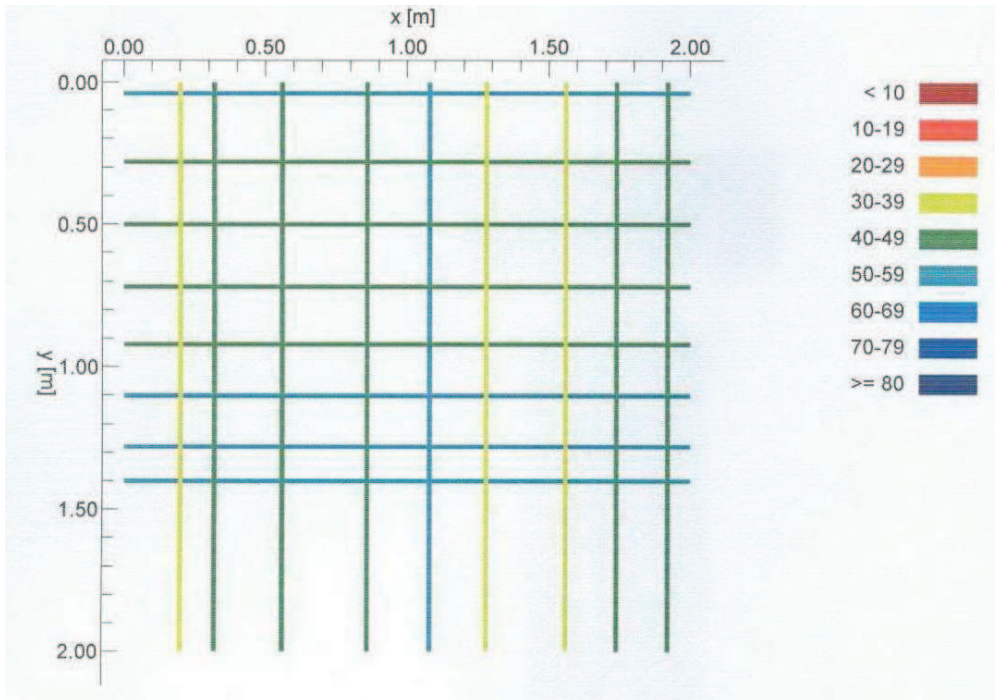
BETON TEST ÇEKİCİ DENEY SONUÇLARI				
SIRA	KOT	DERECE	ORTALAMA	ORTALAMA DAYANIM
	m	()°	(R)	(N/mm ²)
1	1,7	0	21,6	13,0
2	21,5	0	33,8	20,3
3	32,0	0	20,8	12,5
4	38,0	0	23,0	13,8
5	45,0	0	20,6	12,4

Çizelge 4.6 Beton Test Çekici Sonuçları

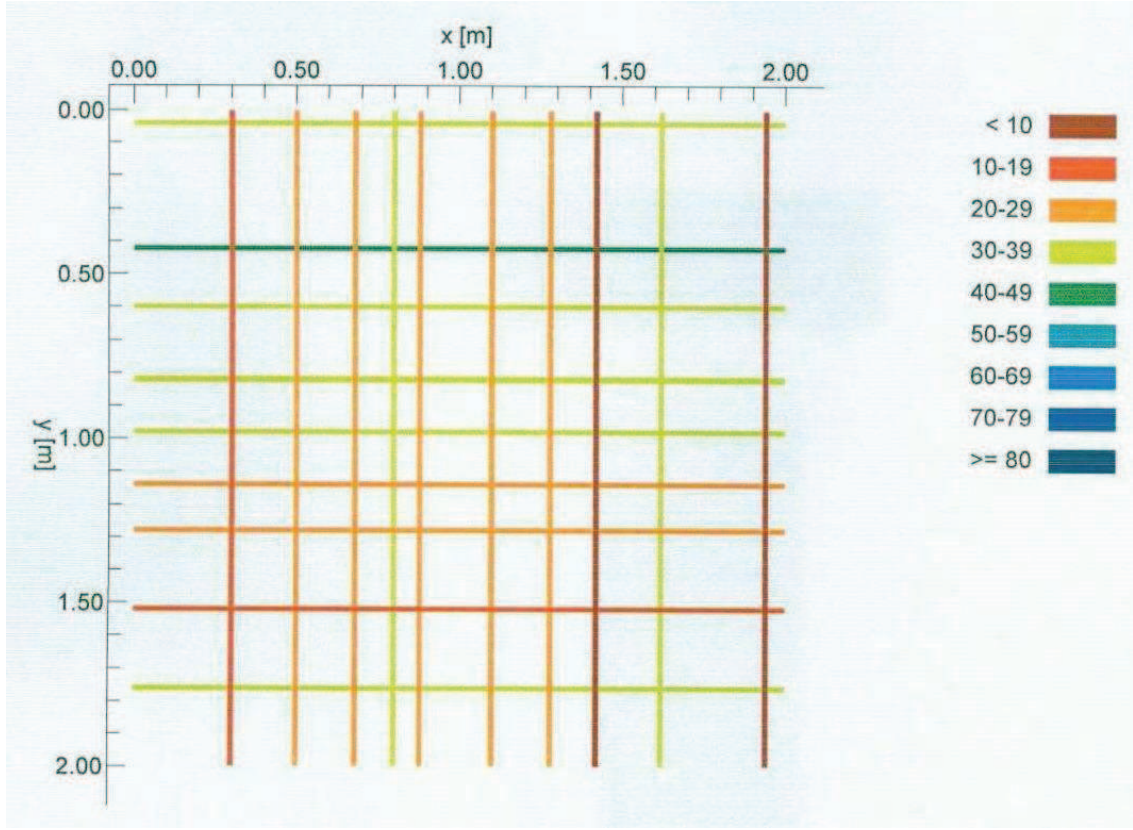
Baca içerisindeki betonarme çelik çubukların yerleşimlerinin ve sıklıklarının incelenmesi için donatı tespit ve analiz cihazı ile yapılan çalışmaların sonuçları 10m, 20m, 30m kotları için aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 4.22 10m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi



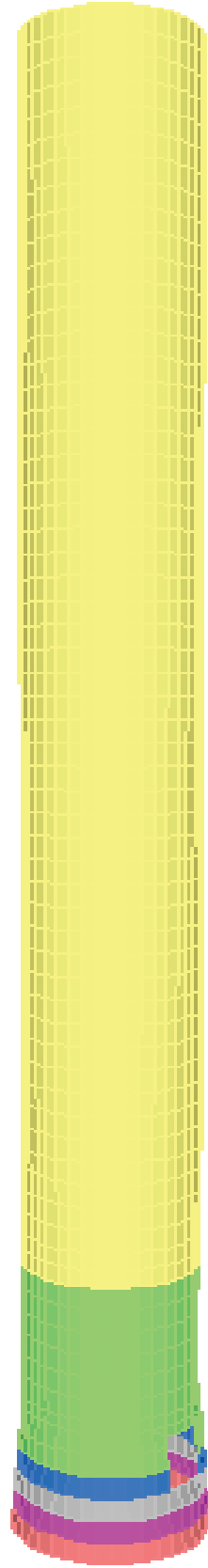
Şekil 4.23 20m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi



Şekil 4.24 30m Kotunda Betonarme Çelik Çubuk Yerleşimi

4.10. Bacanın Yapı Analiz Programları İle İncelenmesi

Deneysel verilerin karşılaştırılabilmesi açısından bacanın, sonlu elemanlar yöntemini temel alan yapısal analiz programı SAP200 Nonlinear ile modellenmesi yapılmıştır. Modelleme çalışmalarında elde edilen değerler karşılaştırılmış, daha sonra eleman ağı, elastisite değerleri değiştirilerek model sonuçları irdelenmiştir.



Şekil 4.25 Bacanın SAP 2000 Modeli

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

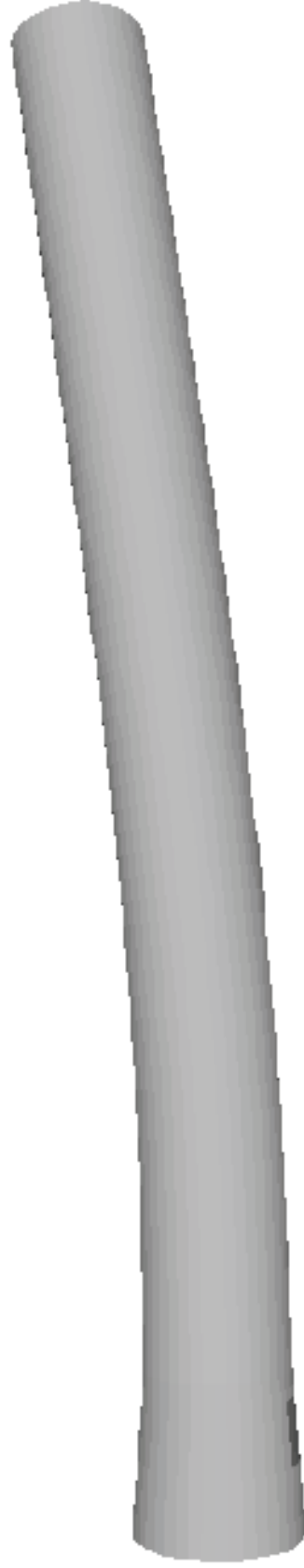
Çizelge 4.7 Beton Sınıflarına Karşılık Gelen Elastisite Modülleri

Normal ağırlıktaki betonlar için “j” günlük betonun elastisite modülü,

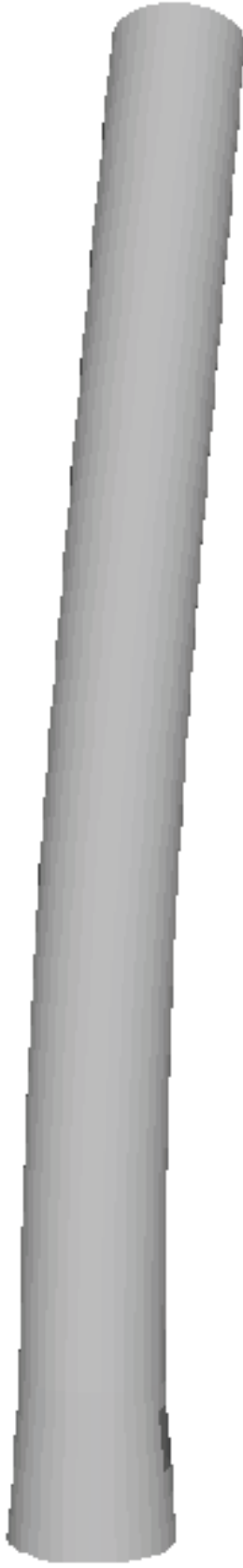
$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (4.2)$$

denklemini kullanılarak hesap edilebilir.

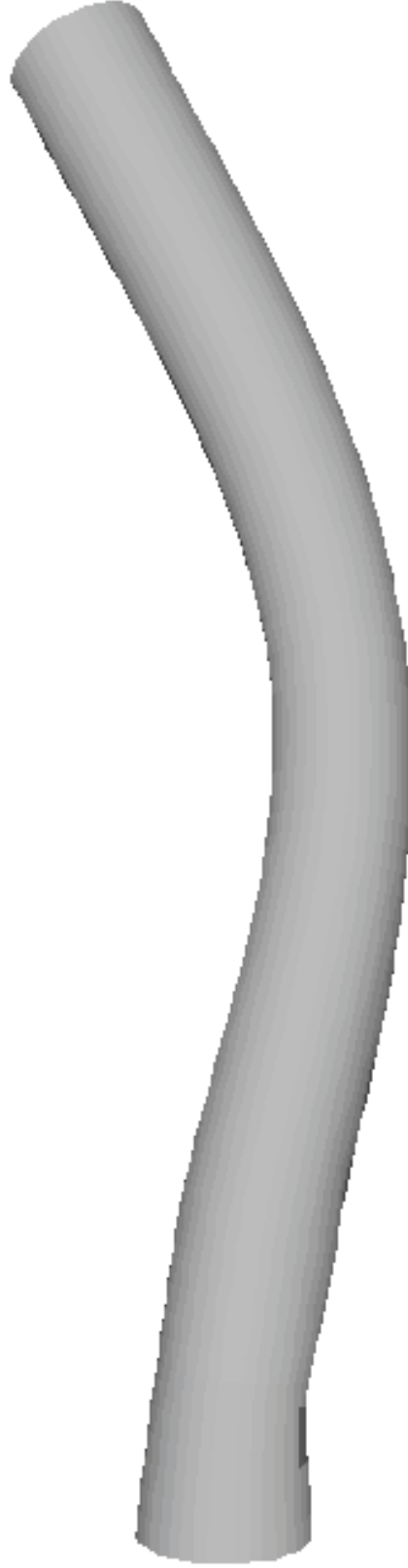
İlk olarak yapılan modellemede elastisite modülü C 18’ e karşılık gelen 27.500 MPa olarak alınmıştır. Mesh sonucu elde edilen 2650 elemanla yapılan analiz sonrası oluşan mod şekilleri aşağıda sıralanmıştır.



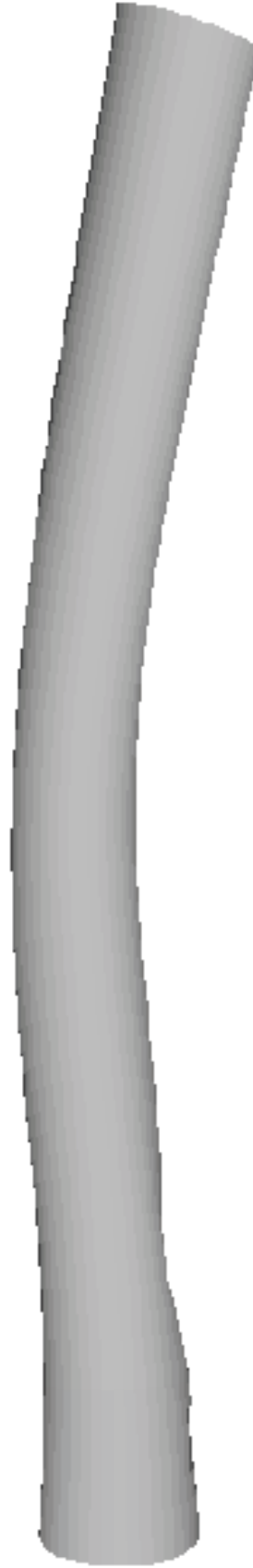
Şekil 4.26 Bacanın 1. Mod Şekli



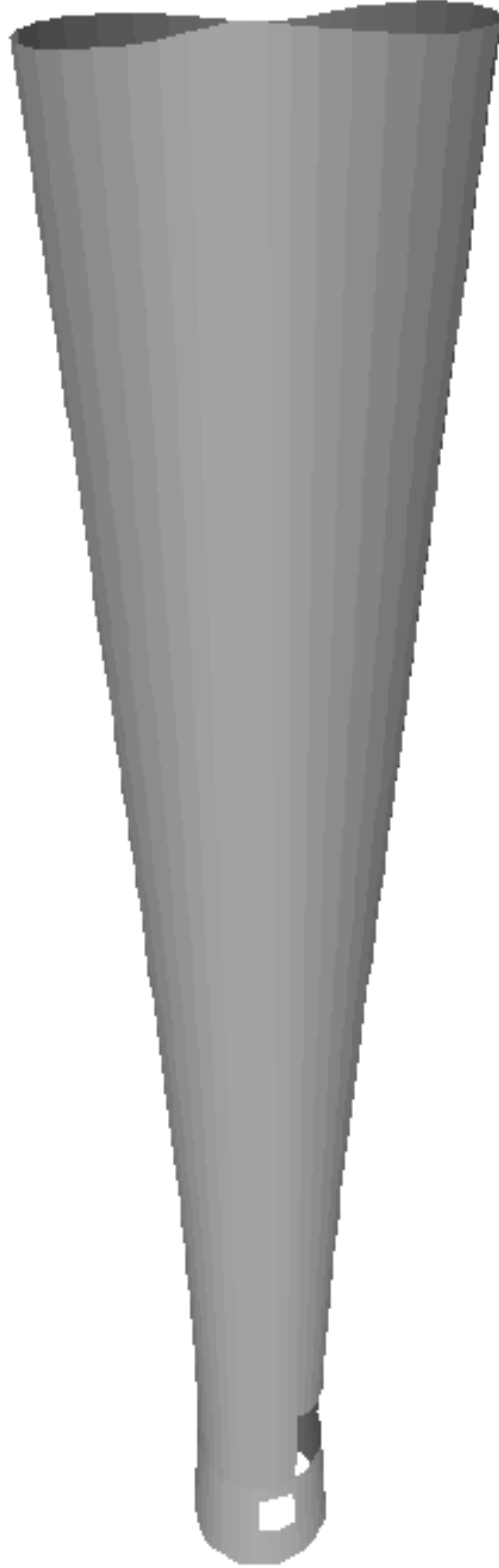
Şekil 4.27 Bacanın 2. Mod Şekli



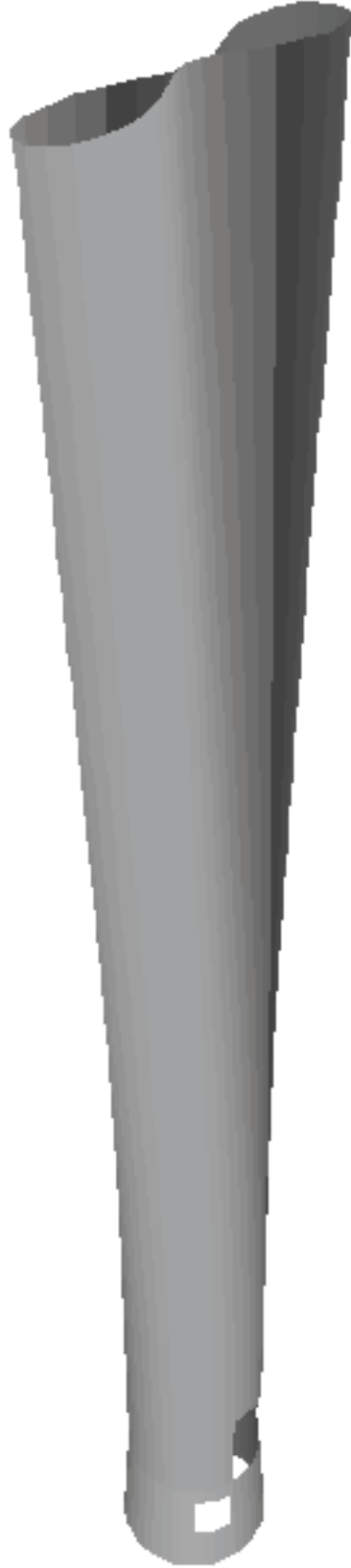
Şekil 4.28 Bacanın 3. Mod Şekli



Şekil 4.29 Bacanın 4. Mod Şekli



Şekil 4.30 Bacanın 5. Mod Şekli



Şekil 4.31 Bacanın 6. Mod Şekli

İlk modellemede bulunan mod değerleri sonrası model girdileri değiştirilerek deney sonucu ile karşılaştırılmış, en yakın sonuç için elastisite modülü değiştirilerek sonuçlar analiz edilmiştir.

Elastisite modülü 27.500 MPa olarak alındığında ve değişik eleman sayıları ile yapılan analiz sonucu elde edilen mod değerleri aşağıda sıralanmıştır:

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,1077	0,9027
2	1,1917	0,8391
3	6,1569	0,1624
4	6,3312	0,1579
5	8,7202	0,1147
7	8,8413	0,1131
8	9,1852	0,1089
9	9,1999	0,1087
10	11,2302	0,0890
12	14,0681	0,0711

Çizelge 4.8 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 2650 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,1002	0,9089
2	1,1869	0,8425
3	6,1237	0,1633
4	6,2967	0,1588
5	8,7176	0,1147
6	8,7227	0,1146
7	8,7797	0,1139
8	9,1901	0,1088
9	9,2038	0,1087
10	11,2409	0,0889
11	11,2731	0,0887
12	14,0231	0,0713

Çizelge 4.9 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 5300 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,1038	0,9059
2	1,1895	0,8407
3	6,1329	0,1631
4	6,3034	0,1586
5	8,7071	0,1148
6	8,7149	0,1147
7	8,7511	0,1143
8	9,1827	0,1089
9	9,1959	0,1087
10	11,2312	0,0890
11	11,2647	0,0888
12	14,0419	0,0712

Çizelge 4.10 27.500 MPa Elastisite Modülü ve 10600 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

Alınan karot örneklerine göre mevcut baca ortalama dayanımına karşılık elastisite modülü formül (4.2)'den 25.000 MPa olarak hesap edilmiştir. Bulunan

elastisite modülü ve farklı eleman sayıları ile yapılan analiz sonucu elde edilen mod değerleri aşağıda sıralanmıştır:

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,0562	0,9468
2	1,1363	0,8800
3	5,8704	0,1703
4	6,0366	0,1657
5	8,3144	0,1203
6	8,3164	0,1204
7	8,4298	0,1186
8	8,7577	0,1142
9	8,7718	0,1140
10	10,7075	0,0934
11	10,7407	0,0931
12	13,4134	0,0746

Çizelge 4.11 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 2650 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,0646	0,9394
2	1,1481	0,8709
3	5,9026	0,1694
4	6,0793	0,1645
5	6,2507	0,1599
6	6,2509	0,1599
7	6,7559	0,1480
8	6,7615	0,1479
9	8,3383	0,1199
10	9,0126	0,1109
11	9,0514	0,1105
12	13,1611	0,0759

Çizelge 4.12 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 5300 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

Bulunan Mod	Frekans	Periyot
1	1,0524	0,9502
2	1,1342	0,8817
3	5,8475	0,1710
4	6,0100	0,1664
5	8,3018	0,1205
6	8,3093	0,1203
7	8,3439	0,1198
8	8,7554	0,1142
9	8,7679	0,1141
10	10,7086	0,0934
11	10,7405	0,0931
12	13,3875	0,0747

Çizelge 4.13 25.000 MPa Elastisite Modülü ve 10600 Eleman İle Elde Edilen Periyot Değerleri

1.mod değerleri için farklı elastisite ve eleman sayıları ile elde edilen değerler bir araya getirilip aşağıda tablo halinde sunulmuştur:

Elastisite Modülü	Eleman Sayısı	Frekans	Periyot
27.500	2650	1,1077	0,9027
27.500	5300	1,1002	0,9089
27.500	10600	1,1038	0,9059
25.000	2650	1,0562	0,9468
25.000	5300	1,0646	0,9394
25.000	10600	1,0524	0,9502

Çizelge 4.14 SAP 2000 Program Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapılan modelleme çalışmalarından sonra matlab kodu sistem tanımlama (system identification) algoritması kullanılarak deney sonucu elde edilen titreşim kaydı analizi yapılmıştır (Alıcıoğlu, 2008). Bu amaçla yazılan matlab kodu kullanılarak bacanın periyodu ve sönüm oranı hesaplanabilmektedir.

Yapılan çalışmada tüm sensörlerin 5. kayıtları alınmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1.mod değeri: 1,19 Hz

2.mod değeri: 1,25 Hz

Sönüm Oranı: 0,053

Daha sonra Baca problemi doğru eksenli çubuk ile modellenerek serbest titreşim analizi yapılmıştır. Doğru eksenli çubukları idare eden denklemler Timoshenko çubuk teorisi kullanarak elde edilmektedir. Problemin, hem serbest hem de zorlanmış titreşim analizi için dinamik rijitlik matrisi ve yük vektörleri tamamlayıcı fonksiyonlar yöntemi ile elde edilmektedir. Doğru eksenli çubukların serbest titreşim analizlerini yapabilmek amacı ile Fortran dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program yardımı ile baca probleminin serbest titreşim analizi yapılmıştır (Çalım, 2003).

1.mod değeri: 1,157 Hz

2.mod değeri: 1,157 Hz

Datalar daha öncede belirtildiği gibi View 2002, Matlab, SAP2000 ve Çubuk Model ile incelenmiş ve programlar yardımı ile elde edilen veriler aşağıda tablo halinde sunulmuştur:

Elastisite Modülü	1.Mod Frekans Değeri (Hz)	2.Mod Frekans Değeri (Hz)	Sönüm Oranı (%)
View 2002	1,17	1,17	0,064
Matlab	1,19	1,25	0,053
SAP 2000	1,11	1,19	
Çubuk Model	1,16	1,16	

Çizelge 4.15 View 2002, Matlab, SAP2000 ve Çubuk Model Sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu çalışma kapsamında Hatay İli İskenderun İlçesi sınırlarında bulunan İSDEMİR A.Ş. Yüksek Fırın Aspirasyon Sistemi Bacası ele alınmış ve yapı üzerine yerleştirilen sensörlerle mevcut titreşim analizleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bacanın doğal periyotları ve modlarına ait mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar SAP 2000, MATLAB ve çubuk model sonuçları ile birlikte verilmiştir.

Daha öncede bahsedildiği gibi bacanın kullanım ömrünün çok uzun olması ve betonarme yapısındaki deformasyonlar nedeni ile deney sonuçları ile bilgisayar modeli mod değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Alınan karot örneklerinden hareketle elde edilen elastisite modülü kullanıldığında yapılan modelleme ile bulunan değerler deney sonuçlarına çok yakın çıkmıştır. Beton evsafındaki kayıp göz ardı edildiğinde model deney sonuçlarıyla paralel olarak yorumlanabilmektedir. Bu da yapının modellemesinde elastisite modülü kabulünün önemini ortaya koymuştur.

Baca tipi, planı düzenli yapılar için çubuk kabülü ile yapılan çözümler sonucu bulunan periyot değerleri, sonlu elemanlar yöntemi kullanan yapı analiz programları ve mevcut titreşimlerin analizleri ile elde edilen periyot değerlerine oldukça yakın bulunmuştur. Bu da bu tür yapıların dinamik davranışları için çubuk kabulünün geçerli bir yaklaşım olacağını göstermektedir.

Değişik elastisite modül değerleri için elde edilen sonuçlar sırası ile gösterilmiştir. Burada yapının modellemesinde eleman sayısının etkisi de ortaya konulmuştur. Eleman sayısı artırılarak aynı elastisite modül değerlerinin vermiş olduğu sonuçlardaki farklılıklarda göz önüne serilmiştir. Bu da göstermektedir ki eleman sayısındaki artış model sonucuna düşük bir oranda etki etmektedir.

Daha önce deney sonuçları ve iki nolu sensörle yapılan hesaplamalarda sönüm oranı: 0,064 olarak bulunmuştu. Matlab kodlamalarına göre ise 0,053 olarak belirlendi. Deney sonuçları silindirik bir yapı algısından yola çıkarken Matlab kodlarının çok kenarlı bir yapı olarak tanımlanması bu sonucu doğurmuştur.

Yapılan bu çalışma mevcut titreşim kayıtları ile yapı frekans ve sönüm oranlarının kolaylıkla bulunabildiğini göstermiştir. Özellikle baca ve köprü gibi

yapılarda zorlanmış titreşim testinin uygulamasının zor ve hatta bazı durumlarda imkansız olduğu düşünüldüğünde mevcut titreşim analizlerinin gereklilikleri ortaya çıkmaktadır.

5.2. Öneriler

- Yapı – zemin etkileşiminin bakanın bütün davranışlarında etkisi olduğu bir gerçektir. Bu nedenle daha sonra yapılacak testlerde zemine de sensörler yerleştirilmeli ve alınan kayıtlar doğrultusunda modelleme yapılmalıdır.
- Modelleme çalışmalarında genellikle yapısal kusurlar nedeniyle model ve mevcut yapı arası farklılıklardan bahsedilmektedir. Ancak burada da olduğu gibi mevcut betonarme karakteristiğinin modele tam anlamıyla yansıtılabilmesi için karot çalışması yapılmalı, donatı içeriği ve çekme mukavemeti de analiz edilmelidir. Aksi takdirde mevcut durum modellemesinde de kabuller teorik olacaktır.
- Modelleme çalışmalarında elastisite modülü elde edilirken betona karşılık gelen değerler ele alınmıştır. Oysaki betonarme yapının çelik çubuklarla birlikte davranışının incelenmesi ve elde edilen değerlerin kullanılması ile mevcut duruma daha yakın sonuçlar elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Alıncıoğlu B., "Ambient Vibration Signature Analysis With Subspace Methods: Case Studies" B.S., in C.E., Middle East Technical University, 2004.
- Alıncıoğlu B., Luş H., Asce A.M. "Ambient Vibration Signature Analysis With Subspace Methods and Automated Mode Selection: Case Studies" **Journal Of Structural Engineering Asce**, (June 2008), 1029.
- Atalay, B., Çelebi, M., Erdik, M., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., and Yüzüğüllü, Ö., "Forced Vibration Experiments of Structures," **METU/EERC Final Report**, 1981, Ankara.
- Atanç V.İ., "Mevcut Yapıların Dinamik Karakteristik Özelliklerinin Titreşim DeneYleri İle Bulunması" M.S. Mustafa Kemal Üniversitesi, 2009.
- Bradford, S. C., Clinton, J.F., Favela, J., and Heaton, T. H., "Results of Millikan Library Forced Vibration Testing," **Report No. EERL 2004-03**, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, 2004, Pasadena, California.
- Campbell, S., Kwok, K.C.S., Hitchcock, P.A., "Dynamic characteristics and windinduced response of two high-rise residential buildings during typhoons," **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** 93 (2005) 461–482.
- Cao, H., Ellis, B.R., Littler, J.D., "The use of the maximum entropy method for the spectral analysis of wind-induced data recorded on buildings," **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** 72 (1977) 81-93.
- Chopra, A. K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, **Prentice Hall, Inc.**, 1995, Upper Saddle River, NJ.
- Çalım, F. F., B. Temel ve T. Baran, "Değişken Kesitli, Viskoelastik Doğru Eksenli Düzlemsel Çubukların Dinamik Dış Yük ve Yer Hareketi Altında Davranışı", **ÇÜ Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi**, 18 (2), (2003) 101-114.
- Çelebi, M., Erdik, M., Yüzüğüllü, Ö., and Gülkan, P., Gürpınar, A., YüCemen, S., Bayülke, N., "Vibration of a Ten Story Reinforced Concrete Structure," **METU/EERC Report No. 77-1**, 1977, Ankara.

- Çelik, C. O., “ Forced Vibration Testing Of Existing Reinforced Concrete Buildings,” **A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of The Middle East Technical University**, June 2002.
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Novikova, E.I., Gladkov, A.A., Todorovska, M.I., “Ambient vibration tests of a seven-story reinforced concrete building in Van Nuys, California, damaged by the 1994 Northridge earthquake,” **Soil Dynamics and Earthquake Engineering** 19 (2000) 391-411, Accepted 11 May 2000.
- Ivanovic, S.S., Trifunac, M.D., Todorovska, “Ambient Vibration Tests Of Structures” **ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 407, Vol. 37 , No:4** December pp. 165-197, 2000.
- Jennings, P. C., Matthiesen, R. B., and Hoerner, J. B., “Force Vibration of a 22-Story Steel Frame Building,” **Report No. EERL 71-01**, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory, 1971, Pasadena, California.
- Kohler, M.D., Davis, M.P., and Şafak, E., “Earthquake and Ambient Vibration Monitoring of the Steel-Frame UCLA Factor Building,” **Earthquake Spectra, olume 21, No. 3**, pages 715–736, August, 2005.
- Li, Q.S., Wu, J.R., Liang, S.G., Xiao, Y.Q., and Wong, C.K., “Full-scale measurements and numerical evaluation of wind-induced vibration of a 63-story reinforcedconcrete tall building,” **Engineering Structures** 26 (2004) 1779–1794.
- Nuhoğlu A., Şahin S., “Sanayi Bacalarının Ve Minarelerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi” **Deprem Sempozyumu**, 2005, Kocaeli.
- Öz E. “**Betonarme Bacaların Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yapısal Çözümleme Yöntemleri**” M.S. Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2007
- Pallare’s F. J., Agu’ero A., Martí’n M., “Seismic behaviour of industrial masonry chimneys” **Camino de Vera, s/n, CP 46022**, Spain Received 14 December 2004; received in revised form 4 June 2005 Available online 20 July 2005, Valencia.

- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., "Dynamic Properties of McKinley School Buildings," **Report No. EERC 68-4**, University of California, 1968, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., "Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building," **Report No. EERC 73-17**, University of California, 1973, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., "Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building," **Report No. EERC 78-13**, University of California, 1978, Berkeley, California.
- Şafak, E., and Çelebi, M., "Method To Estimate Center Of Rigidity Using Vibration Recordings," **Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1**, 1990, Paper No. 24221.
- Wilson J. L., "**Earthquake response of tall reinforced concrete chimneys**" The University of Melbourne, Received 4 September 2001; received in revised form 7 June 2002; accepted 26 June 2002, Melbourne, Australia.
- ACI 307, Design and Construction of Cast-In-Place Reinforced Concrete Chimneys, **American Concrete Institute**, 1998, Michigan.
- TS 500, **Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları**, Şubat 2000.
- TS 10465, **Beton Deney Metotları - Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot)**, Kasım 1992.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, yardım, katkı ve hoőgörüőüyle bana destek olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi destekleri ile beni hiç yalnız bırakmayan annem Güner GÜRSOY'a ve babam Adnan GÜRSOY'a; çalıőmalarımda ve hayatımın her aşamasında yanımda olan, varlığıyla beni daima mutlu eden eőim Eda GÜRSOY'a ve hayatımıza yeni katılan kızım Ada GÜRSOY'a en içten sevgi ve teőekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul'da doğdum. İlköğrenimimi, babamın görevi nedeni ile Erzurum İli'nde başlayıp Konya'da devam ettirdim ve Hatay'ın İskenderun İlçesi'nde tamamladım. Lise öğrenimimi İskenderun Süper Lise'sinde (Yabancı Dil Ağırlıklı Lise) tamamladıktan sonra 2001 yılında girdiğim Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun oldum. 2007 Yılı'nda askerlik görevimi Kars Sarıkamış'ta Tank Teğmen olarak tamamladıktan sonra yine aynı yıl İSDEMİR A.Ş. Proje Müdürlüğü'nde göreve başladım. Halen İSDEMİR A.Ş. Proje Müdürlüğü İnşaat Proje Mühendisliği görevini yürütmekteyim.