

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Gökhan GÜRSOY

**KULE TİPİ YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK VE
DENEYSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2016

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KULE TİPİ YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK VE
DENEYSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

Gökhan GÜRSOY

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2016 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
ÜYE

.....
Prof. Dr. S. Seren GÜVEN
ÜYE

.....
Doç. Dr. İbrahim Ö. DENEME
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**KULE TİPİ YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK VE
DENEYSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

Gökhan GÜRSOY

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
Yıl: 2016, Sayfa: 118
Jüri : Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
: Prof. Dr. S. Seren GÜVEN
: Doç. Dr. İbrahim Ö. DENEME
: Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN

Bu çalışmada Hatay ili İskenderun ilçesinde yer alan, Türkiye'nin en eski demir çelik fabrikalarından İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) fabrika sahasında bulunan; Yüksek Fırın Soba Bacası, Haddehane Bacaları, Su Kulesi ve Yakma Bacası gibi kule tipi yapıların dinamik davranışları incelenmiştir.

Farklı standartlara göre inşa edilmiş yüksek yapıların gerçek davranışları ile yapı analiz program sonuçları karşılaştırılarak bu özel yapı türleri için literatürdeki boşluğu doldurmak amaçlanmıştır.

Yapının mevcut dinamik davranışı tespit için yapı izleme sistemlerinden mevcut titreşim testi (ambient vibration) kullanılmıştır. Kule tipi yapılarda ivme ölçerler ile kayıt alınarak bilgisayara kaydedilmiştir. Analiz programları ile çözülen yapının dinamik karakteristik davranışları karşılaştırılmış ve mevcut veriler ışığında model kalibrasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Mühendisliği, Mevcut Titreşim Testi, Mod Şekli, Doğal Frekans, Dinamik Analiz

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF TOWER STRUCTURES BY THEORETICAL AND EXPERIMENTAL METHODS
--

Gökhan GÜRSOY

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
Year: 2016, Pages: 118
Jury : Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
: Prof. Dr. S. Seren GÜVEN
: Assoc. Prof. Dr. İbrahim Ö. DENEME
: Asst. Prof. Dr. Selçuk KAÇIN

İskenderun Iron and Steel Factory is one of the oldest iron and steel factory in The Town of İskenderun of Hatay, Turkey. The dynamic behavior of tower structures such as Blast Furnace Stove Chimney, Rolling Mill Chimney, Water Towers and Flare Tower in İSDEMİR was examined in this study.

Structural analysis program results were compared with the actual behavior of tall structures which were built according to different codes. It's aimed to fill the gap in the literature for this specific building types.

Ambient vibration test which is the one of the structural monitoring system is used for determining the existing dynamic behavior of structure. Ambient vibrations are recorded on computer by the help of accelerometers. Dynamic characteristic behavior of the structure were analyzed with structural analysis programs and the results were compared with the behavior of the existing structure. Model calibration has been done with available data.

Key Words: Earthquake Engineering, Ambient Vibration Test, Mode Shape, Natural Frequency, Dynamic Analysis.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı doktora danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ'ye teşekkür ederim.

Gerçekleştirdiğimiz deneylerde bizzat bulunarak bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmam içerisinde yer alan özel yapıların analizini gerçekleştirmeme öncülük eden, mesleki bilgi ve birikimime büyük katkı sunan Sayın Genel Müdürümüz Recep ÖZHAN nezdinde tüm İSDEMİR ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte daima yanımda olan ve bana güç veren eşim Eda GÜRSOY ve kızım Ada GÜRSOY'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında desteklerini hep hissettiğim annem Güner GÜRSOY'a, kardeşlerime ve uzun öğrenim hayatım boyunca, her mezuniyetimde eksikliğini hissettiğim merhum babam Adnan GÜRSOY'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Zorlanmış Titreşim Deneyleri	7
2.2. Mevcut Titreşim Deneyleri	13
3. MATERYAL VE METOD	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Hızölçerler	17
3.1.2. Mekanik Rüzgar Sensörü	18
3.2. Metod	19
3.2.1. Serbest Titreşim Hareketi.....	19
3.2.1.1. Sönümsüz Serbest Titreşim.....	20
3.2.1.2. Sönümlü Serbest Titreşim.....	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Kule Tipi Yapı Bilgileri	23
4.1.1. 3.YF Soba Bacası	23
4.1.2. Kangal Haddehanesi Bacası	27
4.1.3. Sıcak Haddehane Su Deposu	30
4.1.4. Sıcak Haddehane Yakma Bacası.....	33
4.2. Deneyin Yapılışı.....	36
4.2.1. 3. YF Soba Bacası Deneyi	36
4.2.2. Kangal Haddehanesi Bacası Deneyi	39
4.2.3. Sıcak Haddehane Su Deposu Deneyi	42

4.2.4. Yakma Bacası Deneyi	44
4.3. Deney Sonuçları	46
4.3.1. Data Analizi	46
4.3.2. Modal Frekansların Bulunması	46
4.3.3. Sönüm Oranlarının Bulunması.....	62
4.4. Model Sonuçları	64
4.4.1. 3.YF Soba Bacası	64
4.4.2. Kangal Haddehanesi Bacası	68
4.4.3. Sıcak Haddehane Su Deposu	73
4.4.4. Sıcak Haddehane Yakma Bacası.....	80
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	93
EKLER.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1.	3.YF soba bacası hesabında alınan ölü yükler.....	23
Çizelge 4.2.	3.YF soba bacası deneyi anlık rüzgar verileri	37
Çizelge 4.3.	Kangal haddehanesi bacası deneyi anlık rüzgar verileri	40
Çizelge 4.4.	Yakma bacası deneyi anlık rüzgar verileri	45
Çizelge 4.5.	Deney sonucu elde edilen hakim frekans değerleri.....	57
Çizelge 4.6.	3.YF soba bacası shell eleman özellik çizelgesi.....	64
Çizelge 4.7.	3. Yüksek Fırın Soba Bacası Model Sonucu Elde Edilen Hakim Frekans Değerleri	67
Çizelge 4.8.	Kangal haddehanesi bacası shell eleman özellik çizelgesi.....	71
Çizelge 4.9.	Kangal haddehanesi bacası model frekans değerleri.....	73
Çizelge 4.10.	Su kulesinin eleman özellik çizelgesi.....	77
Çizelge 4.11.	Su kulesi model sonucu elde edilen frekans değerleri.....	80
Çizelge 4.12.	Yakma bacası malzeme listesi.....	83
Çizelge 4.13.	Yakma bacanın frekans değerlerinin karşılaştırılması	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	3.YF bacası genel görünüşü	3
Şekil 1.2.	Kangal haddehanesi bacası genel görünüşü	4
Şekil 1.3.	Sıcak haddehane su kulesi genel görünüşü	5
Şekil 1.4.	Yakma bacası genel görünüşü.....	6
Şekil 3.1.	Hız sensörü ve bağlantıları.....	18
Şekil 3.2.	Mekanik rüzgar sensörü ve datalogger.....	19
Şekil 4.1.	3.YF Soba bacası detayları.....	24
Şekil 4.2.	3.YF soba bacası betonarme temel detayları.....	25
Şekil 4.3.	3.YF soba bacası betonarme temeli c-c kesiti	26
Şekil 4.4.	3.YF soba bacası deney fotoğrafları.....	27
Şekil 4.5.	Kangal haddehanesi bacası detayları.....	28
Şekil 4.6.	Kangal haddehanesi bacası kesit değişim detayı.....	29
Şekil 4.7.	Kangal haddehanesi bacası temel planı.....	29
Şekil 4.8.	Kangal haddehanesi bacası deney görüşleri.....	30
Şekil 4.9.	Sıcak haddehane su deposu detayları-1.....	31
Şekil 4.10.	Sıcak haddehane su deposu detayları-2.....	32
Şekil 4.11.	Sıcak haddehane su deposu deney görüşleri	33
Şekil 4.12.	Sıcak haddehane yakma bacası detayları	34
Şekil 4.13.	Sıcak haddehane yakma bacası temel detayları	35
Şekil 4.14.	Sıcak haddehane yakma bacası deney görüşleri	36
Şekil 4.15.	3.YF soba bacası sensör yerleşimleri	38
Şekil 4.16.	Kangal haddehanesi bacası sensör yerleşimleri	41
Şekil 4.17.	Sıcak haddehane su deposu sensör yerleşimleri.....	43
Şekil 4.18.	Yakma bacası sensör yerleşimleri.....	44
Şekil 4.19.	Örnek ivme kaydı	47
Şekil 4.20.	3.YF soba bacası hız grafiği.....	48
Şekil 4.21.	3.YF soba bacası ivme grafiği.....	48
Şekil 4.22.	3.YF soba bacası deplasman grafiği.....	49
Şekil 4.23.	Kangal haddehanesi bacası hız grafiği	49

Şekil 4.24. Kangal haddehanesi bacası ivme grafiği.....	50
Şekil 4.25. Kangal haddehanesi bacası deplasman grafiği.....	50
Şekil 4.26. Sıcak haddehane su deposu hız grafiği	51
Şekil 4.27. Sıcak haddehane su deposu ivme grafiği	51
Şekil 4.28. Sıcak haddehane su deposu deplasman grafiği	52
Şekil 4.29. Yakma bacası hız grafiği.....	52
Şekil 4.30. Yakma bacası ivme grafiği.....	53
Şekil 4.31. Yakma bacası deplasman grafiği.....	53
Şekil 4.32. 3.YF soba bacası hakim frekansı.....	54
Şekil 4.33. Kangal haddehanesi bacası hakim frekansı.....	55
Şekil 4.34. Sıcak haddehane su deposu hakim frekansı	56
Şekil 4.35. Yakma bacası hakim frekansı	56
Şekil 4.36. 3.YF soba bacası bütün sensörler için x yönü fft amplitude – frekans grafiği	58
Şekil 4.37. 3.YF soba bacası bütün sensörler için y yönü fft amplitude – frekans grafiği	59
Şekil 4.38. Kangal haddehanesi bacası bütün sensörler için x yönü fft amplitude – frekans grafiği	59
Şekil 4.39. Kangal haddehanesi bacası bütün sensörler için y yönü fft amplitude – frekans grafiği	60
Şekil 4.40. Sıcak haddehane su kulesi bütün sensörler için x yönü fft amplitude – frekans grafiği	60
Şekil 4.41. Sıcak haddehane su kulesi bütün sensörler için y yönü fft amplitude – frekans grafiği	61
Şekil 4.42. Sıcak haddehane yakma bacası bütün sensörler için x yönü fft amplitude – frekans grafiği	61
Şekil 4.43. Sıcak haddehane yakma bacası bütün sensörler için y yönü fft amplitude – frekans grafiği	62
Şekil 4.44. Frekans – tepki eğrisi ile sönüm oranının bulunması.....	63
Şekil 4.45. 3.YF soba bacası malzeme özelliği girdileri	65
Şekil 4.46. 3.YF soba bacası model görünüşleri	66

Şekil 4.47. 3.YF soba bacası detayı ve mod şekilleri.....	67
Şekil 4.48. Kangal haddehanesi bacası sonlu elemanlar modeli ve duvar kalınlığının değişimi.....	69
Şekil 4.49. Kangal haddehanesi bacası malzeme özelliği girdileri	70
Şekil 4.50. Ultrason test cihazı ile malzeme özelliğinin tespit edilmesi	71
Şekil 4.51. Kangal haddehanesi bacası için programdan hesaplanan ilk üç mod şekli	72
Şekil 4.52. Sıcak haddehane su kulesinin model görünüşleri	74
Şekil 4.53. Su kulesi malzeme özelliği girdileri.....	75
Şekil 4.54. Suyun kütle olarak katılımının modellenmesi.....	76
Şekil 4.55. Su kulesi ana kolon kesit özellikleri.....	77
Şekil 4.56. Su kulesi yapma çapraz kesit özellikleri	78
Şekil 4.57. Su kulesi betonarme ara geçiş elemanı özellikleri	79
Şekil 4.58. Su kulesi mod şekilleri	80
Şekil 4.59. Yakma bacası model görünüşleri	81
Şekil 4.60. Yakma bacası malzeme özellikleri.....	82
Şekil 4.61. Yakma bacası için SAP2000 programı ilk üç mod şekli.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

A_0	: Tepki Genliği
c	: Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerde Sönüm Katsayısı
$c\dot{x}(t)$	: 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
$kx(t)$	: Yer Değiştirme İle Orantılı Elastik Yay Kuvveti
m	: Yapının Kütlesi
$m\ddot{x}(t)$	: İvme İle Orantılı Atalet Kuvveti
$p(t)$	: Dış Kuvvet
R_a	: İvme Tepki Faktörü
t	: Zaman
x	: Sönüm Oranı
ω	: Titreşim Frekansı
V	: Hız
ρ	: Yoğunluk Değeri
ν	: Poisson Oranı

1. GİRİŞ

Yerküremiz var olduğundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde deprem değişik büyüklüklerde ve sürekli olarak kendini göstermektedir. Bunun sonucu olarak ciddi miktarda can ve mal kayıplarının ortaya çıktığı 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 da gerçektir.

Deprem Bölgeleri Haritasına göre, yurdumuzun %92'sinin aktif deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgelerinde bulunduğu bilinmektedir (AFAD 2015).

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen büyük depremlerden sonra yapılan incelemelerde, yapılarda kayda değer hasarlar oluştuğu görülmüştür. Bu hasarlara, proje, işçilik ve yapının üretim hatalarından başka, genel tasarım kabulleri, hassas analizler ve taşıyıcı elemanları içeren yapıların tepki karakteristiklerinden kaynaklanabilmektedir. 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 teknolojiadaki hızlı gelişmeler inşaat mühendisliğinde de önemli aşamalar kaydedilmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerden en dikkat çekici olanı yapının dinamik davranışının incelenmesi konusunda izlenen yöntemlerdir. Önceleri laboratuvar testleri veya analitik yöntemler ile çözülen birçok problem günümüzde gerçek yapılara kurulan izleme sistemleri sayesinde daha gerçekçi olarak hesaplanabilmektedir. Eskiden yapıların deprem altındaki dinamik davranışı analitik modeller veya sarsma tablaları üzerine kurulan küçük ölçekli modeller üzerinde yapılan araştırmalar ile yapılmaktaydı. Günümüzde ise yapı izleme sistemleri sayesinde deprem bölgelerindeki yapılara yerleştirilen cihazlar yardımıyla alınan

deprem verileri yapıların deprem davranışı konusunda daha gerçekçi bilgiler vermektedir. Mevcut yapılardan alınan veriler, laboratuvar ortamında yapılan deneylerden ve analitik modellerden alınan verileri geçersiz kılan değil, tamamlayan veriler olarak düşünmek daha doğru bir yaklaşımdır.

Yapı izleme sistemleri ikiye ayrılır: Birinci yöntemde 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 kütleden meydana gelmektedir. Bu kütlelerin birbirine ters yönde dönerek üretmiş oldukları 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 numunesi alıp ultrason cihazı yardımıyla donatı durumunu inceleyerek belirlemek ve 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 silolar, 1/4'ü ise köprülerle alakalıdır.

Yapılar proje aşamasındayken bilgisayar programları (SAP2000, ANSYS vb.) ile modellenmekte ve dinamik karakteristik özellikleri bu programlar ile belirlenmektedir. Ancak uygulama ve üretim aşamalarında projedeki pek çok parametrenin değiştiği görülmektedir. Bu nedenler gerçekteki dinamik özellikler ile tasarımdaki dinamik özelliklerin farklı olduğunu göstermektedir.

Bu farklılıkları belirlemek için yapılan bu tez çalışmasında; dinamik davranış açısından kule tipi yapılar özel bir inceleme alanına sahip olduğu için; İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR) içerisinde yer alan; 3. Yüksek Fırın (3.YF) Çelik Konstrüksiyon Soba Bacası, Kangal Haddehanesi Tuğla Bacası, Sıcak Haddehane Çelik Konstrüksiyon Su Kulesi ve Sıcak Haddehane Çelik Konstrüksiyon Yakma Bacası'nın dinamik davranışları incelenmiştir (Şekil 1.1.-1.4.).



Şekil 1.1. 3.YF bacası genel görünüşü



Şekil 1.2. Kangal haddehanesi bacası genel görünüşü



Şekil 1.3. Sıcak haddehane su kulesi genel görünüşü



Şekil 1.4. Yakma bacası genel görünüşü

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapı izleme sistemlerinde mevcut titreşimlerin ölçülmesi için iki yol izlenmektedir. Zorlanmış titreşim deneylerinde titreşim üretici cihazlar kullanılırken, mevcut titreşim deneylerinde (ambient vibration) titreşim üretici cihazlara gerek olmadan 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, EERC) tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların bu deneyde seçtikleri yapı, ahşaptan inşa edilse de birleşim bölgelerinde çeliğin kullanılmış olduğu bir yapıdır. Yapının California'daki tipik tek katlı okul binalarına örnek olabilecek bir özelliği bulunmaktadır. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapının üç modu hesaplanmıştır. 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 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. Yapı üçüncü modu hariç Kuzey-Güney ve Doğu-Batı olmak üzere iki doğrultuda da ilk altı modu ile birlikte iki burulma modunda sallanmıştır. Yapının doğal titreşim periyodu 2,9 sn olarak hesaplanmış ve ortak sönüm %1 olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuçlar ile yapının dörtte biri modellenerek elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk iki mod için elde edilen deneysel ve analiz sonuçlarıyla uyumlu mod şekillerinin ise 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 zorlanmış titreşim testini uygulamıştır. Temel titreşim periyodu 4,44 sn olarak belirlenmiştir. 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. Kuruluşu 4 Ekim 1976 olan Orta Doğu Teknik Üniversitesine bağlı Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi çeşitli binaların titreşim karakteristiklerini incelemek ve sonuçlarını Türk 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 temel 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 gerçekleştirilmiştir. Yedi katlı betonarme bir bina olarak tasarlanmış olan

yapının test sırasında altıncı katı yeni bitmiş ve dolgu duvarları yapılmamıştır. Yapı 20,40 m yüksekliğinde ve plan ölçüleri 15,26 m×48,30 m'dir. Döşeme sistemi iki doğrultulu betonarme plak şeklindedir. Birinci mod için doğal frekans 2,60 Hz 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 ila %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 sistemi 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 doğrultulu 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 ila 2,7 arasında 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 genleşme derzi ve binanın çekirdeği bağlı 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 genleşme derzi vardır. Hesaplanan ilk iki frekans 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).

Yapılan diğer çalışma Sincan-Yenikent Evlerinde düşük maliyetli tipik bir konut binasında gerçekleştirilmiştir. İncelenen bina altı katlı, dolgu duvarlı olup yüksekliği 16,10 m ve plan ölçüleri 20 m–11 m'dir. Binanın döşeme sistemi betonarme ve temel sistemi iki yönlü bileşik temeldir. Yapı tepkisine temel sisteminin etkisini değerlendirmek için bulunan iki eş binada test yapılmıştır. Sismik

kırılma araştırmasından hesaplanan kayma 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 sonuçlarının uyumlu olduğu bulunmuştur (3,43 Hz ve 3,17 Hz) (Atalay ve ark., 1981).

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 sürekli ve tekil temelden oluşmuştur. İki blok bitişik oldukları genişleme derzi boyunca bağımsız sallanmış olup 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 ila 2,1 ve %3,0 ila 4,0 arasındadır. İkinci mod baskın burulma modudur. Genel olarak burulma 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 Van Nuys Californiada yedi katlı betonarme bir binada gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar 17 Ocak 1994 Northridge depreminde ($M_L=5,3$ büyüklüğünde, merkez üssü ise binanın 1,5 km doğusunda) binaların hasar 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 şekilleri 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 Fast Fourier Transform (FFT) metoduna alternatif olan Maksimum Entropi Metodu da kullanılmıştır. Bu iki metod arasındaki değerlendirmeler, rüzgâr

yükü kullanılarak yapılardaki titreşimlerin ölçülmesi ile incelenmiştir (Cao ve ark., 1997).

Yapılan çalışmalar sadece betonarme binalar ve çok katlı çelik binalarla sınırlı kalmamış ahşap çerçeveli yapılarda da denenmiştir (Ellis ve ark., 2001). Bu araştırmada altı katlı ahşap çerçeveli 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 kullanılabilecek en uygun yöntem olmasıdır. İkinci yöntem ise 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 olduğu görülmüştür.

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. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılarak uyumlu 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 Dujuan Tayfunu'nun bu yapılar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğal frekansları ve burulma frekansları 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, üçgen yapıda ise deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Bu örnekler bu yöntemin doğruluğunu kanıtlamaktadır (Şafak, E. ve Çelebi, M., 1990).

Yapıların dinamik özellikleri belirlenirken kullanılan titreşim kayıtları yapı-zemin etkileşimin bulunmasında da önemlidir. Elde edilen kayıtlar analiz edildikten sonra yapı-zemin etkileşimi olup olmadığı ile ilgili bir yöntem önerilmiştir (Şafak, E., 2007).

On yedi katlı çelik bir yapıya aralıklarla harmonik titreşim verilerek, yirmidört saatlik bir rüzgar etkisi altındaki titreşimleri kayıt edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 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 özellikler ile 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 deneysel ve analitik sonuçların uyumlu oldukları belirlenmiş fakat sonraki modlarda ise uyum görülememiştir (Bradford ve ark., 2004).

2.2. Mevcut Titreşim Deneyleri

California’da yapılan zorlanmış titreşim ve mevcut titreşim testleri yaklaşık 65 yıldır yürütülmektedir. The U.S. Coast ve Geodetic Survey kurumu mevcut titreşim analizleri ile yapılan temel periyotlarını belirleme çalışmalarına 1930’lu yıllarda başlamıştır. Yaklaşık 30 yıl süren çalışmalar sonucunda bu testin yapıların titreşim modlarının ve düşük frekanslarının belirlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir (Crawford, R. ve Ward, H.S., 1964).

Trifunac 1970 yılında rüzgarı ve mikro sarsıntıları çerçeve sistem yapıların testinde kullanmıştır. Birkaç yıl sonra mevcut titreşim analizlerinin sonuçlarıyla aynı iki bina üzerindeki zorlanmış titreşim testinin sonuçları karşılaştırarak uyumlu oldukları görülmüştür (Trifunac, 1972).

İki testin de sonuçları benzer ve tutarlı bulunmuştur. Udwadia ve Trifunac (1977) değişik tipteki 4 binanın mevcut titreşim analiz test sonuçlarını sunmuş ve deprem öncesi ve sonrasındaki mevcut titreşim analiz tepkilerindeki değişiklikleri araştırmıştır. Yumuşak toprak ve sert yapı arasındaki etkileşimin etkilerini depremin hemen sonrasında ve çok sonrasında nasıl olduğunun analizi de bu çalışma içinde yer almıştır.

1970’ler ve 1980’lerde, mevcut titreşim ve zorlanmış titreşim testleri yapıların deprem sonrası belirli frekanslarını karşılaştırmada ve bu frekanslara eşlik eden 3 boyutlu deformasyonların doğal hallerini belirlemede kullanılmıştır (Moslem, K. ve Trifunac, M.D., 1986).

Mevcut titreşim analizlerine 1990 ve 2000’lerde daha derin çalışmalarla katkı sağlanmaya devam edilmiştir. Mevcut titreşim analizinin en sık kullanım alanlarından biri de doğal frekans titreşimleri ile yapıların mod şekillerinin bulunmasını içermektedir. Mevcut titreşim analizleri, aynı zamanda parametre tahminlerini ve yapıların model özelliklerini geliştirmede kullanılmaktadır.

Cracow University of Technology, ve Building Research Institute tarafından 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 durulup hasarın nedeni açıklanmıştır (Kaweckia J. ve Zuranski J.A., 2007).

2007 yılında yapılan diğer bir çalışmada 12. yüzyılda yapımı tamamlanmış 74 m yüksekliğinde bir çan kulesi ele alınmıştır. İki yönde taşıyıcı duvarları bulunan yapıda derin çatlakların olduğu bildirilmektedir. Teorik ve deneysel modal parametreler en hasarlı bölgeler için elde edilerek malzeme karakteri tespit edilmeye çalışılmıştır (Gentile C., Saisi A., 2007).

2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde yapılan doktora çalışmasında çevresel titreşim verileri kullanılarak yapıların hasar durumlarının tespiti ve değerlendirilmesi konusunda çalışılmıştır. Bu çalışmada, çevresel titreşim altında deneysel olarak ölçülen dinamik karakteristikler dikkate alınarak yapıların hasar durumlarının tespiti ve değerlendirilmesine imkan sağlayan bir yaklaşım ortaya konulmaya çalışılmıştır. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği, laboratuvar ortamında oluşturulan yapı modelleri üzerinde gerçekleştirilen incelemelerle gösterilmiştir. Çalışmada; kullanılan analitik ve deneysel yöntemlere ait formülasyonlar ile yapıların hasar durumlarının değerlendirilebilmesi amacıyla önerilen yaklaşım, çelik konsol kiriş ve iki boyutlu çerçeve modeller ile betonarme tek katlı bina, üç katlı bina, köprü ve baraj modelleri üzerinde farklı hasar durumları için gerçekleştirilen uygulamalar sunulmaktadır. Son olarak hasarlı duruma ait ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak önerilen yaklaşım yardımıyla her bir model için hasarın varlığı, yeri ve yapı davranışına etkisi ortaya konulmaktadır. Çalışma sonucunda, temel mühendislik yapılarını temsil eden laboratuvar modelleri üzerinde gerçekleştirilen incelemelerden, kullanılan yaklaşımın yapıların hasar durumlarının tespiti ve değerlendirilmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür (Türker T., 2011).

İtalya'da tarihi bir kule üzerine yapılan mevcut titreşim bazlı araştırmanın sonuçları binanın 3 boyutlu sonlu eleman modelini güncellemek için kullanılmıştır. Değerlendirme prosedürü için üç farklı belirleme yöntemi kullanarak, sonlu eleman modeli yapılmıştır. Teorik ve deneysel modal parametreler arasında iyi bir ilişki kurularak yapıların modeli güncellenmiştir (Foti D. ve ark., 2012).

Mevcut titreşim analizi yapılar üzerinde herhangi bir olumsuz etki yaratmadığı için tarihi yapılarda da çoğunlukla tercih edilmektedir. Günümüzde restorasyon ya da mevcut durum analizi için ortam titreşimleri ışığında ölçümler yaparak yapıların dinamik karakteristikleri belirlenmektedir. Çalışmada Trabzon ilinde bulunan Ayasofya Kilisesi çan kulesi doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları irdelenmiştir. Çan kulesi duvarı yaklaşık 23,5 m yüksekliğindedir ve yaklaşık bir yıl önce restorasyon görmüştür. Yapımı 13. yüzyıla dayanan kulede toplam dokuz adet tek eksenli sismik ivmeölçerler ile dik yönlerde kulenin tepkileri ölçülmüştür. Restorasyon öncesi ve sonrası için kulenin dinamik karakteristikleri karşılaştırılmıştır (Osmancıklı, G. ve ark., 2012).

Titreşim test sonuçları sayısal modelleri güncellemek ve yapı boyunca dağıtılmış mikro çatlakları tespit etmek için de kullanılabilir. Model aşamalarının doğruluğunun artırılması için minare gibi özel yapılarda mevcut titreşim analizinin kullanılabileceğine işaret edilen çalışmada operasyonel modal analiz prosedürü ile çalışılmıştır. Bu yöntemde, ilk olarak, titreşim testleri yapılır, ivme kayıtları ile dinamik özellikler belirlenir ve nihayet analitik modeller, deneysel analiz sonuçlarına göre kalibre edilir ya da güncellenir. Bu çalışmada, mevcut titreşim testi, rüzgar etkileri ve insan hareketi gibi doğal zorlamalar altında minare üzerinde yürütülmüştür. Minarenin tüm uzunluğu boyunca dağıtılan dört adet üç yönlü ivme ölçer ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ortam titreşim testlerinden elde edilen ham ölçüm verileri MATLAB’da geliştirilen SignalCAD programı ile analiz edilmiştir. MATLAB’da geliştirilen ModalCAD programı dinamik karakteristik tanımlanması için kullanılmıştır. Minarenin üç boyutlu modeli yapılarak modal analiz, ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmış, analitik frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mevcut sistem verilerinin, sonlu eleman modelini kalibre etmek için kullanılabilecek (doğal frekanslar, sönümlenme oranları ve mod şekilleri) önemli veriler olduğu ortaya koyulmuştur (Şahin, A. ve ark., 2011).

Diğer bir çalışmada prefabrik yapıların sonlu eleman modeli kalibrasyonu, mevcut titreşim test sonuçları dikkate alınarak incelenmiştir. İki prekast yapı, bir üst geçit ve prekast üretim tesisi olmak üzere, inceleme için seçilmiştir. Bu yapıların ilk sonlu eleman modelleri SAP2000 yazılımı ile belirlenmiştir. Deneysel ölçümler,

rüzgar ve trafik yükleri gibi ortam titreşimleri altında Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir ve tam dinamik özellikleri deneysel çalışma ile tespit edilmiştir. Mevcut titreşim testleri sırasında, yapısal müdahaleler bu prekast yapıların farklı noktalarında ölçülmüştür. Çalışma sonunda, analitik ve deneysel dinamik özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu yapıların ilk sonlu eleman modelleri, mevcut dinamik özellikleri kullanılarak geliştirilmiştir (Osmancıklı, G.ve ark., 2015).

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada İSDEMİR A.Ş.'de bulunan tuğla ve çelik 3 adet baca ile bir adet çelik su kulesinde mevcut titreşimler ölçülerek bacadan bazı dinamik karakteristik özelliklerinin bulunması ve teorik sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla sensör yerleşimleri yapılarak titreşim kayıtları analiz edilmiştir.

Mevcut titreşim kayıtlarında ortam titreşimleri ve yapıların kule tipi olması nedeni ile rüzgarın önemi büyüktür. Bu nedenle mevcut rüzgar şiddetini ölçmek için mekanik rüzgar sensörü kullanılmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Hızölçerler

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 bir dönüştürücü ile ana kayıt ünitesine (Network Control Centre) bağlanmaktadır. Sensörler yapıdaki mevcut titreşimleri algılayıp kaydetmektedir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Hız sensörü ve bağlantıları

3.1.2. Mekanik Rüzgar Sensörü

Mekanik rüzgar sensörü olarak Young Model 03002/03102 kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Rüzgar hızını ölçmek için, anemometre olarak üç adet hafif yarım küre kullanılmaktadır. Modül içerisinde bulunan tekerlek, rüzgar hızı ile orantılı bir AC

frekansı üretmektedir. Veriler Campbell Scientific CR 200 model Datalogger ile işlenmektedir.



Şekil 3.2. Mekanik rüzgar sensörü ve datalogger

3.2. Metod

3.2.1. Serbest Titreşim Hareketi

Çok serbestlik dereceli sistemlerde serbest titreşim analizi yapılarak doğal modlar bulunur. Çok serbestlik dereceli 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 aşağıdaki hale indirgenir;

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

Kütleli harekete zorlayacak dış etkenler bulunmaması halinde ise, sistemin serbest titreşim denklemi aşağıdaki gibidir:

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

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;

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

Buradan sönümsüz serbest titreşim frekansı;

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

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

olarak yazılabilir.

3.2.1.2. Sönümlü Serbest Titreşim

Tek serbestlik dereceli sönümlü bir sistemde hareketi tanımlayan denklem

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad (3.9)$$

Şeklinde olup, $x = e^{\alpha t}$ olarak ele alındığında denklem,

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

halini alır. Buradan hareketle;

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

olarak 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;

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

olarak hesaplanır (Yerlici, 2007).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kule Tipi Yapı Bilgileri

4.1.1.3.YF Soba Bacası

Temiz yüksekliği 64,7 metre olan daire kesitli baca yapısı +0,3m kotunda bulunan temel sistemi üzerinde olup baca yapısının çapı yukarı doğru azalmaktadır(Şekil 4.1.-4.3.).

Oluşturulan çelik yapı modelinde ve analizinde aşağıda belirtilen standartlardaki kriterler uygulanmıştır.

Ø ASME STS-1a-2003

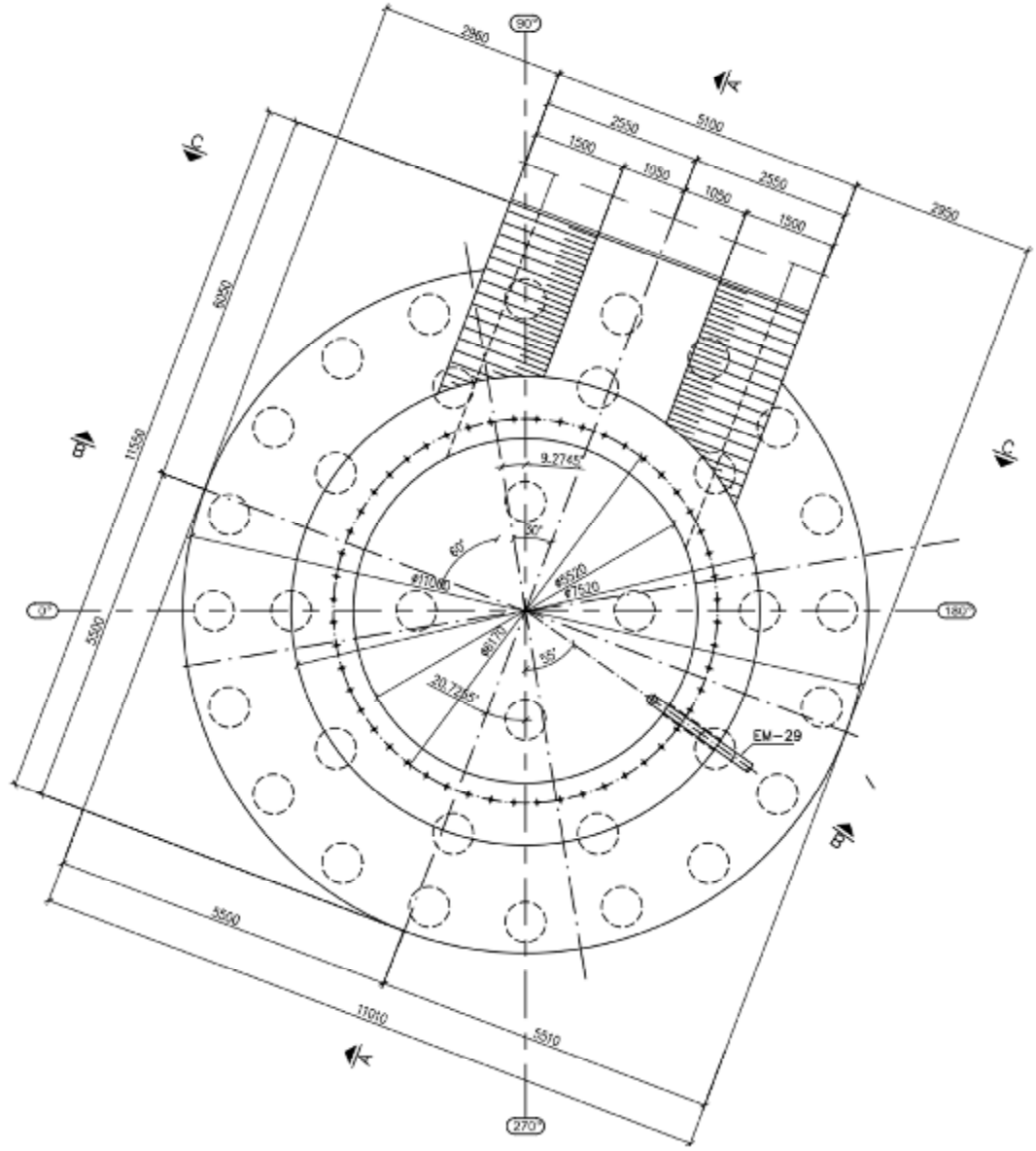
Ø ASCE 7-02

Ø UBC 97

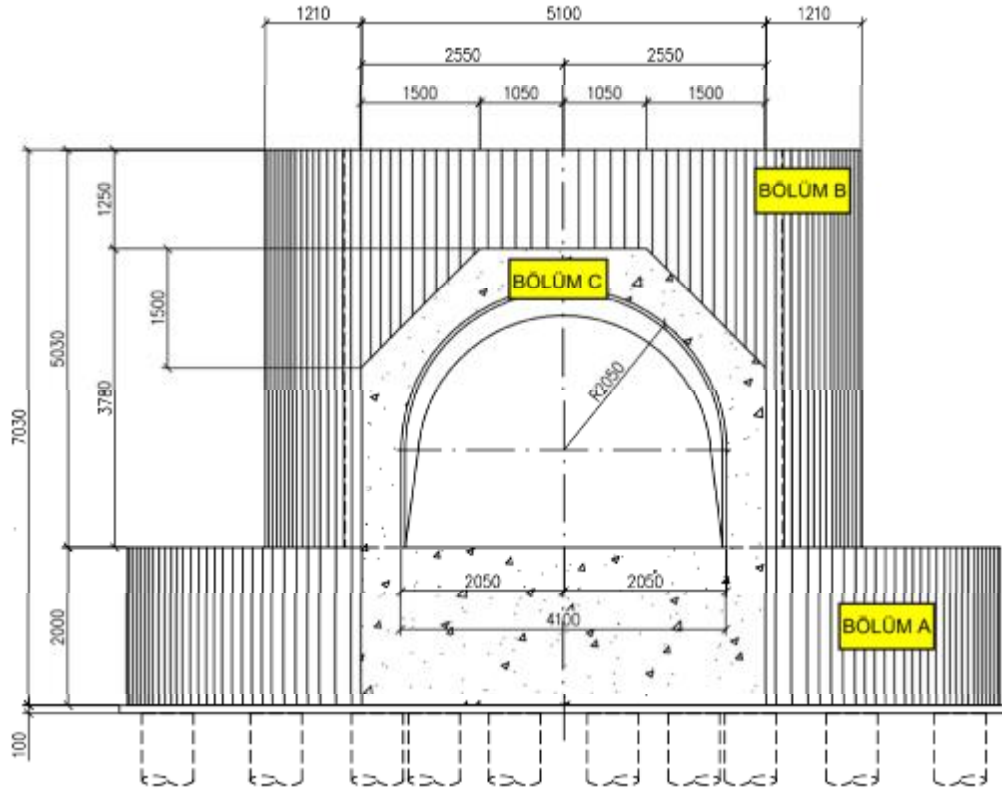
Yapının çelik elemanlarının analiz ve tasarım aşamalarında “Stackdes” adlı bilgisayar programı kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. 3.YF soba bacası hesabında alınan ölü yükler

	Ağırlık (kg)
Merdiven ve platformlar	4944,7
360° Platformlar	3738,1
Helezonik Kesiciler	1263,6
Alt Betonarme	3529,2
Taban Plakası	5406,0
Taban Ankrajları (52 Adet M56 Ankraj)	2697,2
Flanşlar	21100,0
Temiz Baca Ağırlığı	111658,0
Baca Toplam Ağırlığı	154337,0

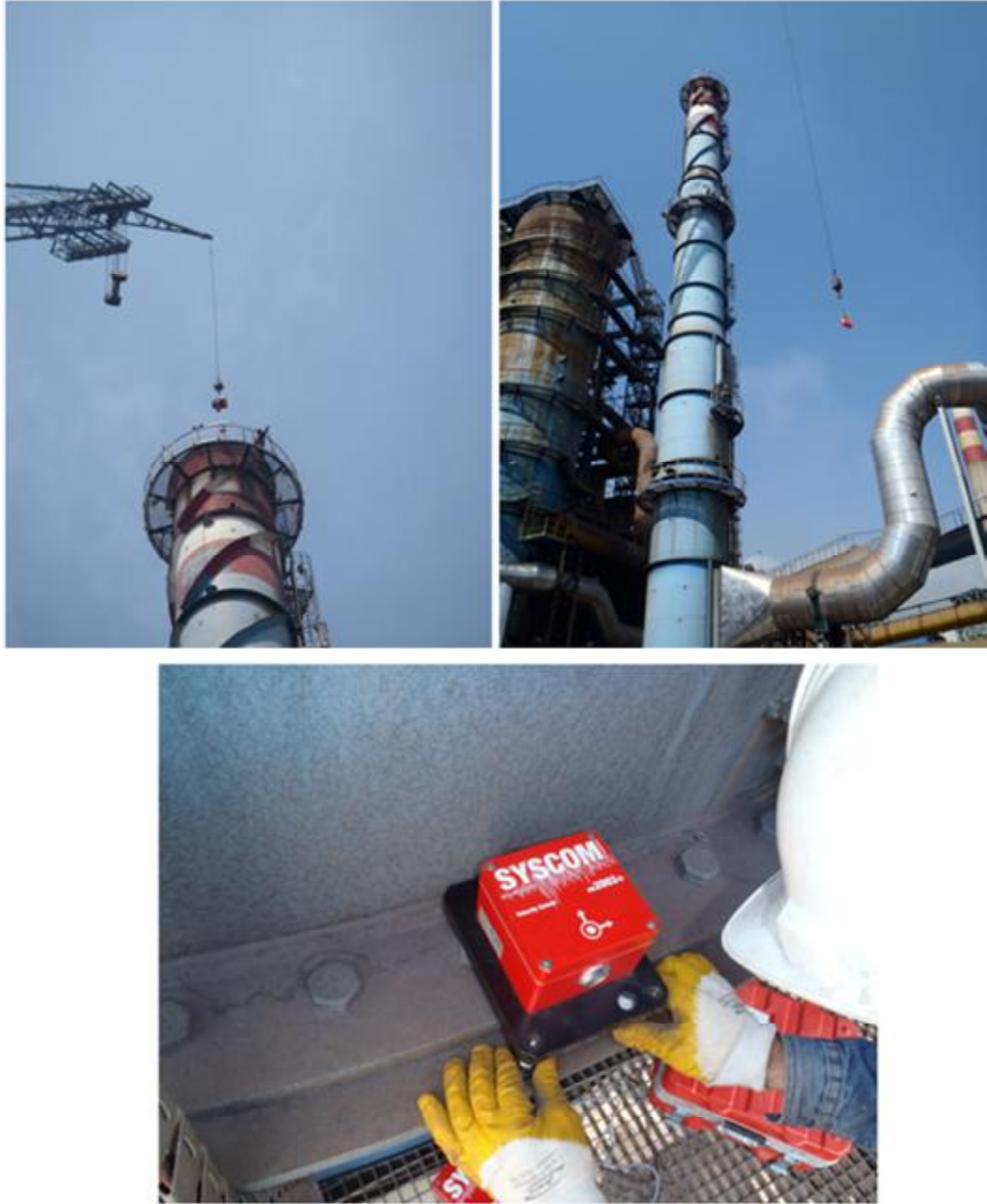


Şekil 4.2. 3.YF soba bacası betonarme temel detayları



Şekil 4.3. 3.YF soba bacası betonarme temeli c-c kesiti

2006 yılında inşaatı gerçekleştirilen baca, betonarme kazıklı temel üzerine oturmaktadır. Bacaya yüksek fırın gazı refrakter kaplı bir kanal vasıtası ile gelmektedir. Gaz tüneline gelen yüksek fırın gazı baca içerisinden geçerek emisyon kontrolü ile birlikte dışarı atılmaktadır.

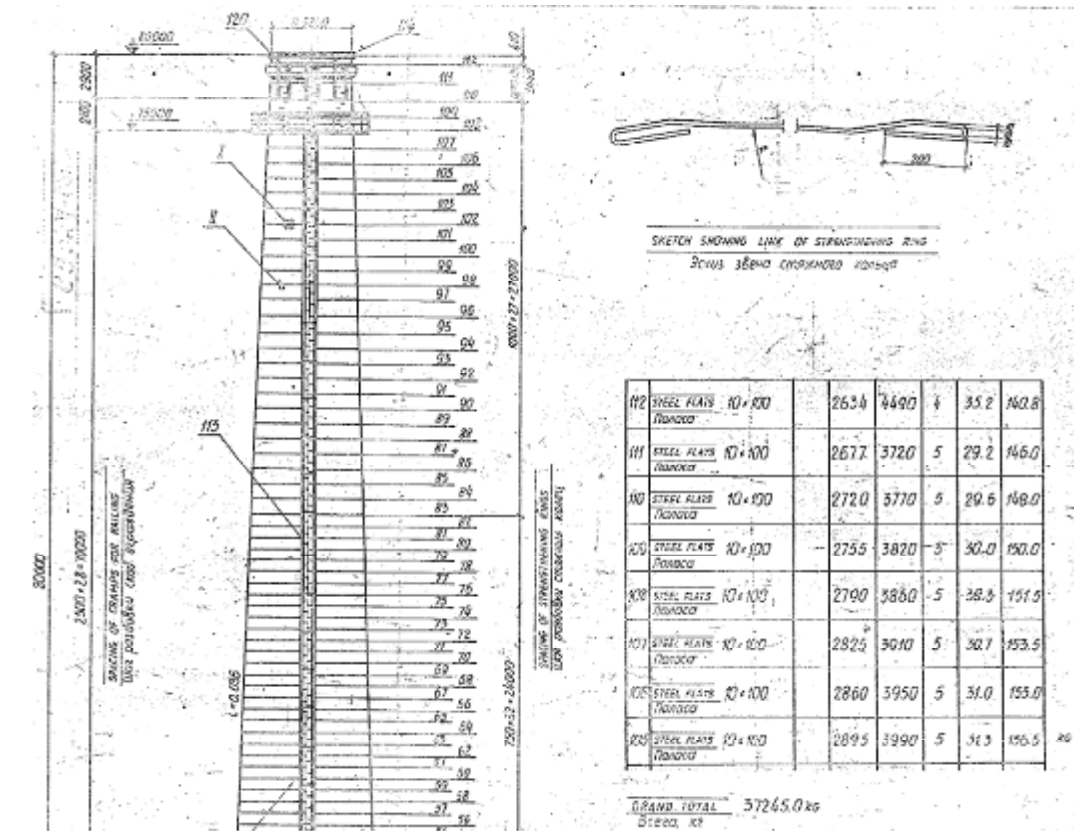
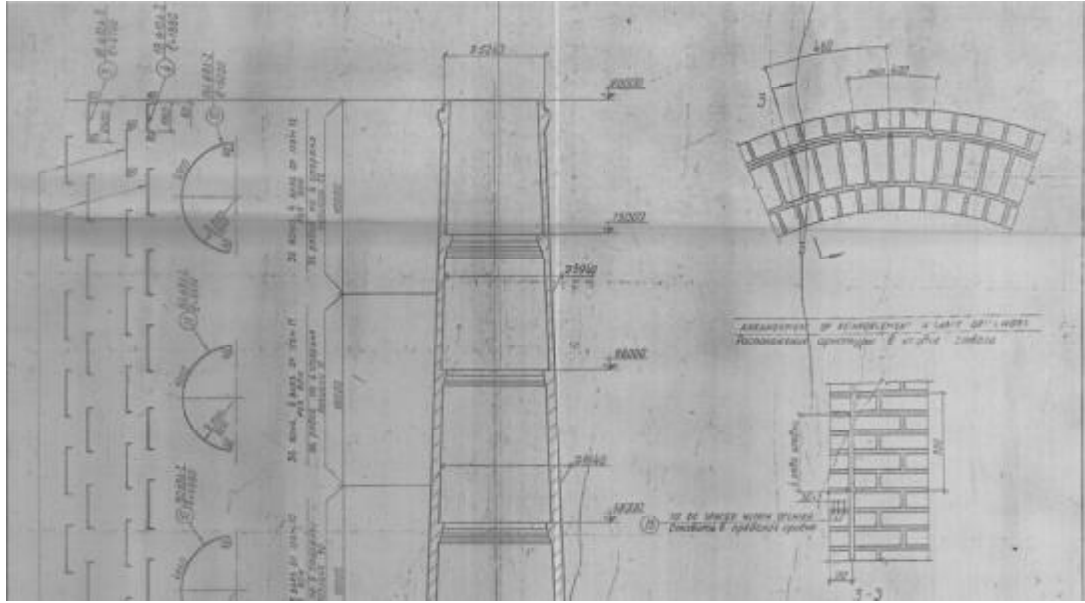


Şekil 4.4. 3.YF soba bacası deney fotoğrafları

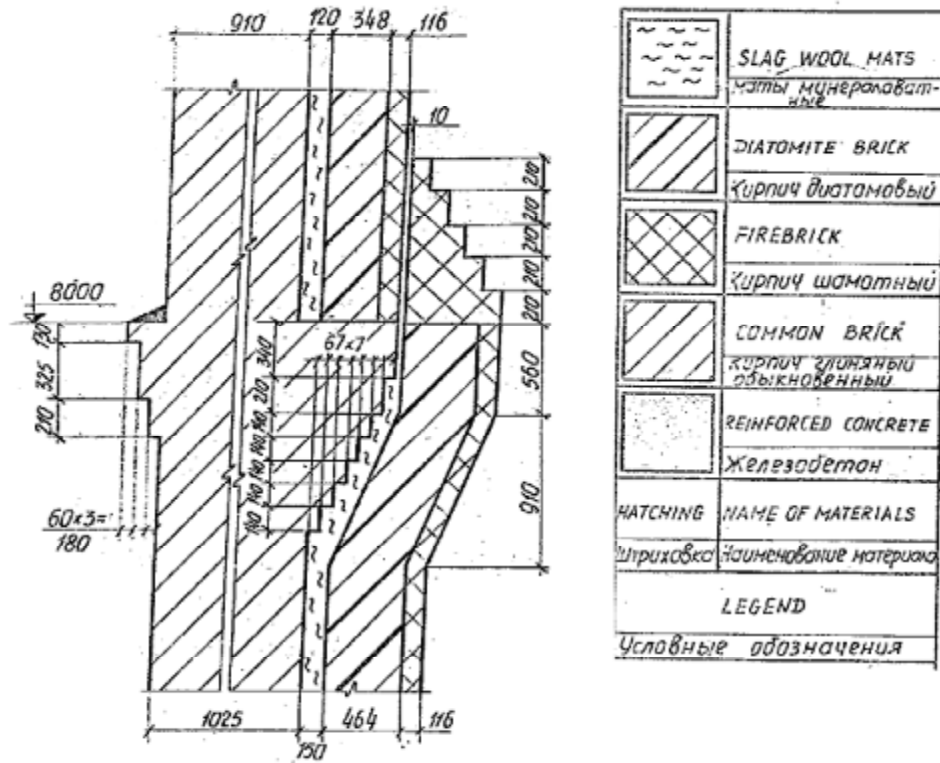
4.1.2. Kangal Haddehanesi Bacası

1974 yılında yapımı gerçekleştirilen bacada tuğla kullanılmıştır. İç izolasyon için refrakter tuğlasının tercih edildiği yapıda tuğlalar arası betonarme çelik çubuklar kullanılarak yapının sünekliğinin artırılması hedeflenmiştir. Dış yüzeyde ise çelik gergi elemanları ile baca çevrelenmiştir. Tuğla harçları arasına yerleştirilen

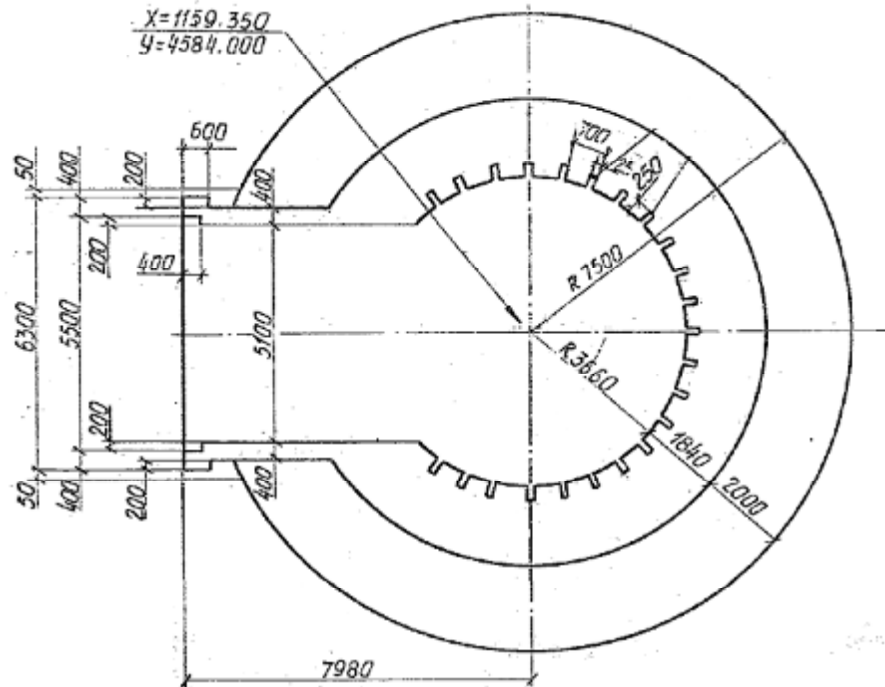
betonarme çelik çubukları ve dış yüzeydeki gergi elemanları ile Rus standartlarına göre tasarlanan baca, bu özellikleri ile diğer kule tipi yapılardan ayrılmaktadır.



Şekil 4.5. Kangal haddehanesi bacası detayları

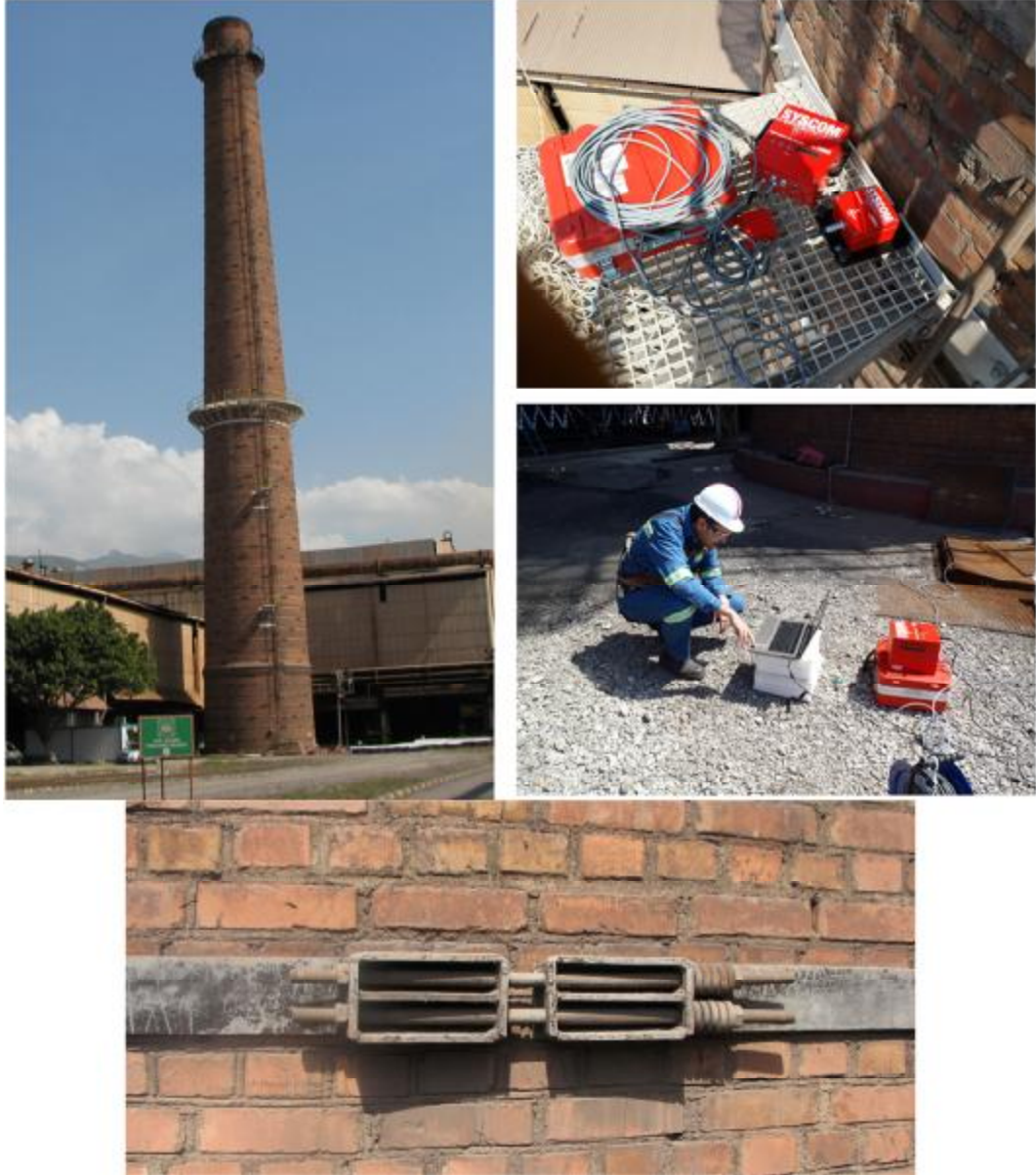


Şekil 4.6. Kangal haddehanesi bacası kesit değişim detayı



Şekil 4.7. Kangal haddehanesi bacası temel planı

Baca üst kotlara doğru kademeli olarak hem cidar olarak hem de kesit olarak daralmaktadır (Şekil 4.6.).

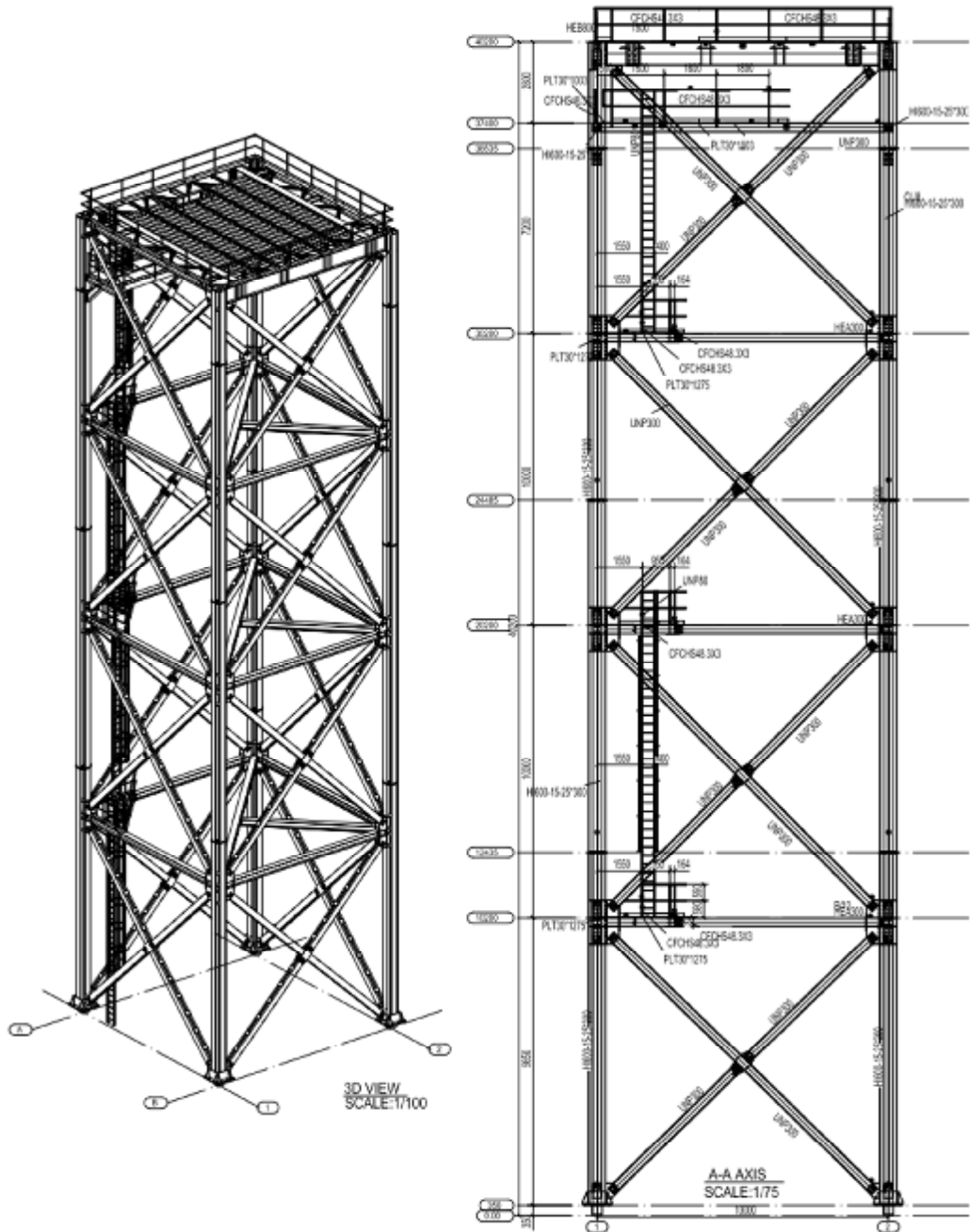


Şekil 4.8. Kangal haddehanesi bacası deney görünüşleri

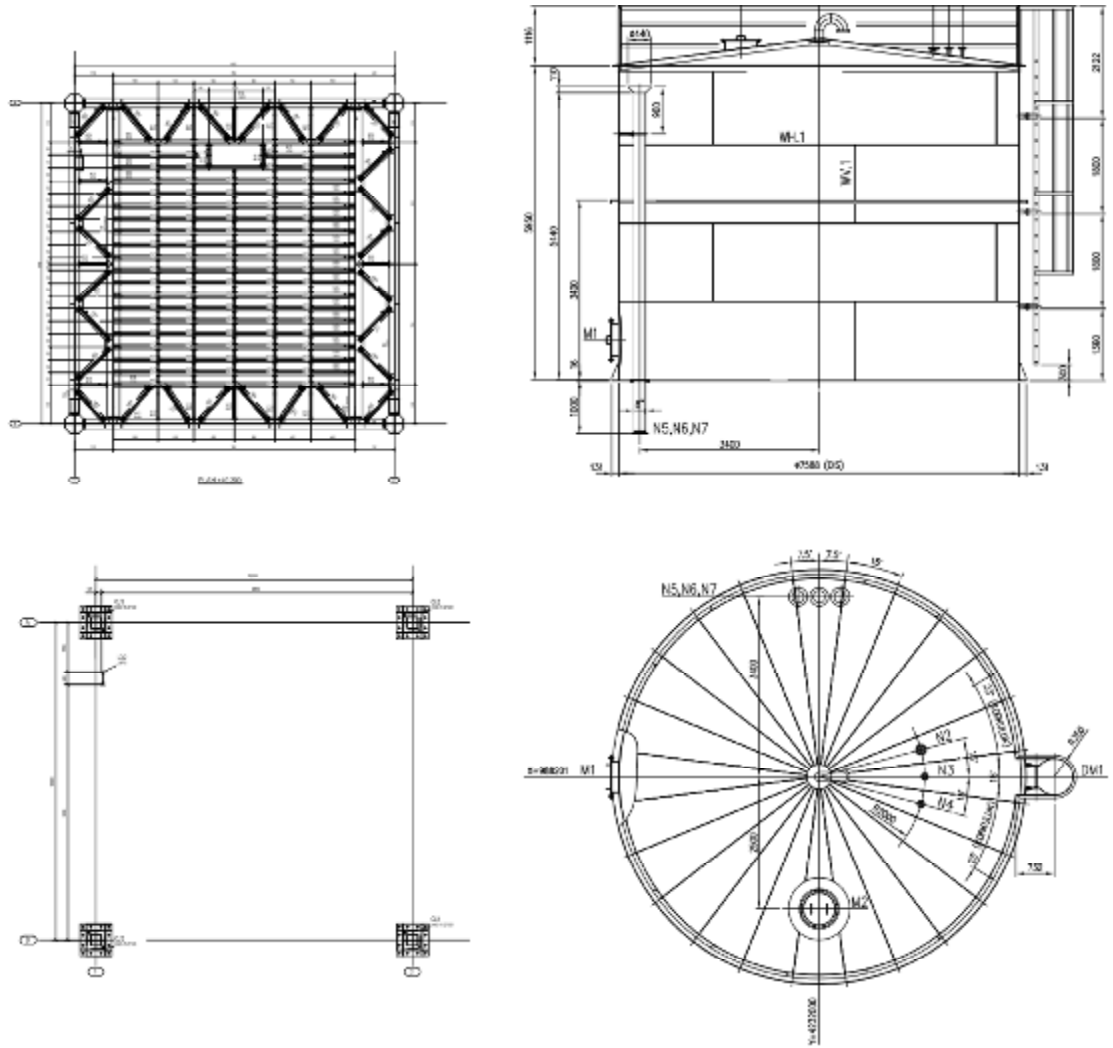
4.1.3. Sıcak Haddehane Su Deposu

Su tankı gövdesi dahil yüksekliği 46 m, su tankı gövdesi hariç yüksekliği 34,74 m olan su kulesi Ø 650 mm çapında kazıklar üzerine inşa edilmiş radye temel

sistemine sahiptir. 19 m × 19 m temel alanına sahip su tankı kule yapısı acil durumlarda İSDEMİR Çelikhane ve Sürekli Dökümler tesislerine hizmet etmek için yapılmıştır.



Şekil 4.9. Sıcak haddehane su deposu detayları-1



Şekil 4.10. Sıcak haddehane su deposu detayları-2

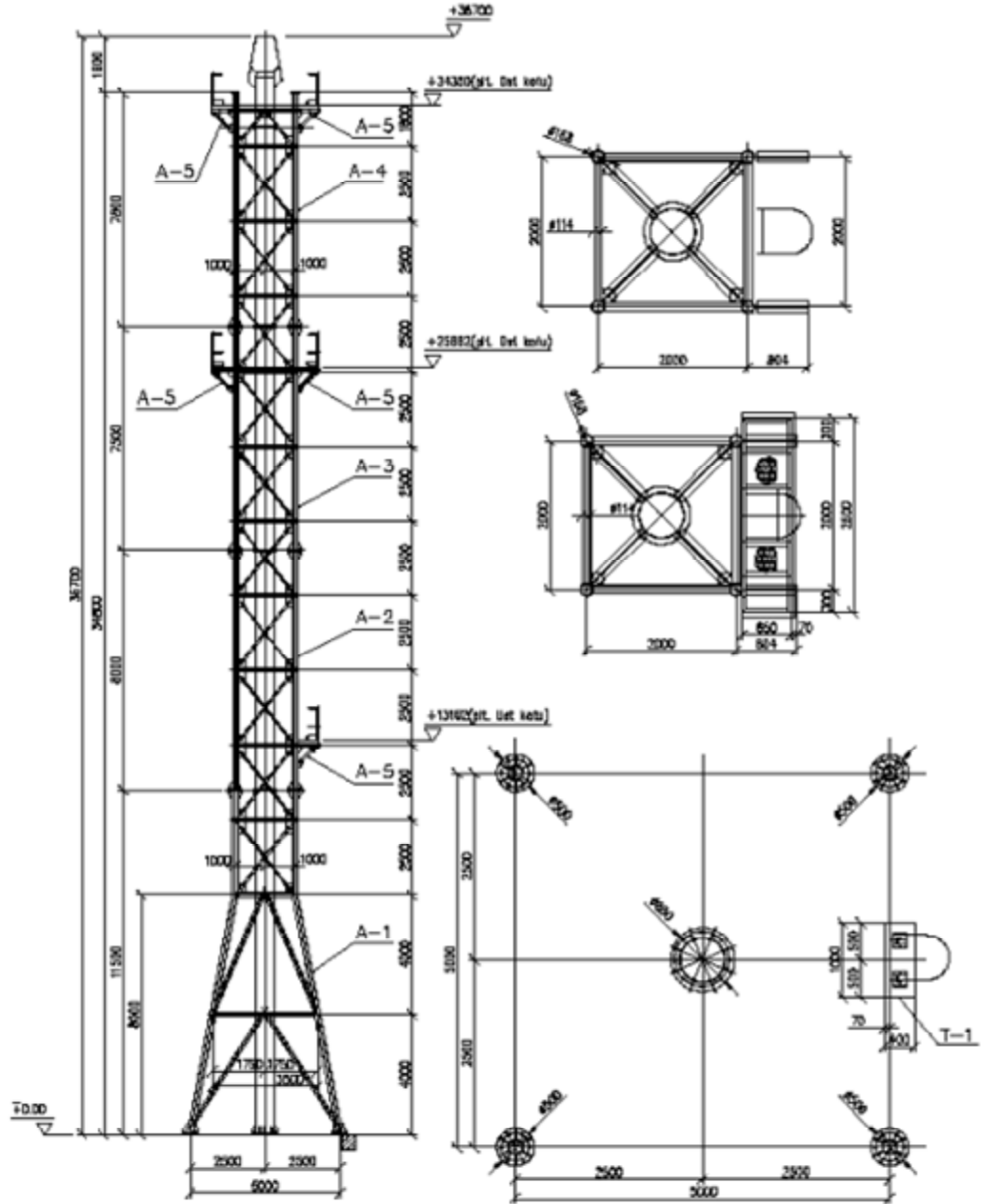
Su tankı üst yapısında çeliği olarak St 37 (S235JRG2, S235JO, S235J2G3) çeliği kullanılmıştır. Yapı, kat yükseklikleri sırasıyla; 7,94 m, 8,25 m, 8,25 m, 5,07 m, 3,19 m olan 5 ara kattan oluşmaktadır.



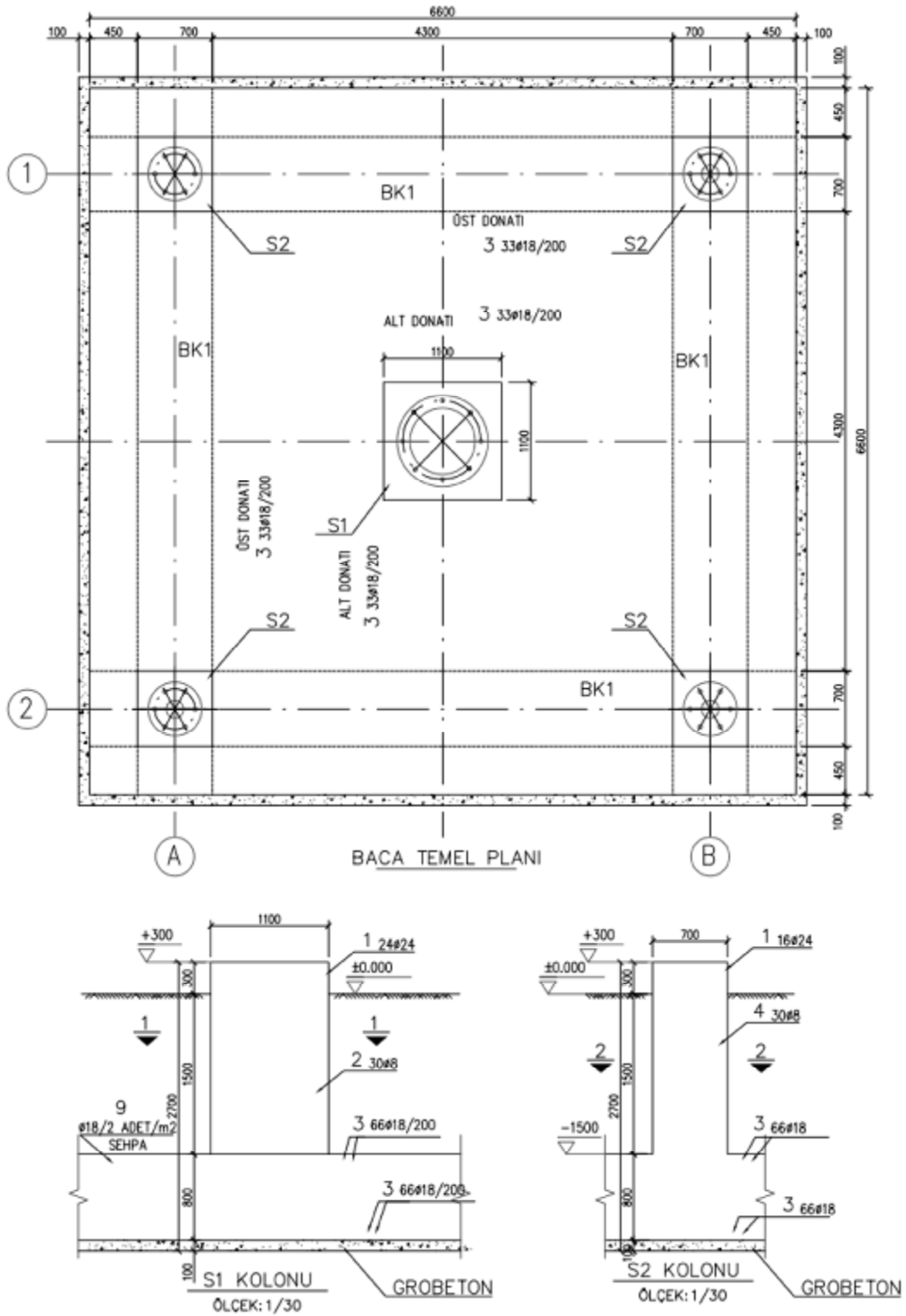
Şekil 4.11. Sıcak haddehane su deposu deney görünüşleri

4.1.4. Sıcak Haddehane Yakma Bacası

Fazla kok gazını yakmak amacı ile İSDEMİR Sıcak Haddehane bölgesinde inşa edilen bacanın yapım yılı 2008'dir. Radye temel üzerine oturan baca $\text{Ø}193,7 \times 7,1 - 132,0 \times 6,3$ ve $114,3 \times 5,6$ (DIN2458) borulardan teşkil edilmiştir. Montaj kolaylığı açısından 3 adet marka olarak dizayn edilen baca flanş sistemi ile monte edilmiştir (Şekil 4.12.-4.14.).



Şekil 4.12. Sıcak haddehane yakma bacası detayları



Şekil 4.13. Sıcak haddehane yakma bacası temel detayları



Şekil 4.14. Sıcak haddehane yakma bacası deney görüşleri

4.2. Deneyin Yapılışı

4.2.1. 3. YF Soba Bacası Deneyi

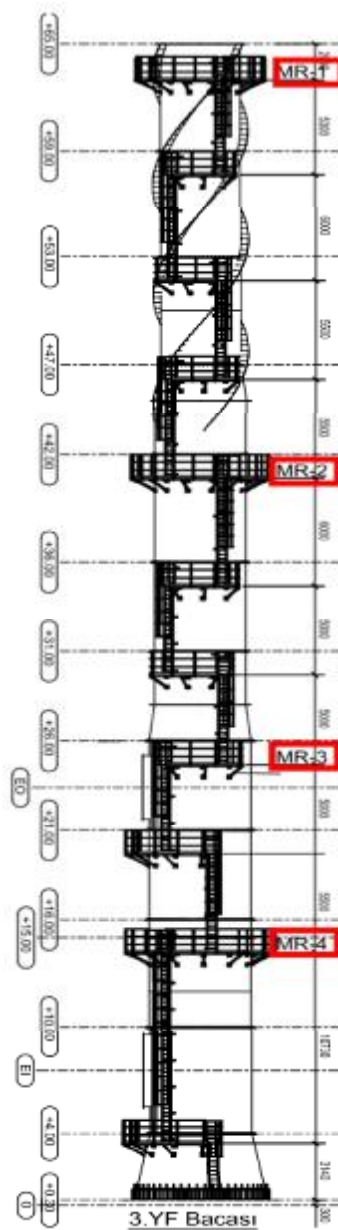
3.YF Soba Bacası bulunduğu bölge itibari temele 10 ila 20 m mesafelerde sıcak maden geçişini sağlayan demiryollarının yanında yer almaktadır. Proses gereği yüksek fırına yüksek tonajlarda hammadde beslemeleri sırasında, 3.YF Soba Bacası yapısı, oluşan titreşimlere maruz kalmaktadır.

İSDEMİR coğrafi konumu nedeni ile şiddetli rüzgarlara maruz kalmaktadır. Bu nedenle mevcut titreşimlerin önemli bir kısmını da rüzgar kuvveti oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalarda eş zamanlı olarak rüzgar şiddeti de ölçülerek kayıt altına alınmıştır (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. 3.YF soba bacası deneyi anlık rüzgar verileri

Tarih	Saat	Hız (km/sa)	Max. Hız (km/sa)
28.04.2014	13:30	15,1	22,3
28.04.2014	13:35	15,1	23,8
28.04.2014	13:40	16,2	23,8
28.04.2014	13:45	15,2	23,4
28.04.2014	13:50	17,6	24,5
28.04.2014	13:55	16,9	25,2
28.04.2014	14:00	14,4	22,3
28.04.2014	14:05	15,8	22,7
28.04.2014	14:10	19,8	27,7
28.04.2014	14:15	18,7	29,2
28.04.2014	14:20	14,0	22,7
28.04.2014	14:25	14,0	27,0
28.04.2014	14:30	14,4	23,4
28.04.2014	14:35	19,4	27,0
28.04.2014	14:40	18,7	25,2
28.04.2014	14:45	16,2	29,2
28.04.2014	14:50	13,3	23,8
28.04.2014	14:55	19,8	27,0
28.04.2014	15:00	17,3	24,5
28.04.2014	15:05	15,8	23,4
28.04.2014	15:10	16,9	23,8
28.04.2014	15:15	16,2	27,0
28.04.2014	15:20	14,8	23,4
28.04.2014	15:25	11,9	18,4
28.04.2014	15:30	12,6	21,2
28.04.2014	15:35	14,8	21,2
28.04.2014	15:40	12,6	18,0
28.04.2014	15:45	13,3	22,3
28.04.2014	15:50	17,3	22,3
28.04.2014	15:55	18,0	23,4
28.04.2014	16:00	16,6	22,7
28.04.2014	16:05	16,2	25,2
28.04.2014	16:10	20,2	24,8
28.04.2014	16:15	18,0	24,5
28.04.2014	16:20	17,3	22,3
28.04.2014	16:25	16,2	23,4
28.04.2014	16:30	15,5	23,4

Deney sırasında taşıma işlemleri için 1000 tonluk BK1000 vinci kullanılmıştır. 28.04.2014 tarihinde sensör yerleşimi için yüksekte çalışabilir, ağır ve tehlikeli işlerde çalışabilir raporlu çalışana sensör yerleşimleri ve bağlantıları konusunda baca tabanında detaylı bilgiler verilmiştir. Yerleştirilen sensörlerin aynı doğrultuda olmaları ve aynı yöne bakmaları büyük önem arz etmektedir. Uygulamalı olarak yapılan bilgilendirmenin ardından iş güvenliği açısından emniyetli bir şekilde sensörler Şekil 4.15'te gösterildiği sıra ile yerleştirilmiştir.



Şekil 4.15. 3.YF soba bacası sensör yerleşimleri

4.2.2. Kangal Haddehanesi Bacası Deneyi

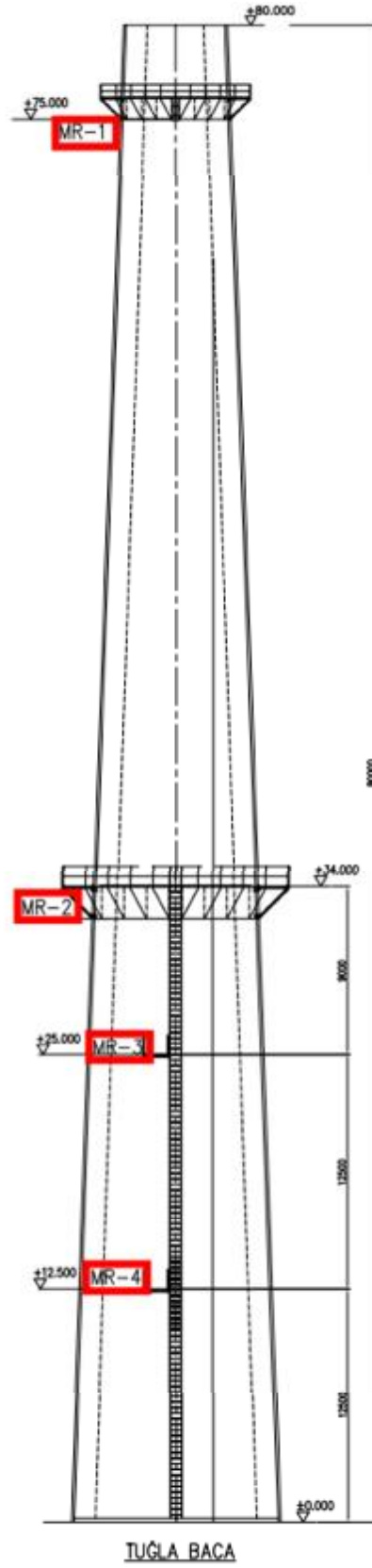
1974 yılında yapımı gerçekleştirilen baca, daha önce de belirtildiği gibi yapı tuğlası, refrakter tuğlası, harç ve harç içerisine döşenmiş betonarme çelik çekme çubuklarından imal edilmiştir.

Kangal haddehanesi demir çelik ürünü olan kütüklerin fırınlarda ısıtılarak tekrar haddelenmesi işleminin yapıldığı yerdir. Kütüğün bant üzerindeki ilerlemesinin oluşturduğu titreşim ve rüzgar yapının maruz kaldığı başlıca yüklerdendir (Çizelge 4.3.).

11.04.2014 tarihinde ilgili baca etrafında gerekli güvenlik tedbirleri alınarak daha önce sensör yerleşimleri ile ilgili eğitim verilen personel ile birlikte baca üzerinde sensör yerleşimleri gerçekleştirilmiştir. Uzun halatlar ile taşınan sensör kutuları, ilgili platformlarda açılarak gerekli bağlantıları yapılmıştır. Bağlantıların tamamlanmasının ardından ana ünite ve bilgisayar bağlantısı yapılmış, 5 dk'lık deneme okuması yapılarak sensör senkronizasyonunun doğruluğunun teyit edilmesinin ardından deney başlatılmıştır (Şekil 4.16.).

Çizelge 4.3. Kangal haddehanesi bacası deneyi anlık rüzgar verileri

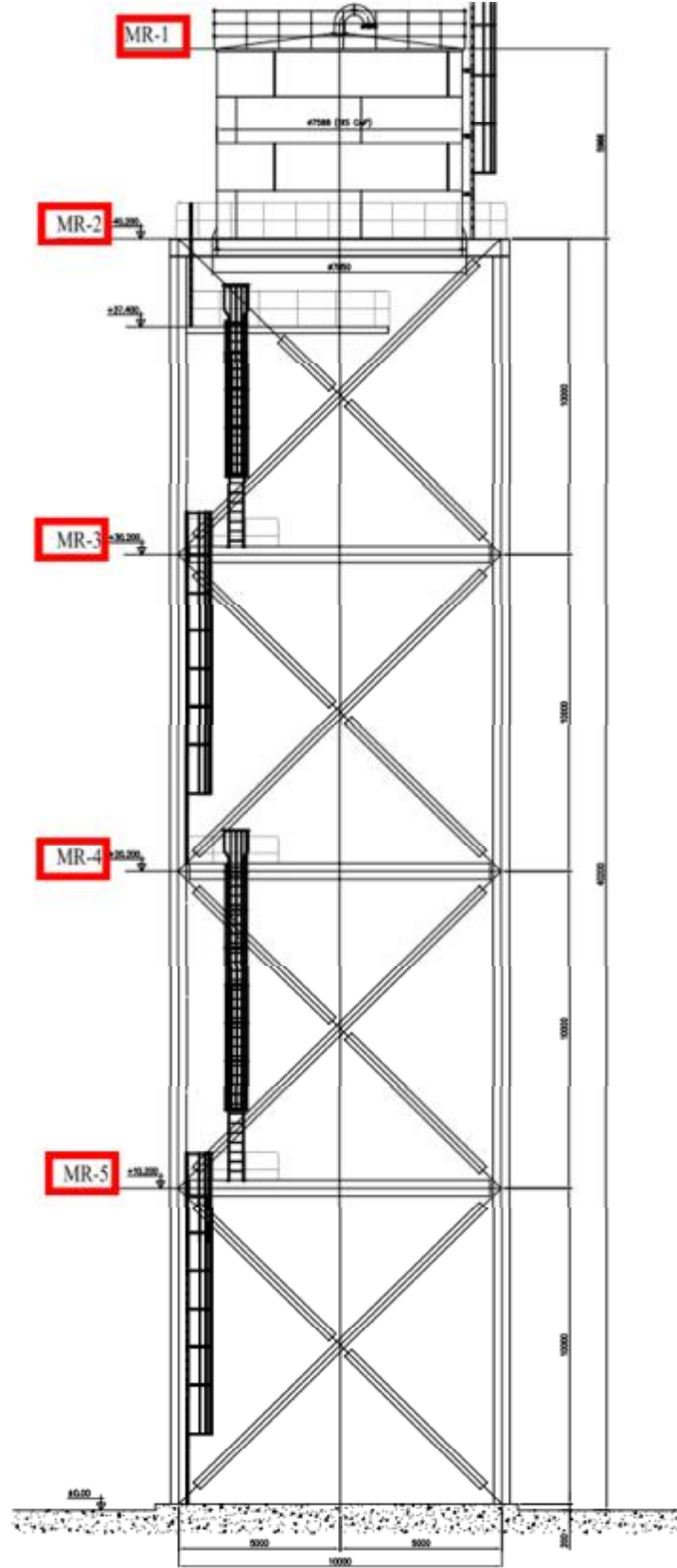
Tarih	Saat	Hız (km/sa)	Max. Hız (km/sa)
11.04.2014	12:30	15,1	24,5
11.04.2014	12:35	18,4	24,5
11.04.2014	12:40	16,9	25,2
11.04.2014	12:45	19,1	30,2
11.04.2014	12:50	17,3	24,5
11.04.2014	12:55	14,0	25,2
11.04.2014	13:00	17,3	24,5
11.04.2014	13:05	16,6	22,7
11.04.2014	13:10	16,2	23,4
11.04.2014	13:15	12,2	22,3
11.04.2014	13:20	11,5	23,8
11.04.2014	13:25	16,6	25,2
11.04.2014	13:30	15,8	28,8
11.04.2014	13:35	14,4	25,9
11.04.2014	13:40	15,8	23,8
11.04.2014	13:45	11,9	21,2
11.04.2014	13:50	11,5	19,4
11.04.2014	13:55	11,2	20,5
11.04.2014	14:00	15,1	22,3
11.04.2014	14:05	14,4	22,3
11.04.2014	14:10	13,0	19,1
11.04.2014	14:15	13,0	21,2
11.04.2014	14:20	9,7	19,4
11.04.2014	14:25	8,3	18,0
11.04.2014	14:30	8,3	21,2
11.04.2014	14:35	11,2	17,3
11.04.2014	14:40	9,4	19,8
11.04.2014	14:45	8,6	16,9
11.04.2014	14:50	7,2	15,1
11.04.2014	14:55	10,1	18,7
11.04.2014	15:00	10,4	19,8
11.04.2014	15:05	4,3	15,8
11.04.2014	15:10	8,6	18,0
11.04.2014	15:15	7,2	15,8
11.04.2014	15:20	8,3	15,1
11.04.2014	15:25	7,9	17,3
11.04.2014	15:30	10,4	17,3



Şekil 4.16. Kangal haddehanesi bacası sensör yerleşimleri

4.2.3. Sıcak Haddehane Su Deposu Deneyi

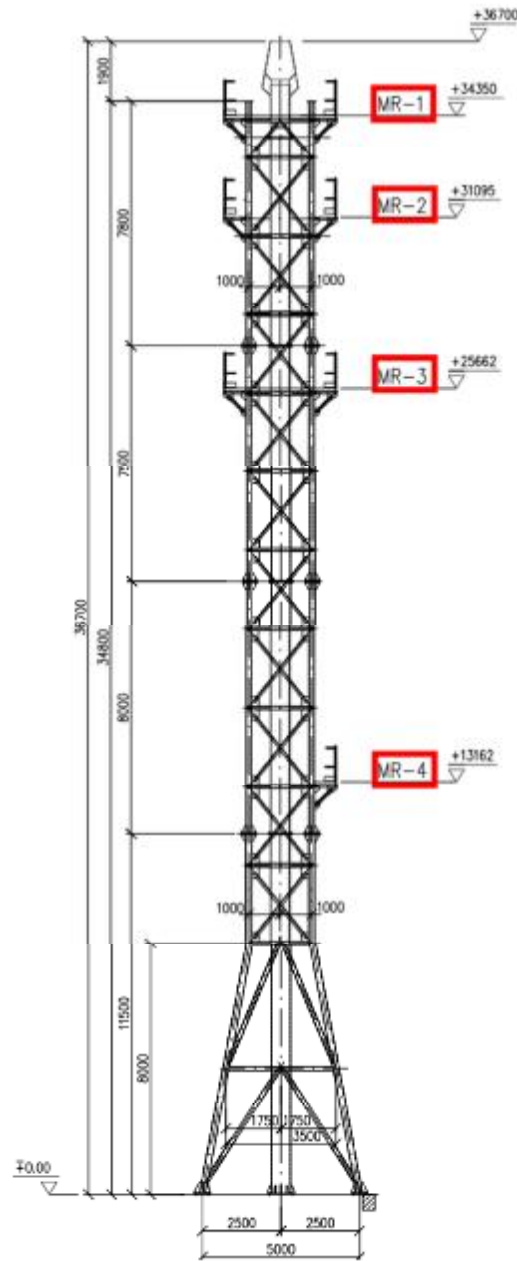
İSDEMİR Çelikhane ve Sürekli Dökümler tesislerine su temin etmek için yapılan su deposu 600'lük T şeklinde INP profilleri, 2×300'lük UNP diyagonal profilleri ve 10 m aks aralığı ile rijit bir görünüme sahiptir. Üretim prosesi uyarınca, slab döküm tesislerinden alınan slablar, slab ısıtma fırınlarında ısıtılarak sac üretimi için Sıcak Haddehane bantlarına gelmektedir. Burada diğer haddeleme mantıklarına benzer şekilde bir bant üzerinden geçerken preslenen slablar, soğutma suları ile birlikte istenilen kalınlıklara getirilmektedir. Slabların merdaneler ile sürekli ötelenmesi, zeminde hissedilir bir titreşim oluşturmakta ve su kulesi yapısı bu titreşimden direk olarak etkilenmektedir. Bunun dışında rüzgar yükleri bu deneyde salınım için belirleyici unsurlardan biri olmuştur. Sıcak haddehane yakma bacası ile yan yana olan yapı benzer dinamik etkilere maruz kaldığı için bu iki yapı için tek rüzgar şiddeti okuması yapılmıştır. Çizelge 4.4'de görülen değerler iki yapı için de dikkate alınabilir.



Şekil 4.17. Sıcak haddehane su deposu sensör yerleşimleri

4.2.4. Yakma Bacası Deneyi

Üretim prosesi gereğince sıcak haddehane kok gazı çevriminde fazla kok gazını yakmak için dizayn edilen baca taşıyıcı sistemi çelik borulardan oluşmaktadır. Ø 609,6 × 9,5 (DIN2458) boyutlu ana borudan gaz akışı sağlanmakta ve taşıyıcı borularla baca desteklenmektedir. Sıcak haddehane su deposu ile aynı bölgede inşa edilen yakma bacası da aynı dinamik etkilere maruz kalmaktadır (Şekil 4.18.).



Şekil 4.18. Yakma bacası sensör yerleşimleri

Sıcak haddehane yakma bacası ve su kulesi için ölçülen anlık rüzgar şiddeti Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Yakma bacası deneyi anlık rüzgar verileri

Tarih	Saat	Hız (km/sa)	Max. Hız (km/sa)
09.04.2014	16:00	6,8	19,4
09.04.2014	16:05	15,8	27,7
09.04.2014	16:10	7,2	20,5
09.04.2014	16:15	9,0	24,8
09.04.2014	16:20	11,5	28,1
09.04.2014	16:25	11,9	23,4
09.04.2014	16:30	13,0	25,2
09.04.2014	16:35	14,8	23,4
09.04.2014	16:40	14,0	26,6
09.04.2014	16:45	13,7	26,6
09.04.2014	16:50	9,7	21,6
09.04.2014	16:55	11,9	24,5
09.04.2014	17:00	5,4	14,0
09.04.2014	17:05	1,1	7,2
09.04.2014	17:10	4,3	13,0
09.04.2014	17:15	2,9	13,7
09.04.2014	17:20	6,8	19,1
09.04.2014	17:25	5,4	15,8
09.04.2014	17:30	3,6	15,8
09.04.2014	17:35	10,1	18,4
09.04.2014	17:40	7,2	19,8
09.04.2014	17:45	11,5	21,2
09.04.2014	17:50	9,0	19,1
09.04.2014	17:55	1,1	7,6
09.04.2014	18:00	0,7	6,5
09.04.2014	18:05	4,0	12,6
09.04.2014	18:10	2,5	10,4
09.04.2014	18:15	3,2	13,0
09.04.2014	18:20	1,1	7,6
09.04.2014	18:25	6,1	16,2
09.04.2014	18:30	4,0	14,0
09.04.2014	18:35	0,0	1,1
09.04.2014	18:40	3,6	11,5
09.04.2014	18:45	3,6	10,8

4.3. Deney Sonuçları

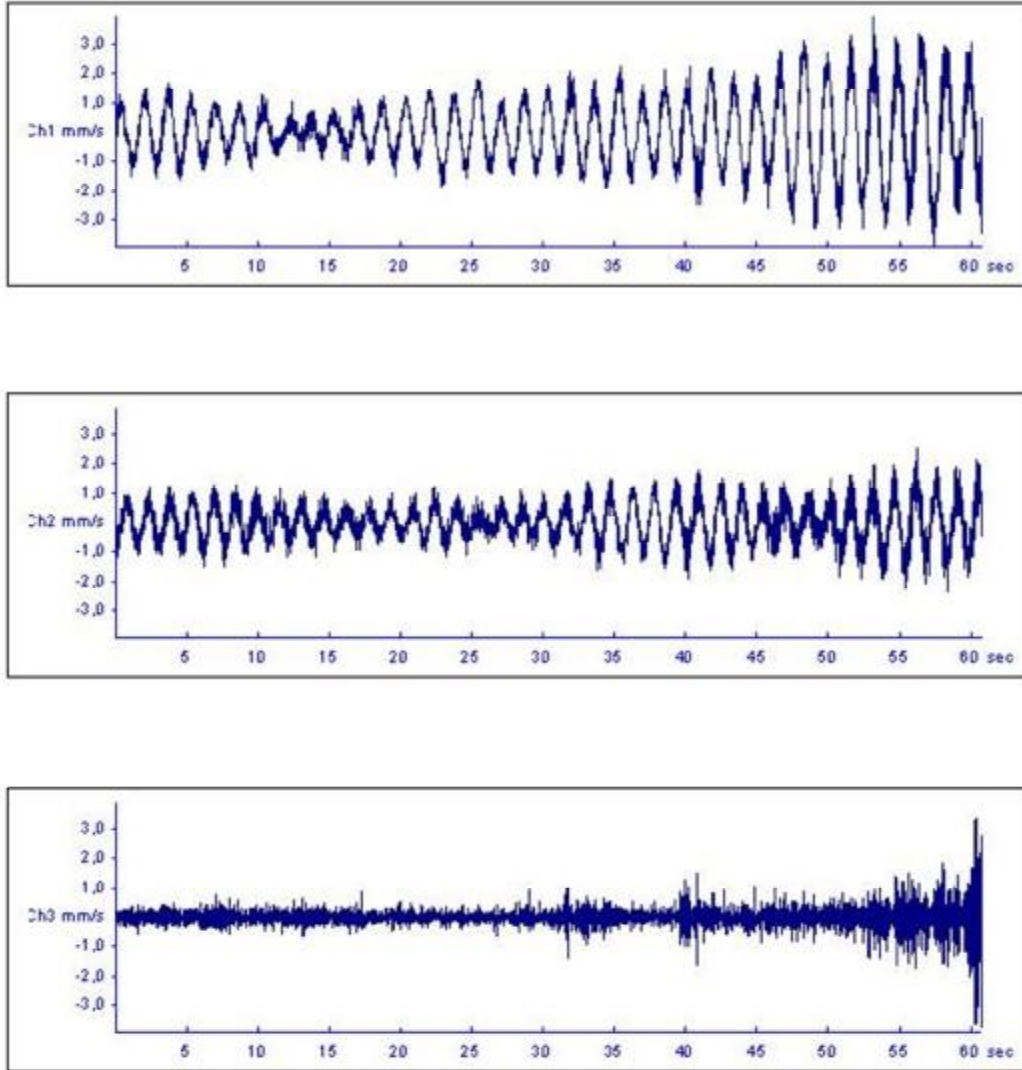
4.3.1. Data Analizi

Deneyler sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi VIEW2002 paket programı 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 işlenmesi 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 edilmesidir.

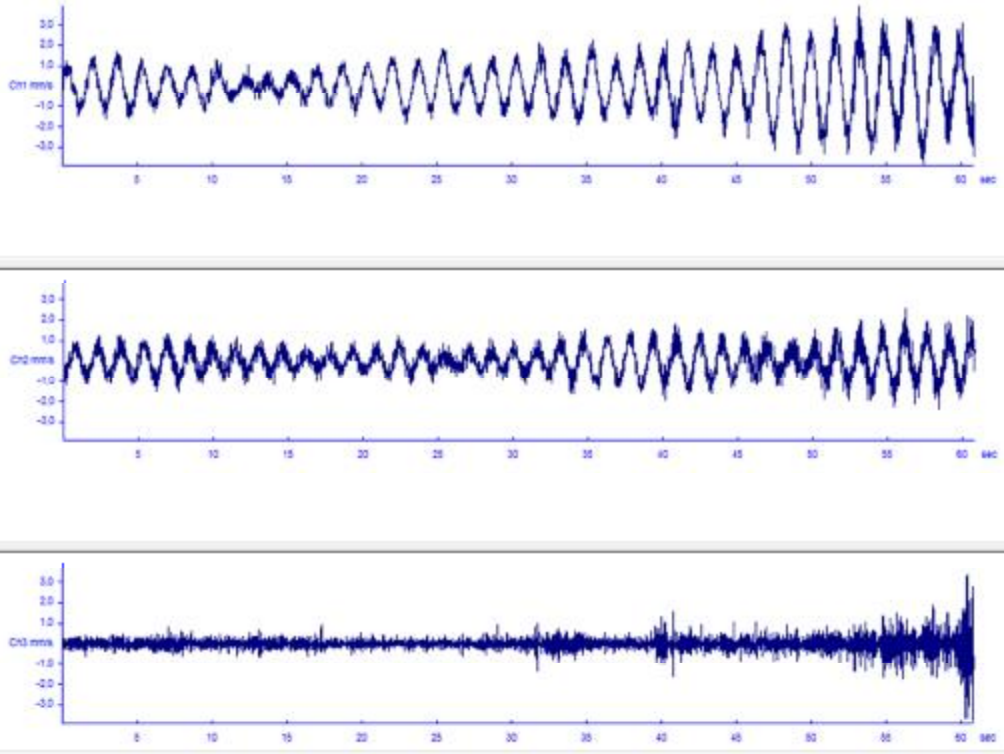
4.3.2. Modal Frekansların Bulunması

Yapının modal frekanslarının bulunmasının en basit yolu işlenmiş datanın Fourier transformunu almaktır. Fourier transform, esas olarak datanın sonlu sayıda sinüs eğrisinin genliklerini değiştirerek ve birbirine göre kaydırarak toplanmasına eşdeğer hale getirme işlemidir. Fourier transformunda genliğin maksimum olduğu frekanslar yapının modal frekansını gösterir (Şafak, 2007). Aşağıdaki şekilde örnek bir kayıt gösterilmektedir.

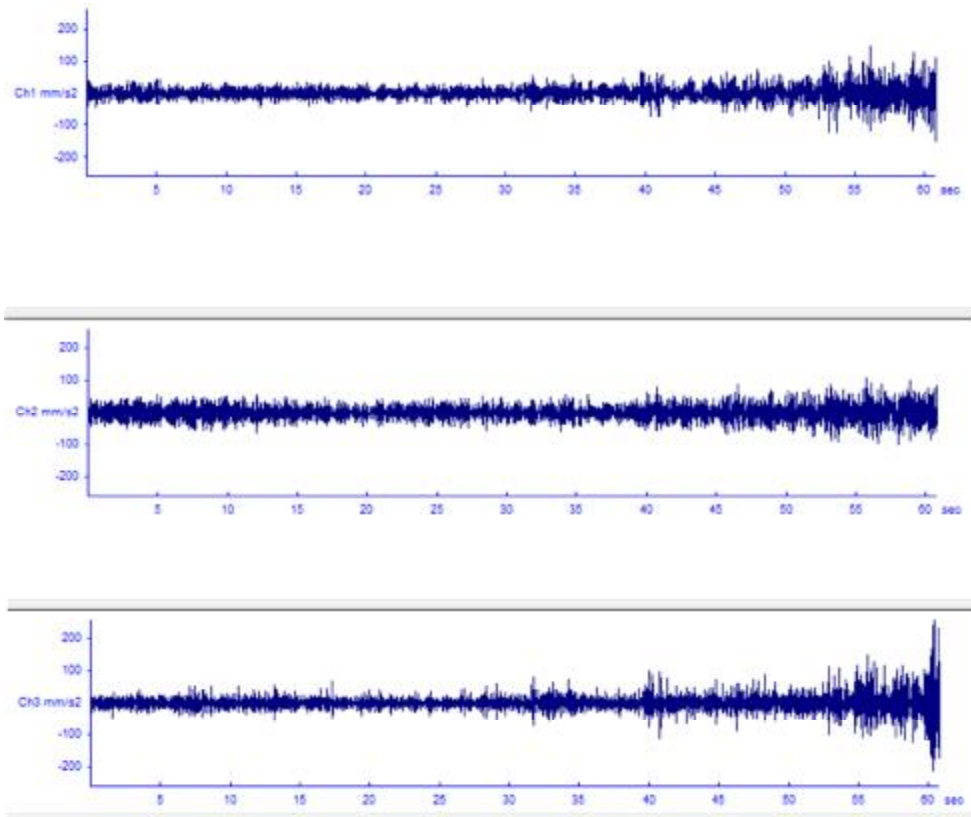


Şekil 4.19. Örnek ivme kaydı

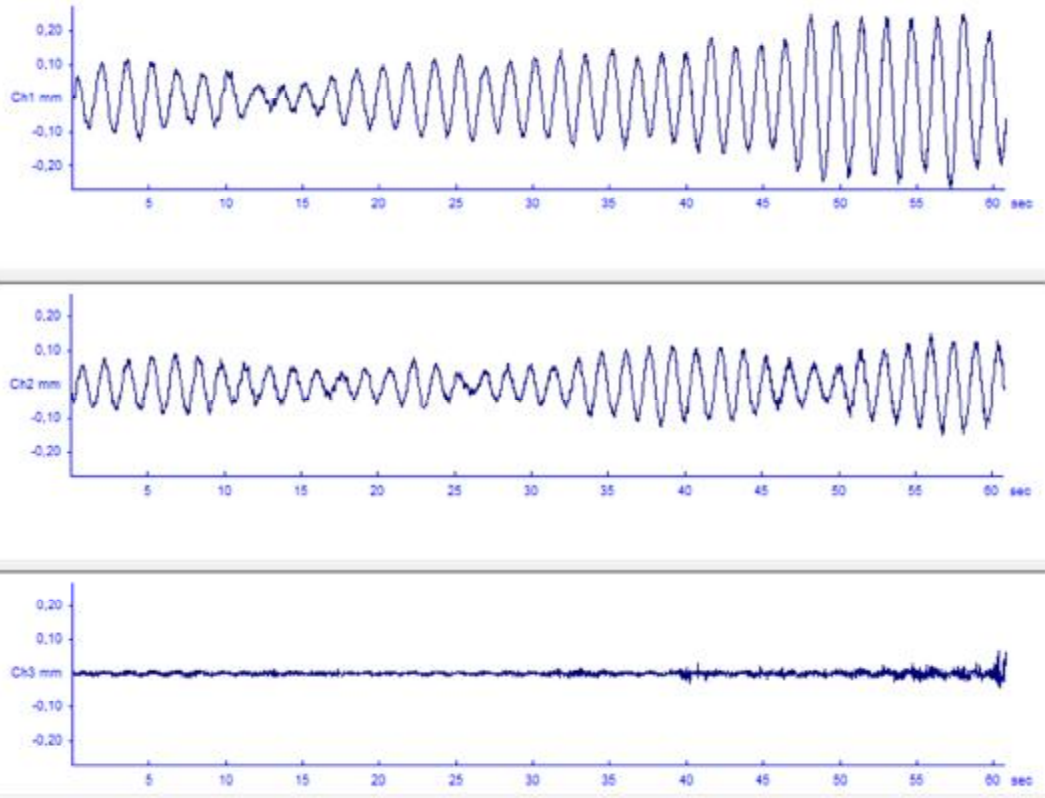
Deney verilerinin bilgisayar ortamında analizi sonucu kayıtlar oluşturulmuş ve her bir yapı için ayrı ayrı hız, ivme ve deplasman grafikleri oluşturulmuştur. MR adı verilen sensörlerden elde edilen grafikler aşağıda sıralanmaktadır:



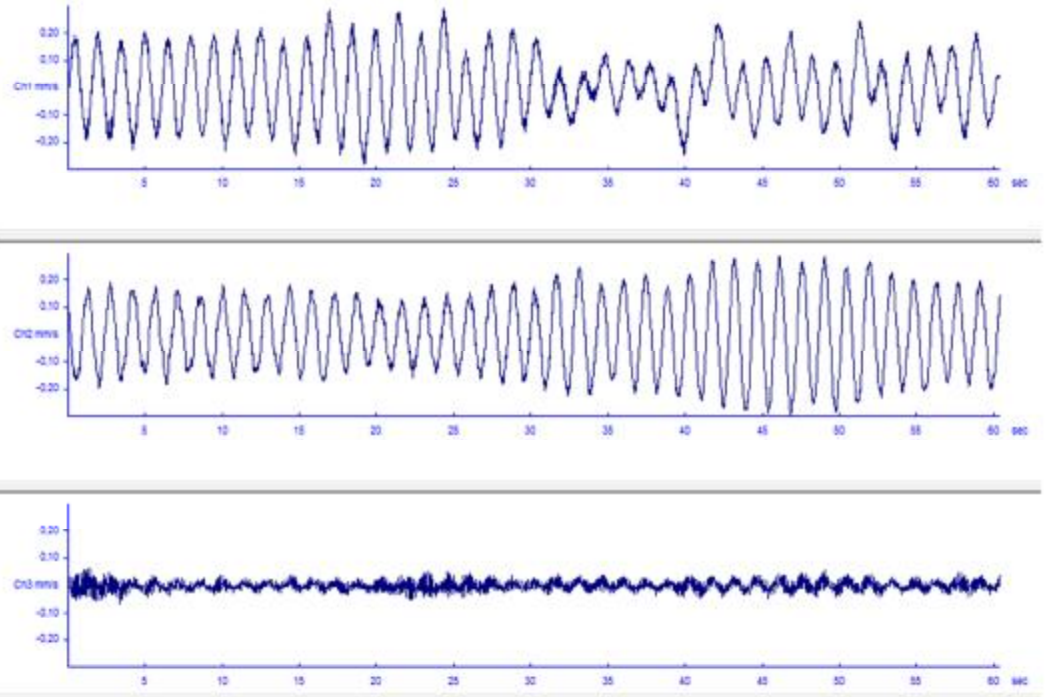
Şekil 4.20. 3.YF soba bacası hız grafiği



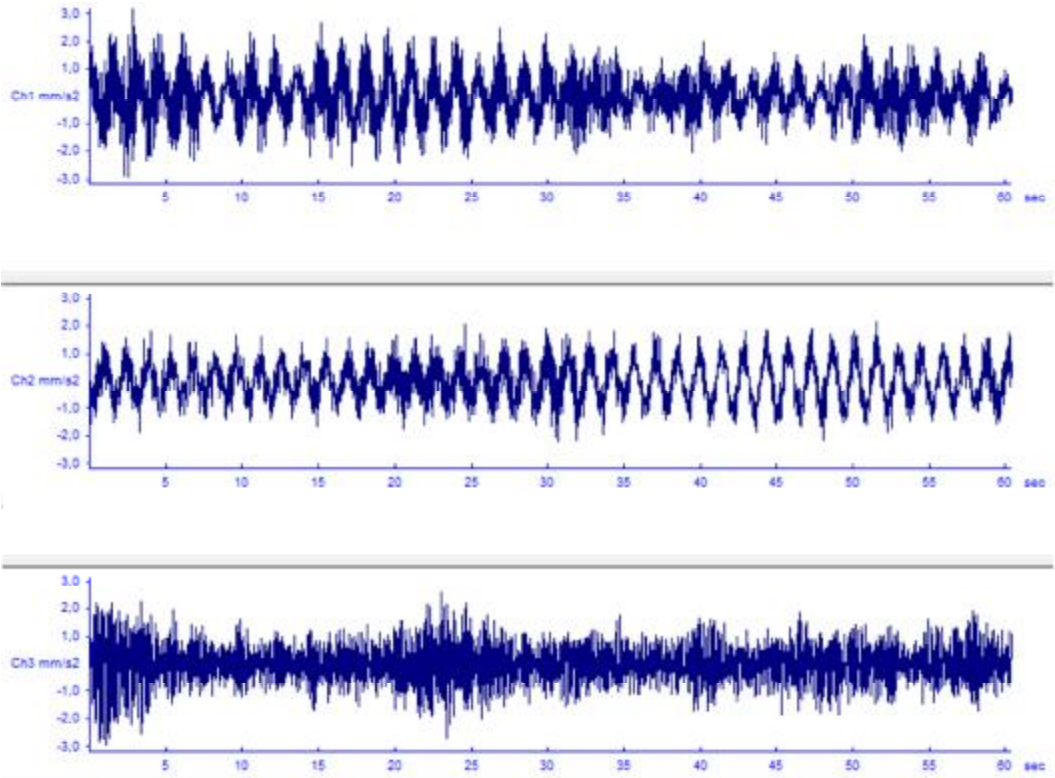
Şekil 4.21. 3.YF soba bacası ivme grafiği



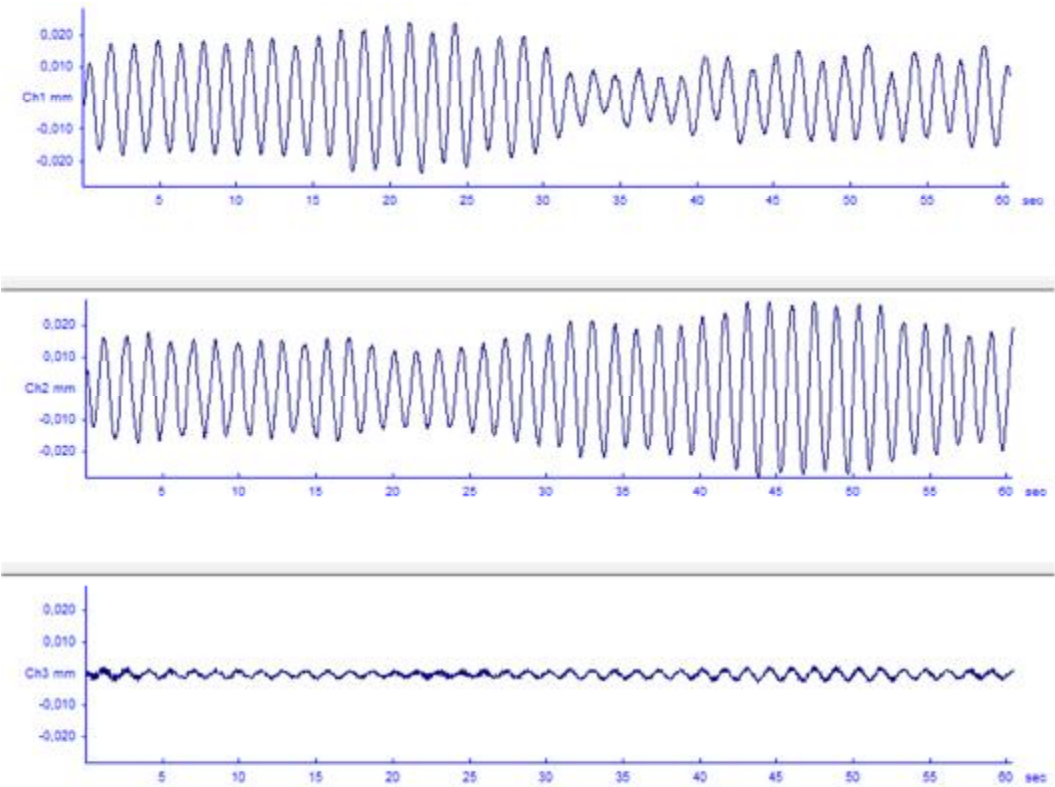
Şekil 4.22. 3.YF soba bacası deplasman grafiği



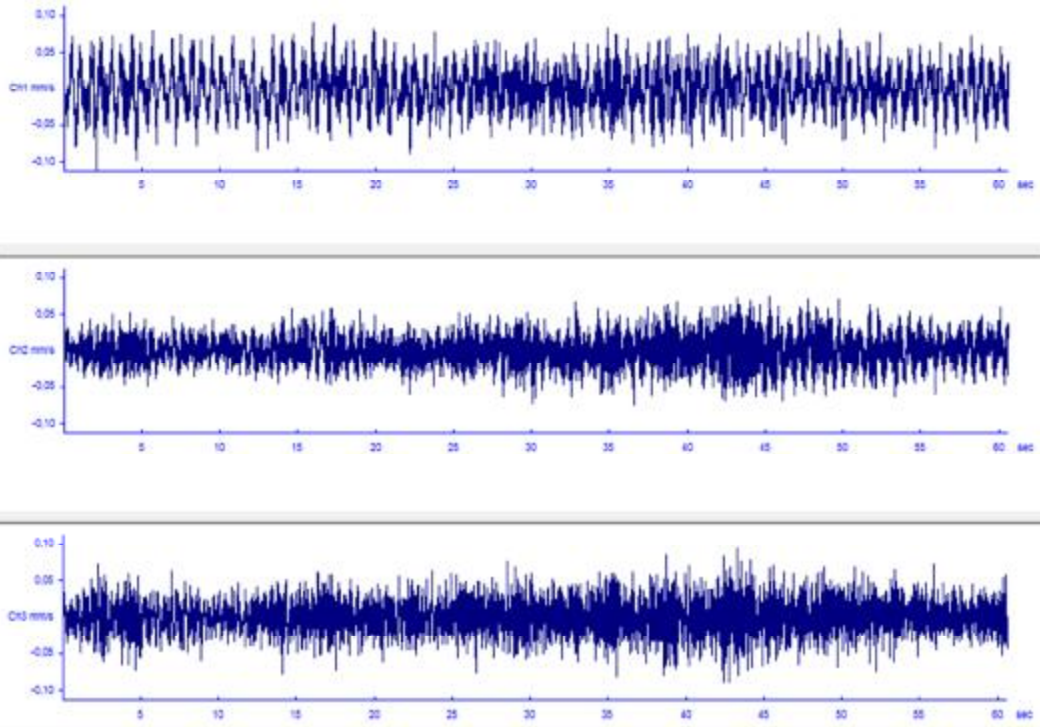
Şekil 4.23. Kangal haddehanesi bacası hız grafiği



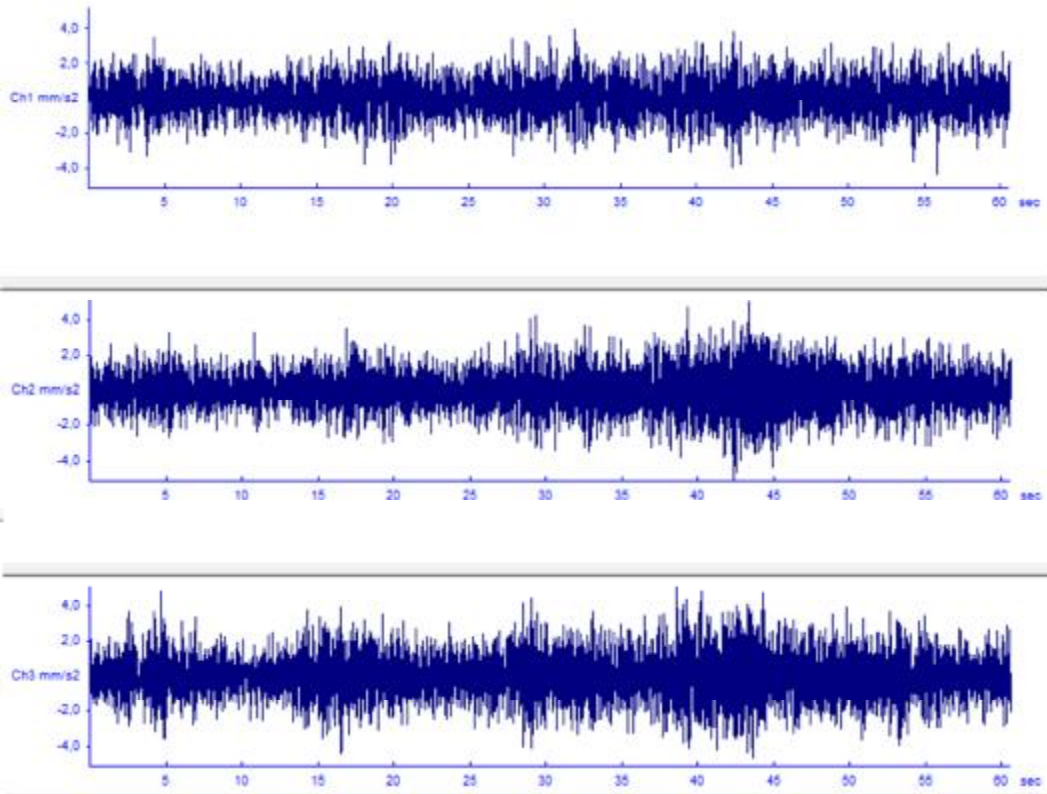
Şekil 4.24. Kangal haddehanesi bacası ivme grafiği



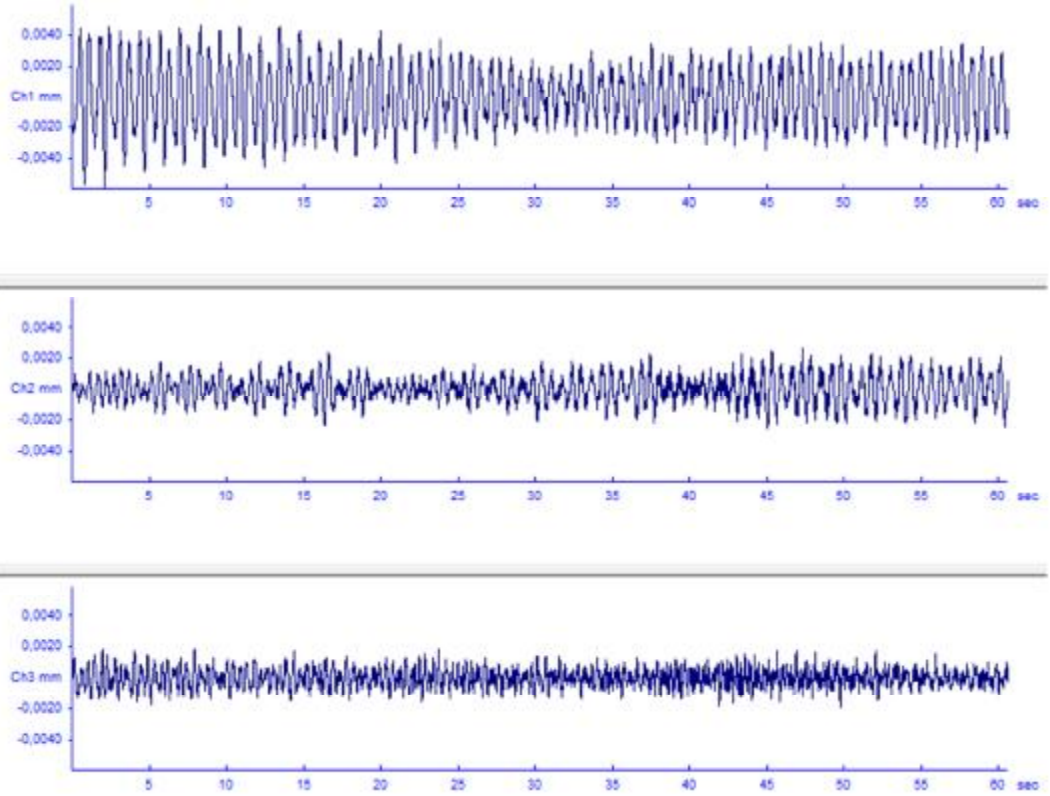
Şekil 4.25. Kangal haddehanesi bacası deplasman grafiği



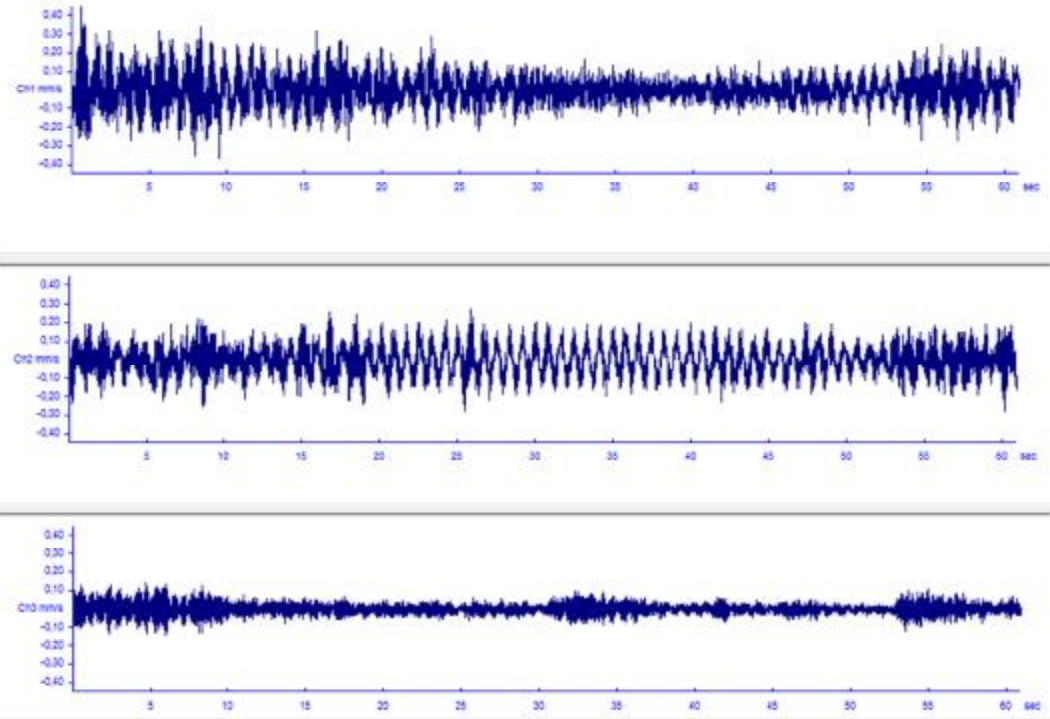
Şekil 4.26. Sıcak haddehane su deposu hız grafiği



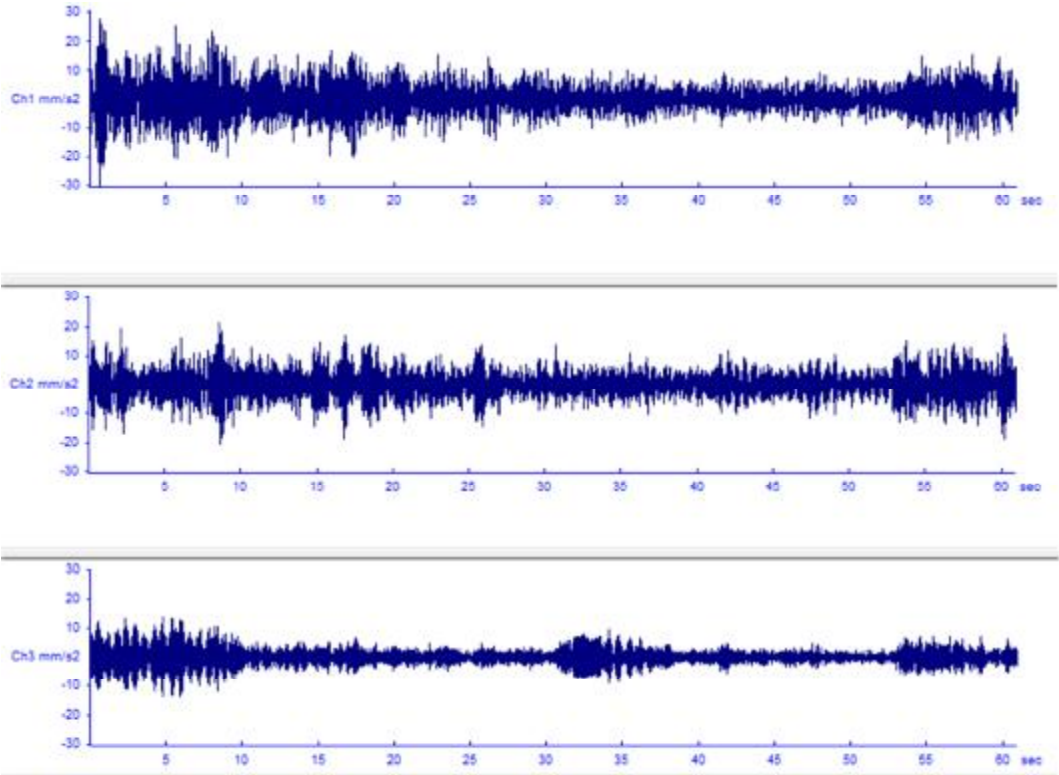
Şekil 4.27. Sıcak haddehane su deposu ivme grafiği



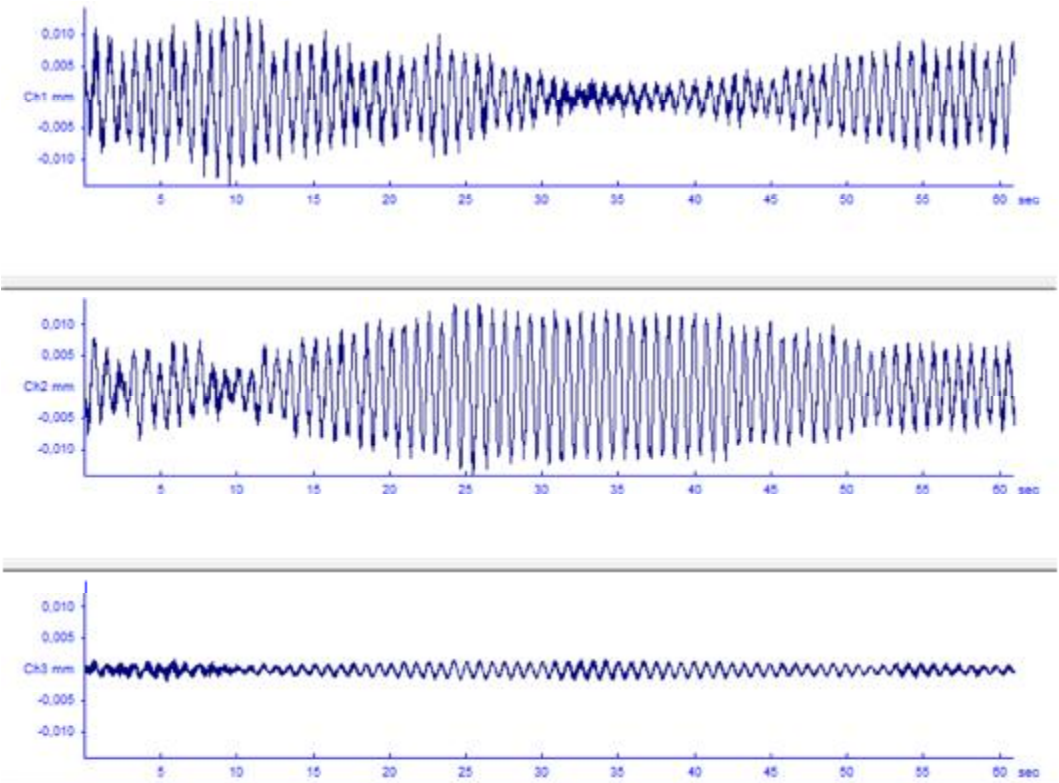
Şekil 4.28. Sıcak haddehane su deposu deplasman grafiği



Şekil 4.29. Yakma bacası hız grafiği

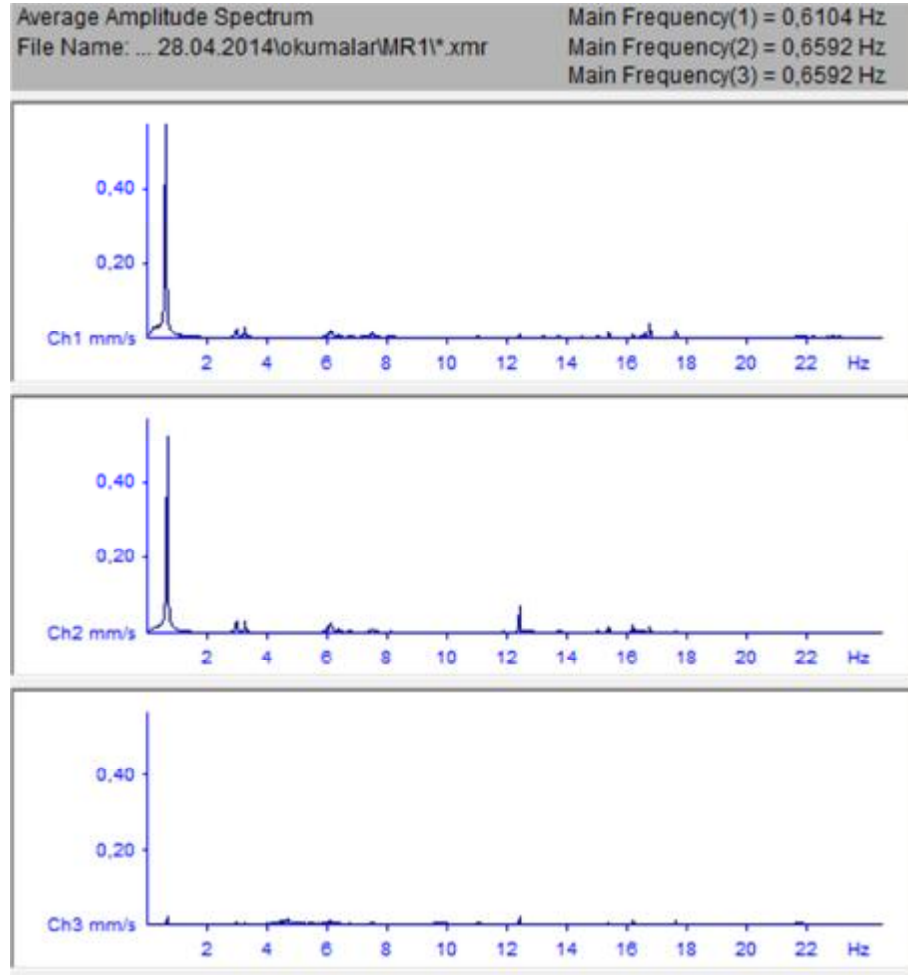


Şekil 4.30. Yakma bacası ivme grafiği

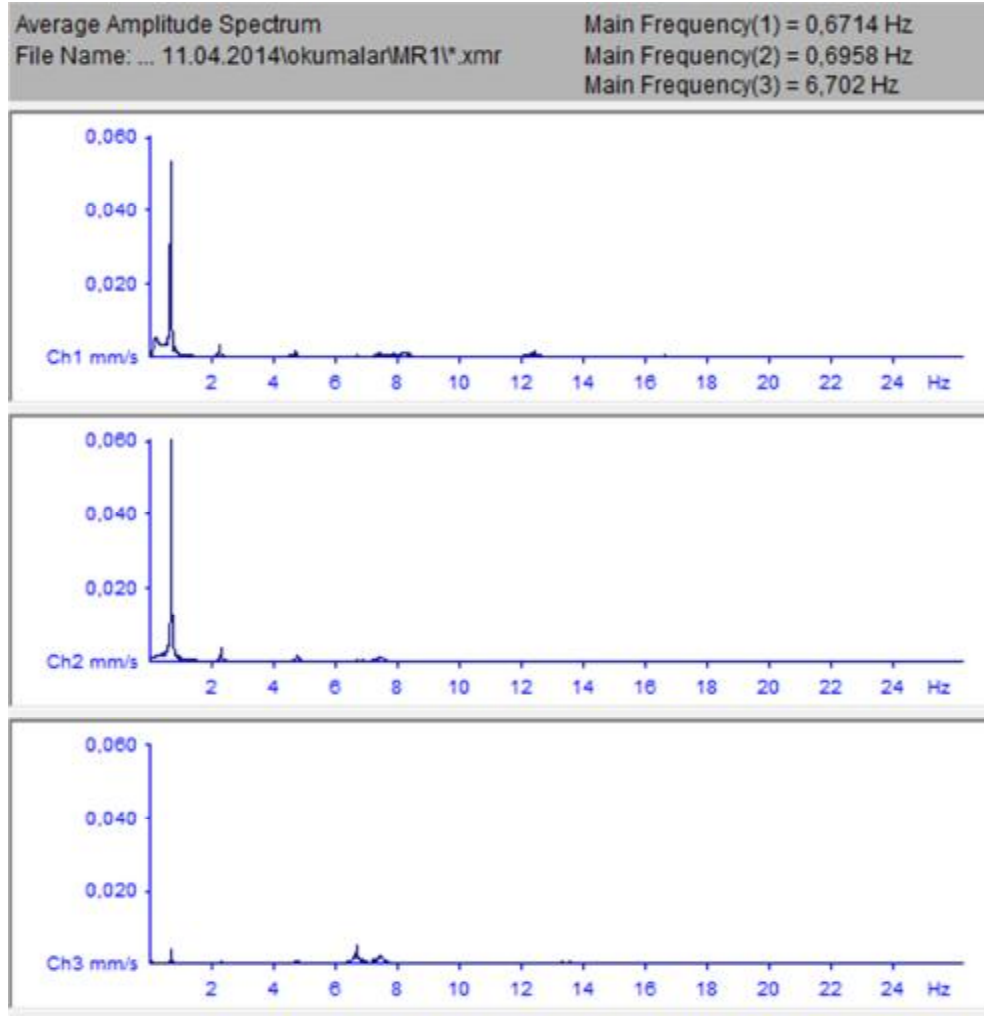


Şekil 4.31. Yakma bacası deplasman grafiği

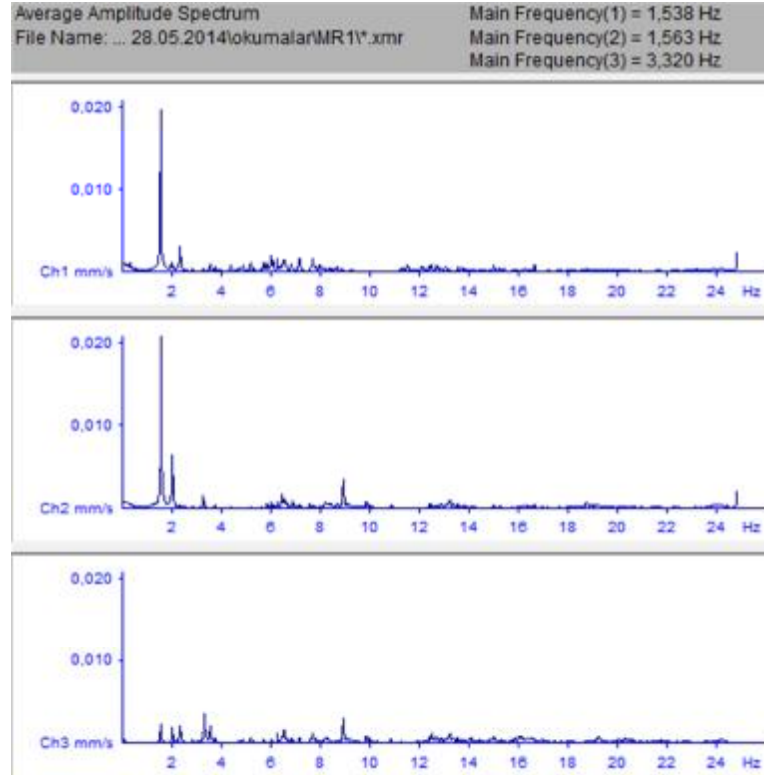
Deney sonucu elde edilen kayıtlar VIEW2002 paket programı ile analiz edilerek her bir yapının hakim frekans değerleri grafik ve çizelge halinde aşağıda sunulmuştur.



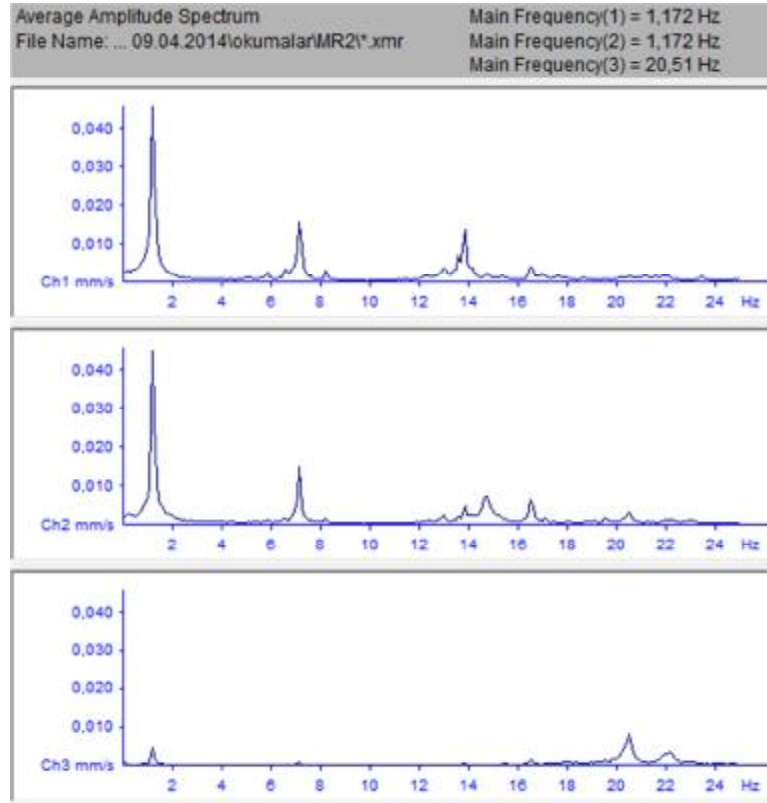
Şekil 4.32. 3.YF soba bacası hakim frekansı



şekil 4.33. Kangal haddehanesi bacası hakim frekansı



Şekil 4.34. Sıcak haddehane su deposu hakim frekansı

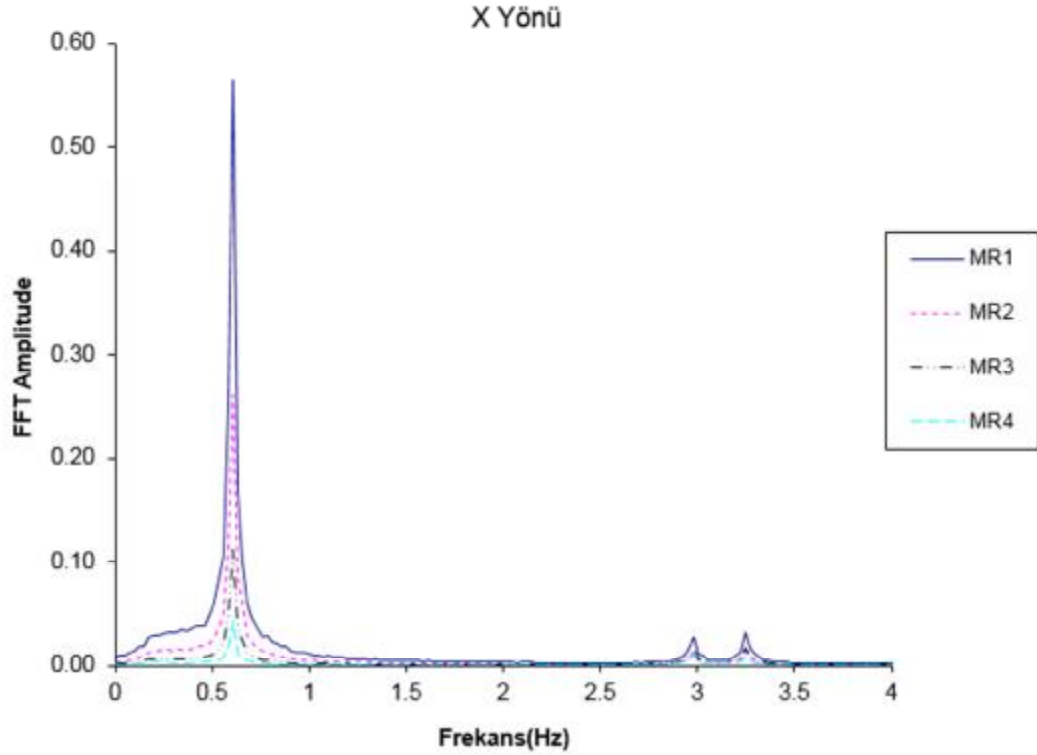


Şekil 4.35. Yakma bacası hakim frekansı

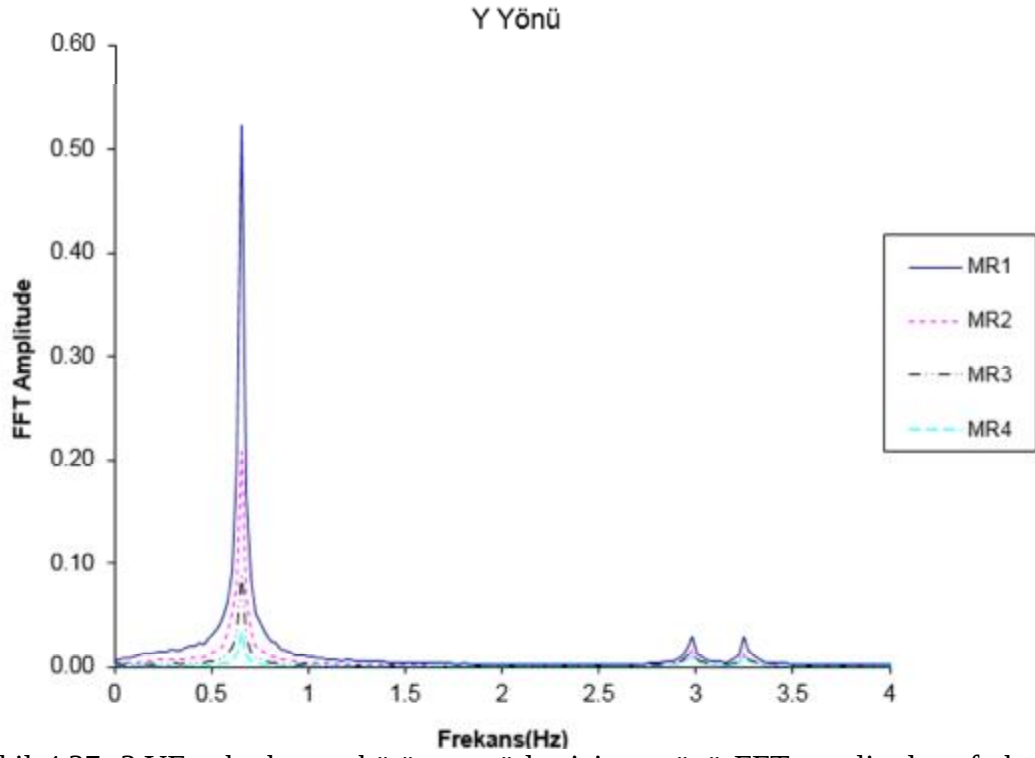
Çizelge 4.5. Deney sonucu elde edilen hakim frekans değerleri

3.YF Soba Bacası			
	1.Main Frekans(Hz)	2.Main Frekans(Hz)	3.Main Frekans(Hz)
MR1	0,610	0,659	0,659
MR2	0,610	0,659	12,430
MR3	0,610	0,659	0,659
MR4	0,610	0,659	0,659
Kangal Bacası			
	1.Main Frekans(Hz)	2.Main Frekans(Hz)	3.Main Frekans(Hz)
MR1	0,671	0,696	6,702
MR2	0,671	0,696	0,696
MR3	0,671	0,696	0,696
MR4	0,183	0,122	0,696
Su Deposu			
	1.Main Frekans(Hz)	2.Main Frekans(Hz)	3.Main Frekans(Hz)
MR1	1,538	1,563	3,320
MR2	1,538	1,563	1,538
MR3	1,538	1,563	1,538
MR4	1,538	1,563	1,538
MR5	4,370	4,370	0,024
Yakma Bacası			
	1.Main Frekans(Hz)	2.Main Frekans(Hz)	3.Main Frekans(Hz)
MR1	1,172	1,172	20,510
MR2	1,172	1,172	20,510
MR3	1,221	1,221	20,510
MR4	1,221	1,221	20,510

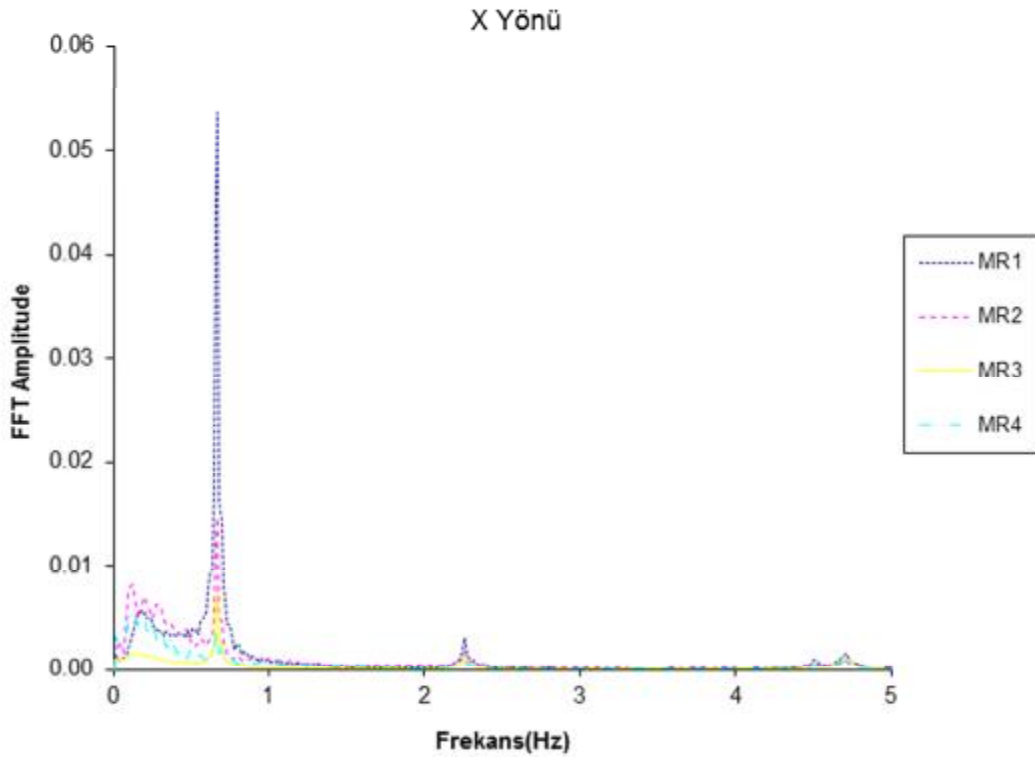
DeneySEL verilerinin tek bir grafikte karşılaştırılması için MR adı verilen sensörlerden elde edilen kayıtlar VIEW2002 programı yardımı ile liste haline dönüştürülmüş ve tüm yapılar için bütün sensörlerin karşılaştırılması Şekil 4.36-4.43’de görülmektedir.



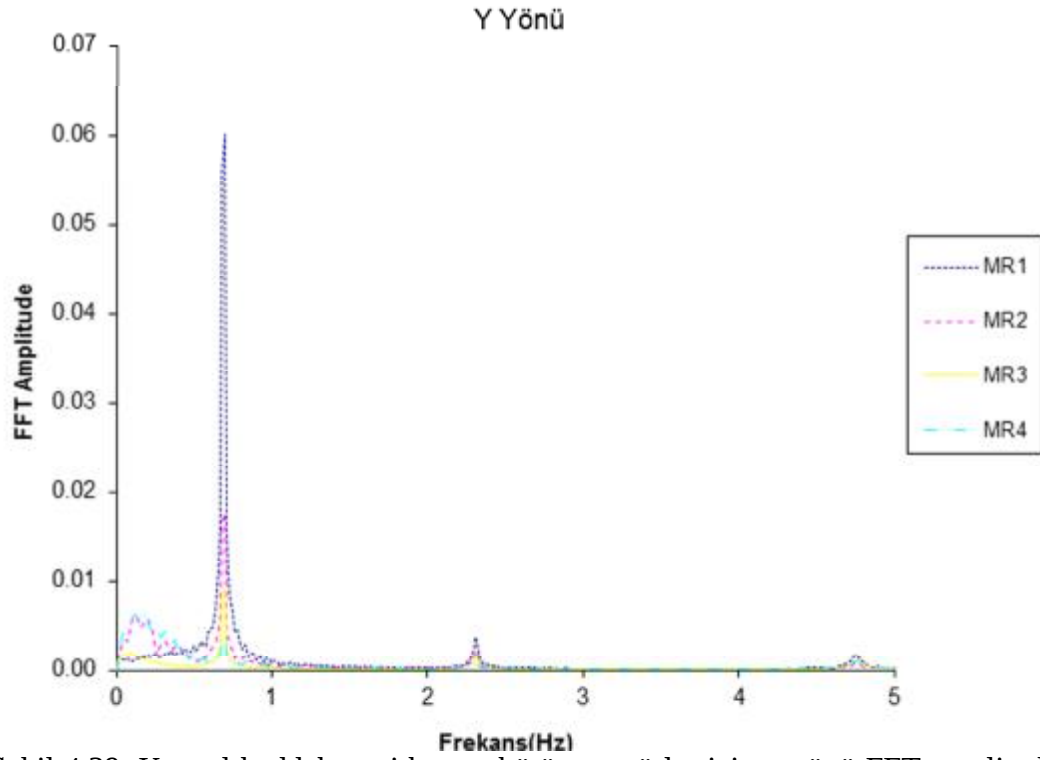
Şekil 4.36. 3.YF soba bacası bütün sensörler için x yönü FFT amplitude – frekans grafiği



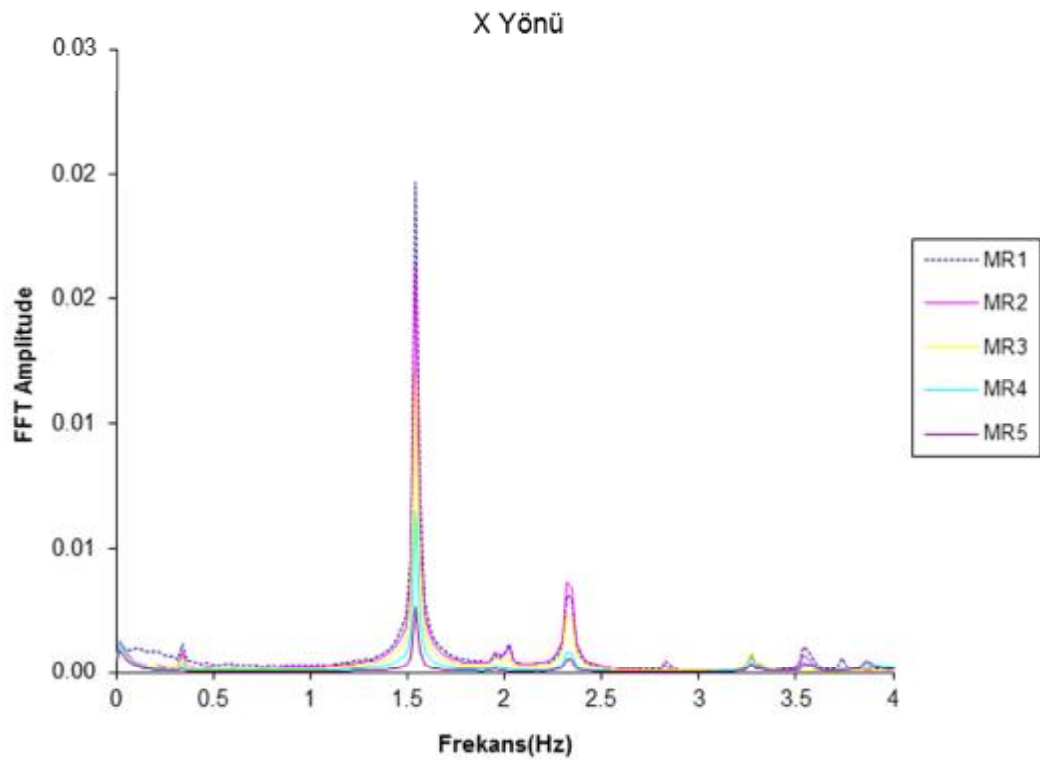
Şekil 4.37. 3.YF soba bacası bütün sensörler için y yönü FFT amplitude – frekans grafiği



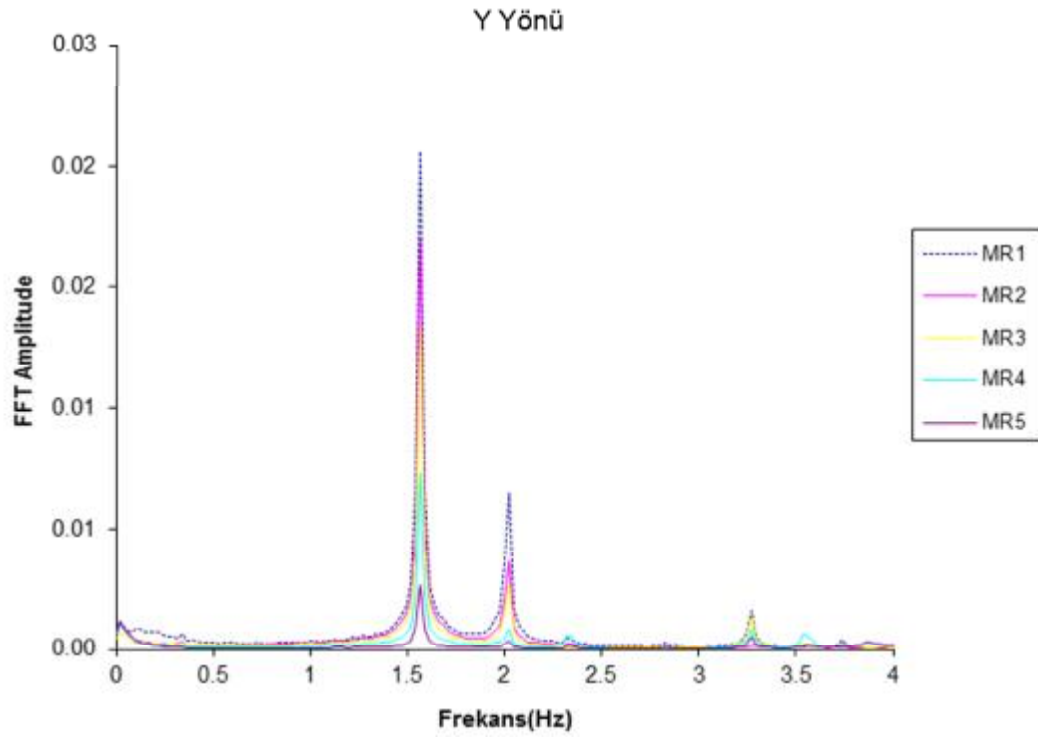
Şekil 4.38. Kangal haddehanesi bacası bütün sensörler için x yönü FFT amplitude – frekans grafiği



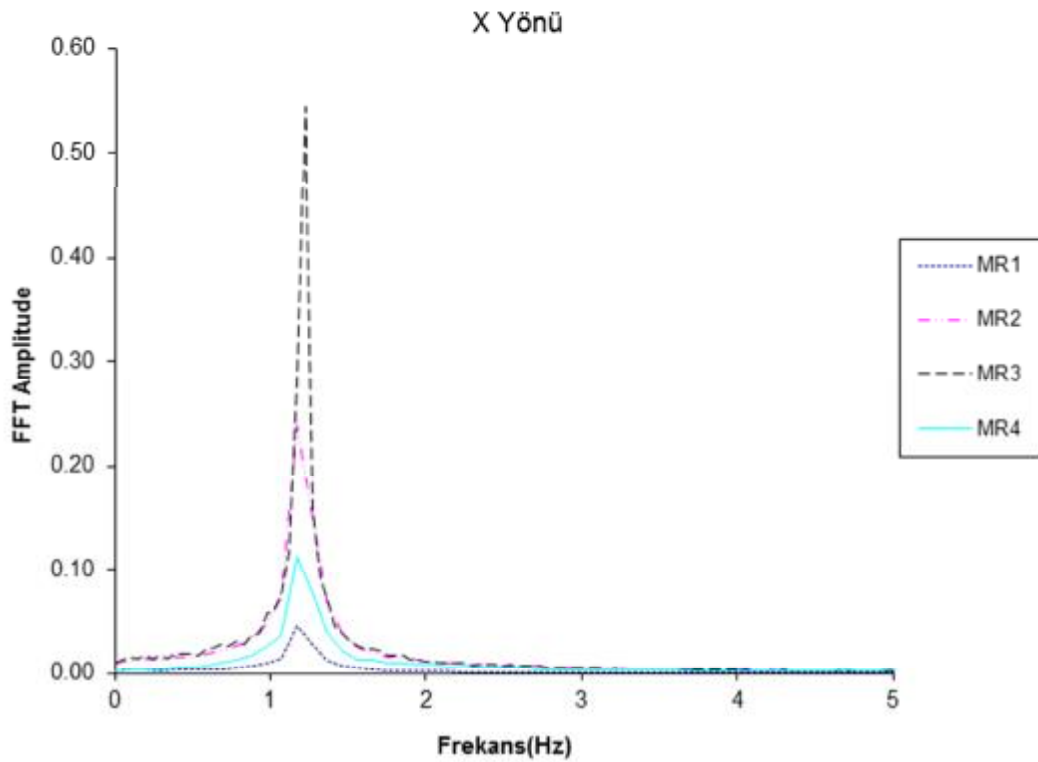
Şekil 4.39. Kangal haddehanesi bacası bütün sensörler için y yönü FFT amplitude – frekans grafiği



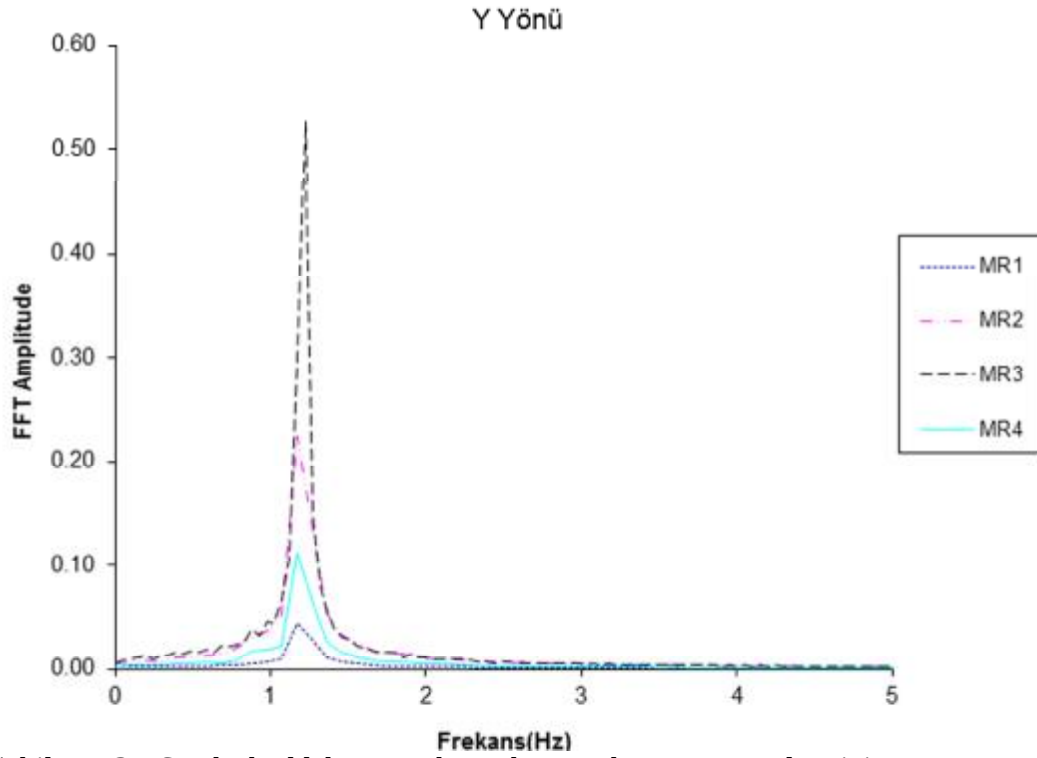
Şekil 4.40. Sıcak haddehane su kulesi bütün sensörler için x yönü FFT amplitude – frekans grafiği



Şekil 4.41. Sıcak haddehane su kulesi bütün sensörler için y yönü FFT amplitude – frekans grafiği



Şekil 4.42. Sıcak haddehane yakma bacası bütün sensörler için x yönü FFT amplitude – frekans grafiği

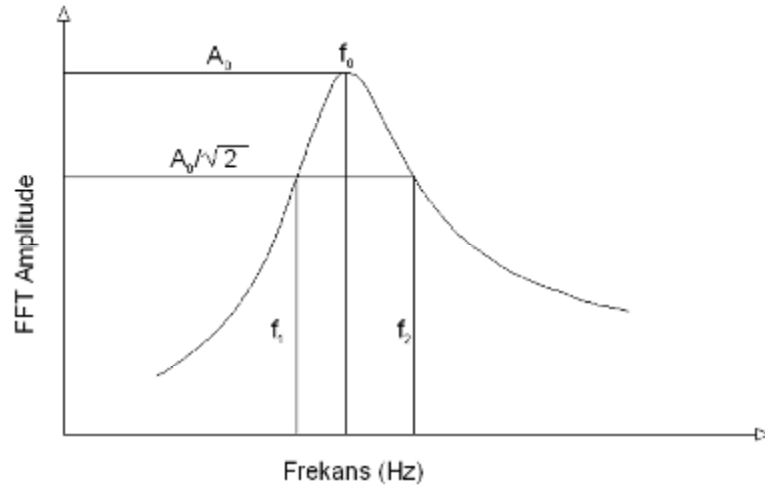


Şekil 4.43. Sıcak haddehane yakma bacası bütün sensörler için y yönü FFT amplitude – frekans grafiği

4.3.3. Sönüm Oranlarının Bulunması

Modal sönüm oranları her moda karşı gelen filtrelenmiş kayıtları kullanarak tayin edilebilir. Genelde sönüm 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 olmayıp tutarlı 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):

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



Şekil 4.44. Frekans – tepki eğrisi ile sönüm oranının bulunması

View 2002 programına girilen datalardan elde edilen sonuçlar liste haline getirilerek grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerden A_0 değerine karşılık gelen f_1 ve f_2 değerleri okunarak (4.1) denkleminde yerine konulmuştur. Denklem sonucunda bütün yapılar için x yönü sensör verilerine göre sönüm oranları hesap edilmiştir.

3.YF soba bacası için sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir:

$$x = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} = \frac{0,03809 - 0,02730}{2 \cdot 0,5653} = \%0,95 \quad (4.2)$$

Kangal haddehanesi bacası için sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir:

$$x = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} = \frac{0,00065 - 0,00027}{2 \cdot 0,00741} = \%2,58 \quad (4.3)$$

Sıcak haddehane su deposu için sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir:

$$x = \frac{f_2 - f_1}{2f_0} = \frac{0,00069 - 0,00029}{2 \cdot 0,01969} = \%1,00 \quad (4.4)$$

Sıcak haddehane yakma bacası için sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesap edilmiştir:

$$x = \frac{f_2 - f_1}{2 f_0} = \frac{0,00590 - 0,00585}{2 \cdot 0,04555} = \%0,06 \quad (4.5)$$

4.4. Model Sonuçları

4.4.1.3. YF Soba Bacası

Deneyisel verilerin karşılaştırılabilmesi açısından 3. yüksek fırın (3.YF) Bacasının, sonlu elemanlar yöntemini temel alan yapısal analiz programı SAP2000 ile modellemesi yapılmıştır. Modelleme çalışmalarında elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Modelde, temel, perde, refrakter ve sac elemanlar ayrı olarak tanımlanmıştır. İki ayrı yüzeyin beraber hareket etmesini sağlamak amacı ile link elemanlar kullanılmıştır. Aşağıda model girdilerinden örnekler yer almaktadır:

Çizelge 4.6. 3.YF soba bacası shell eleman özellik çizelgesi

Kesit	Malzeme	Alan Tipi	Tip	Kalınlık (m)
10mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,01
12mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,012
14mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,014
16mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,016
18mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,018
20mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,02
25mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,025
refrakter	refrakter	Shell	Shell-Thick	0,26
temel	C30	Shell	Plate-Thick	0,80

General Data	
Material Name and Display Color	Q235 ■
Material Type	Steel ▼
Material Notes	<button>Modify/Show Notes...</button>

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	7.849E-03	Kgf, cm, C ▼
Mass per Unit Volume	8.004E-06	

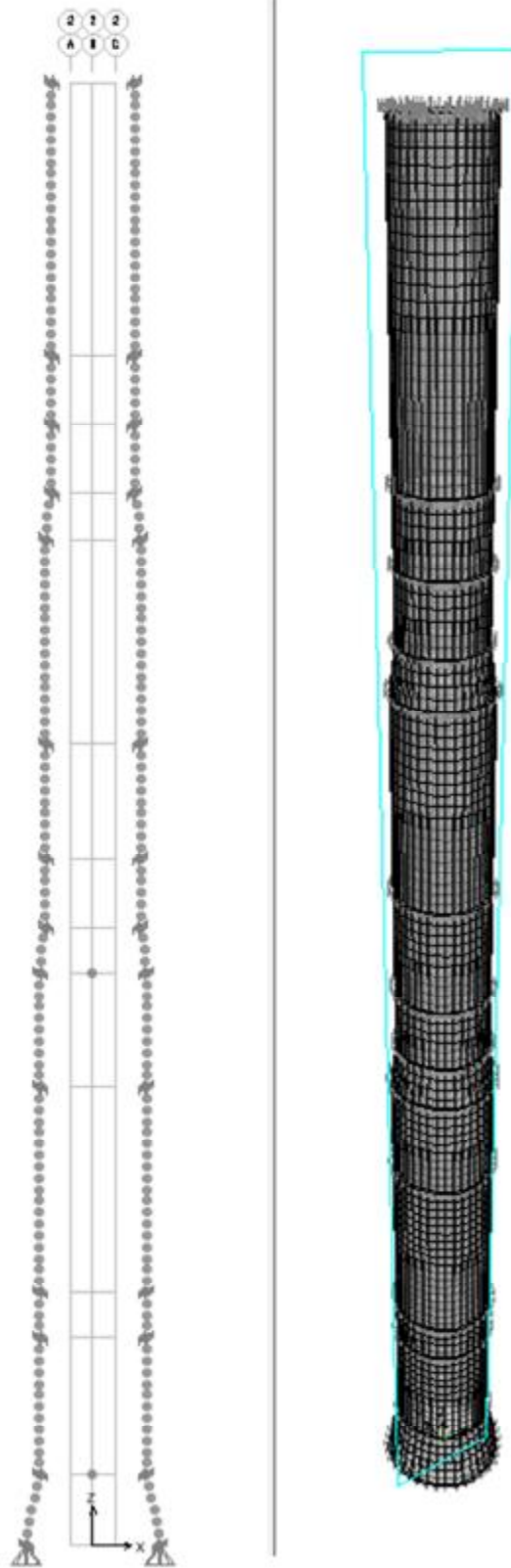
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2039432.4
Poisson	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	784397.1

Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	2396.3331
Minimum Tensile Stress, Fu	3976.8931
Effective Yield Stress, Fye	2635.9664
Effective Tensile Stress, Fue	4374.5825

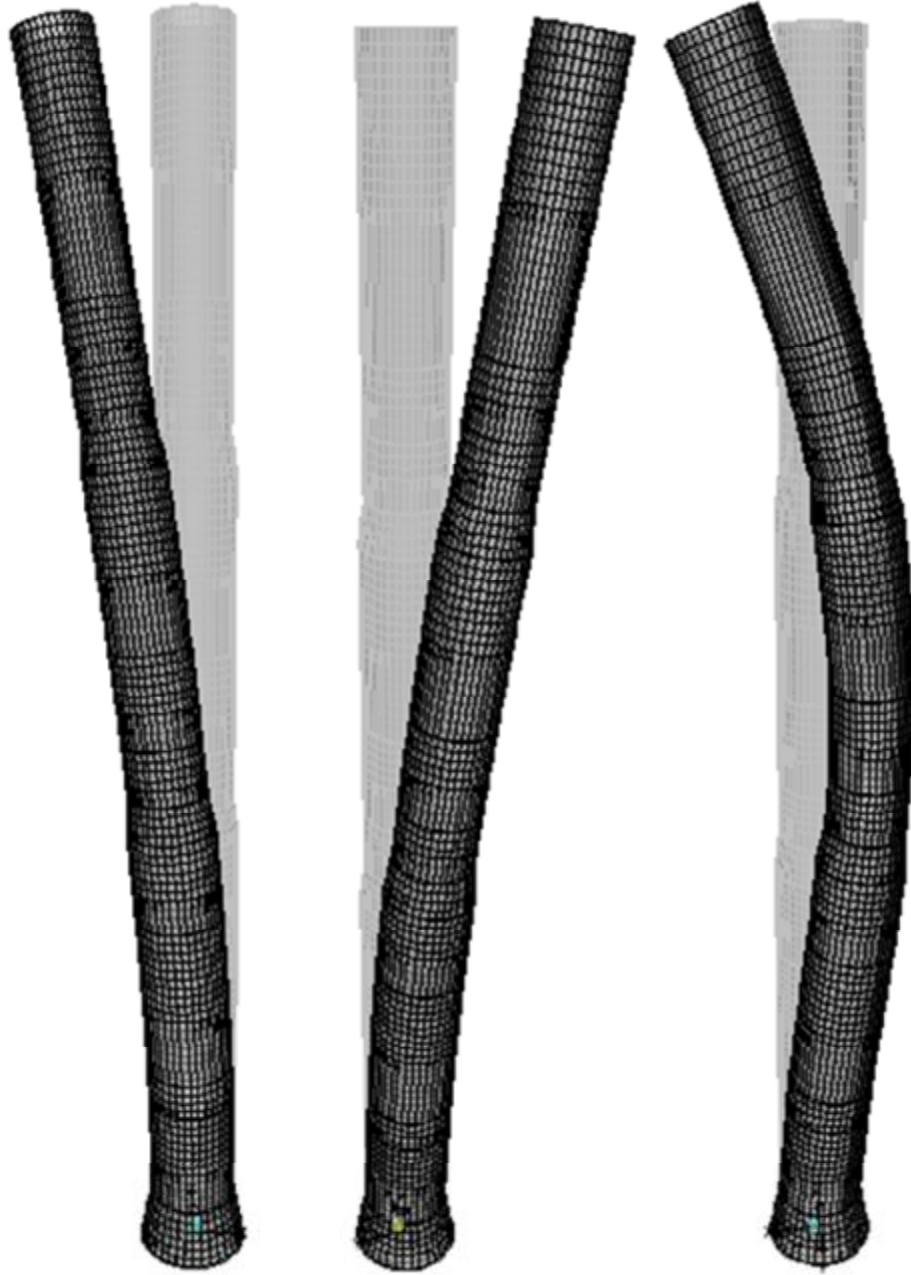
☐ Switch To Advanced Property Display

Şekil 4.45. 3.YF soba bacası malzeme özelliği girdileri

Malzeme ve kesit özellikleri tanımlandıktan sonra yapı modellenmiştir.



şekil 4.46. 3.YF soba bacası model görünüşleri



Şekil 4.47. 3.YF soba bacası detayı ve mod şekilleri

Çizelge 4.7. 3. Yüksek Fırın Soba Bacası Model Sonucu Elde Edilen Hakim Frekans Değerleri

No	Frekans (Hz)	Frekans (Hz)
	Model	Deney
1. Mod	0,64	0,610
2. Mod	0,64	0,659

4.4.2. Kangal Haddehanesi Bacası

Tuğla baca SAP2000 paket programı ile modellenmiştir. Tüm diğer yığma yapılarda olduğu gibi model sırasında karşılaşılan en önemli problem malzeme özelliklerinin gerçekçi olarak belirlenmesidir. Malzeme özelliklerinin net olarak bilinmemesi, yıllar önce imal edilmiş olması sebebiyle zamanla malzeme davranışında meydana gelen bozulmaların da değerlendirilmesi konusunda ciddi sıkıntılar yaşanmıştır. Bacanın sadece tuğla ile imal edilmemesi aynı zamanda aralara donatı yerleştirilmesi sebebiyle de özel bir imalat olup malzeme kabulünde güçlükler yaşanmıştır. Baca imalatında kullanılan tuğlaların refrakter tuğlası olarak adlandırılan ısıya dayanıklı özel bir malzemeden yapılması sebebiyle de malzeme özelliklerinin tespitinde zorluklar yaşanmıştır.

Bacanın duvar kalınlığı yükseklik boyunca değişmektedir. Bilgisayar ortamında model oluşturulurken bu kalınlık değişimi göz önüne alınmıştır. Yukarıya doğru değişen kalınlık oranları ve sonlu elemanlar modeli Şekil 4.48’de görülmektedir.



Şekil 4.48. Kangal haddehanesi bacası sonlu elemanlar modeli ve duvar kalınlığının değişimi

SAP2000 ile modellenirken shell elemanlar kullanılmıştır. Baca kesitleri için shell-thick tipi kullanılırken radye kısmında plate-thick tipi kullanılmıştır. Tüm yapı 3348 sonlu elemanla modellenmiştir. Z yönünde 1 m’de bir bölünen elemanlar x-y yönünde 0,5 m’de bir bölünmüştür. Radye elemanları modellendikten sonra gerçeğe uygun şekilde u_1 ve u_2 ötelenmeleri ile r_3 dönmesi tutulmuştur. Mevcut yüksekliğin verilebilmesi için radye gerçek kotunda modellendikten sonra iki noktalı link elemanlar ile ilişkilendirilmiştir. Link elemanların bütün ötelenmeleri ve momentleri

eşdeğer seçilmiş ve bağladığı noktaların aynı özelliği göstermesi sağlanmıştır. Aşağıda model girdilerinden örnekler yer almaktadır:

The image shows a software interface for defining material properties. It is divided into several sections: 'General Data', 'Weight and Mass', 'Isotropic Property Data', and 'Other Properties for Concrete Materials'. The 'General Data' section includes fields for 'Material Name and Display Color' (set to 'refrakter' with a blue color swatch), 'Material Type' (set to 'Concrete'), and a 'Material Notes' button labeled 'Modify/Show Notes...'. The 'Weight and Mass' section has input fields for 'Weight per Unit Volume' (2.403E-03) and 'Mass per Unit Volume' (2.450E-06), along with a 'Units' dropdown menu set to 'Kgf, cm, C'. The 'Isotropic Property Data' section contains input fields for 'Modulus of Elasticity, E' (52400.), 'Poisson' (0.2), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (9.900E-06), and 'Shear Modulus, G' (21833.333). The 'Other Properties for Concrete Materials' section includes a field for 'Specified Concrete Compressive Strength, f_c' (203.9432), a checkbox for 'Lightweight Concrete' (unchecked), and a 'Shear Strength Reduction Factor' field. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	refrakter
	Material Type	Concrete
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	2.403E-03
	Mass per Unit Volume	2.450E-06
Isotropic Property Data	Modulus of Elasticity, E	52400.
	Poisson	0.2
	Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
	Shear Modulus, G	21833.333
Other Properties for Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, f _c	203.9432
	Lightweight Concrete	☐
	Shear Strength Reduction Factor	

Şekil 4.49. Kangal haddehanesi bacası malzeme özelliği girdileri

Çizelge 4.8. Kangal haddehanesi bacası shell eleman özellik çizelgesi

Kesit	Malzeme	Alan Tipi	Tip	Kalınlık (m)
0,617	Refrakter	Shell	Shell-Thick	0,617
0,762	Refrakter	Shell	Shell-Thick	0,762
0,993	Refrakter	Shell	Shell-Thick	0,993
1,128	Refrakter	Shell	Shell-Thick	1,128
1,359	Refrakter	Shell	Shell-Thick	1,359
1,494	Refrakter	Shell	Shell-Thick	1,494
1,755	Refrakter	Shell	Shell-Thick	1,755
perde	C20	Shell	Shell-Thick	1,84
radye	C20	Shell	Plate-Thick	2

Bacada kullanılan tuğla malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ultrasonik test cihazı ile ölçüm yapılmış ve malzeme özellikleri yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Şekil 4.50.).



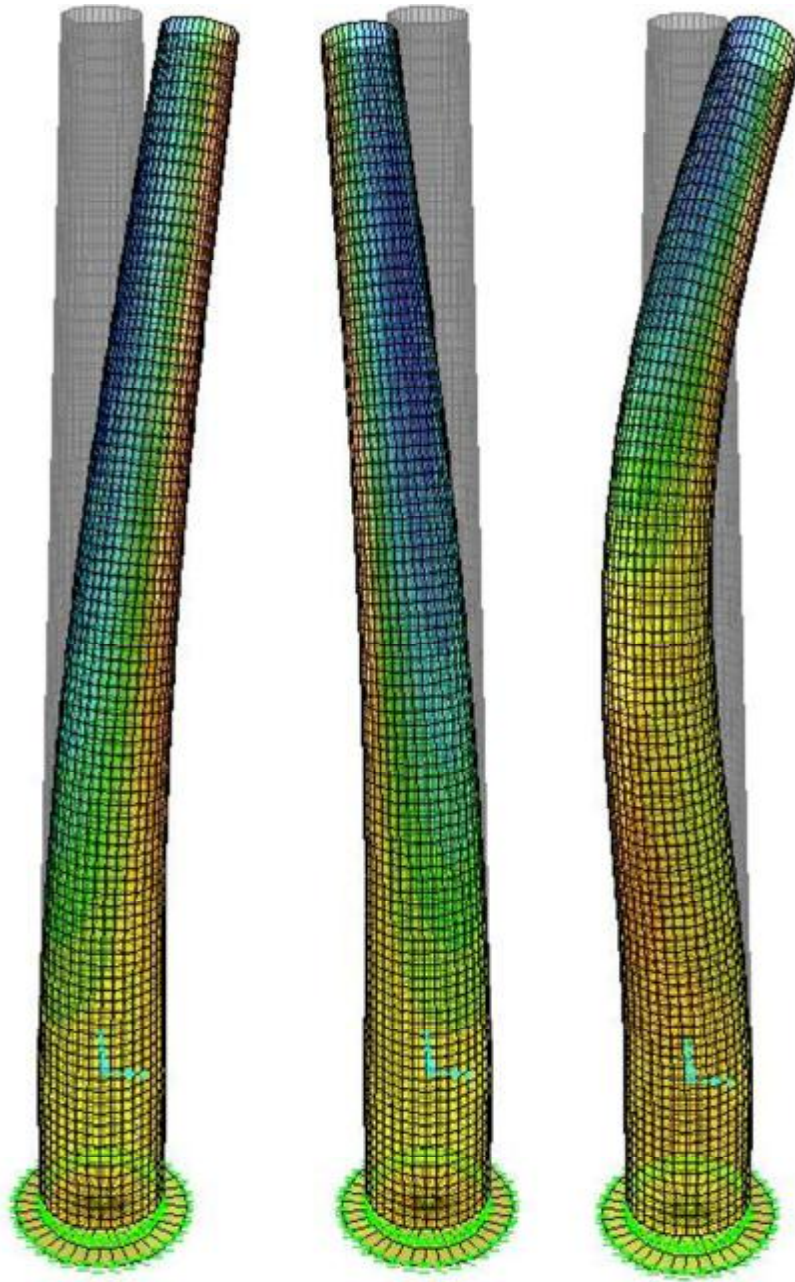
Şekil 4.50. Ultrason test cihazı ile malzeme özelliğinin tespit edilmesi

Bu amaçla Turan (2003)'te önerilen aşağıdaki formülasyon kullanılmıştır.

$$E = \frac{V^2 \times \rho \times (1+n) \times (1-2n)}{(1-n)} \quad (4.6)$$

Bu ifadede V , ultrason cihazından ölçülen hız değerini; ρ , malzemenin yoğunluk değerini; ν ifadesi de Poisson oranını göstermektedir. Ultrason ölçümleri sonucunda Elastisite modülü değeri 5.24 GPa olarak bulunmuş ve modellerde kullanılmıştır.

Baca için elde edilen ilk üç frekansa ait mod şekilleri de Şekil 4.51’de görülmektedir.



Şekil 4.51. Kangal haddehanesi bacası için programdan hesaplanan ilk üç mod şekli

Çizelge 4.9. Kangal haddehanesi bacası model frekans değerleri

No	Frekans (Hz)	Frekans (Hz)
	Model	Deney
1. Mod	0,70	0,671
2. Mod	0,70	0,696

4.4.3. Sıcak Haddehane Su Deposu

Acil durumlarda İSDEMİR Çelikhane ve Sürekli Dökümler tesislerine su temin etmek için yapılmış olan Su Kulesi'nin modellenmesi için kullanılan malzeme özellikleri aşağıda listelenmiştir:

Yapı Çeliği:

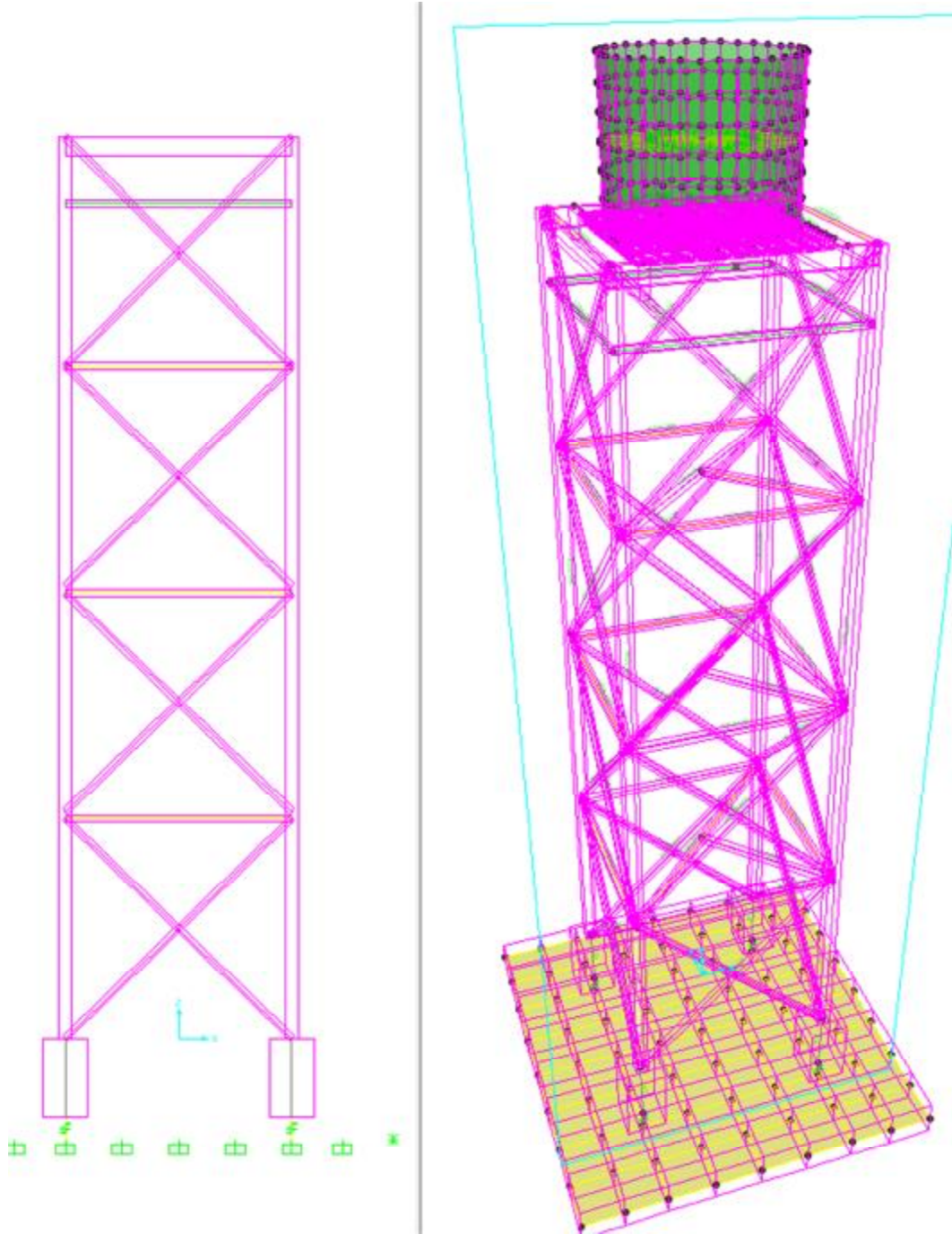
S235JRG2 (RSt37-2)

S235JO (St37-3U)

S235J2G3 (St37-3N)

Beton kalitesi: C30

Donatı çeliği: S420



Şekil 4.52. Sıcak haddehane su kulesinin model görüşleri

Malzeme özellikleri su kulesinin projesinden aynen alınarak SAP2000 modellemesinde kullanılmıştır.

General Data	
Material Name and Display Color	Q235
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	7.849E-03	Kgf, cm, C
Mass per Unit Volume	8.004E-06	

Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2039432.4
Poisson	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	784397.1

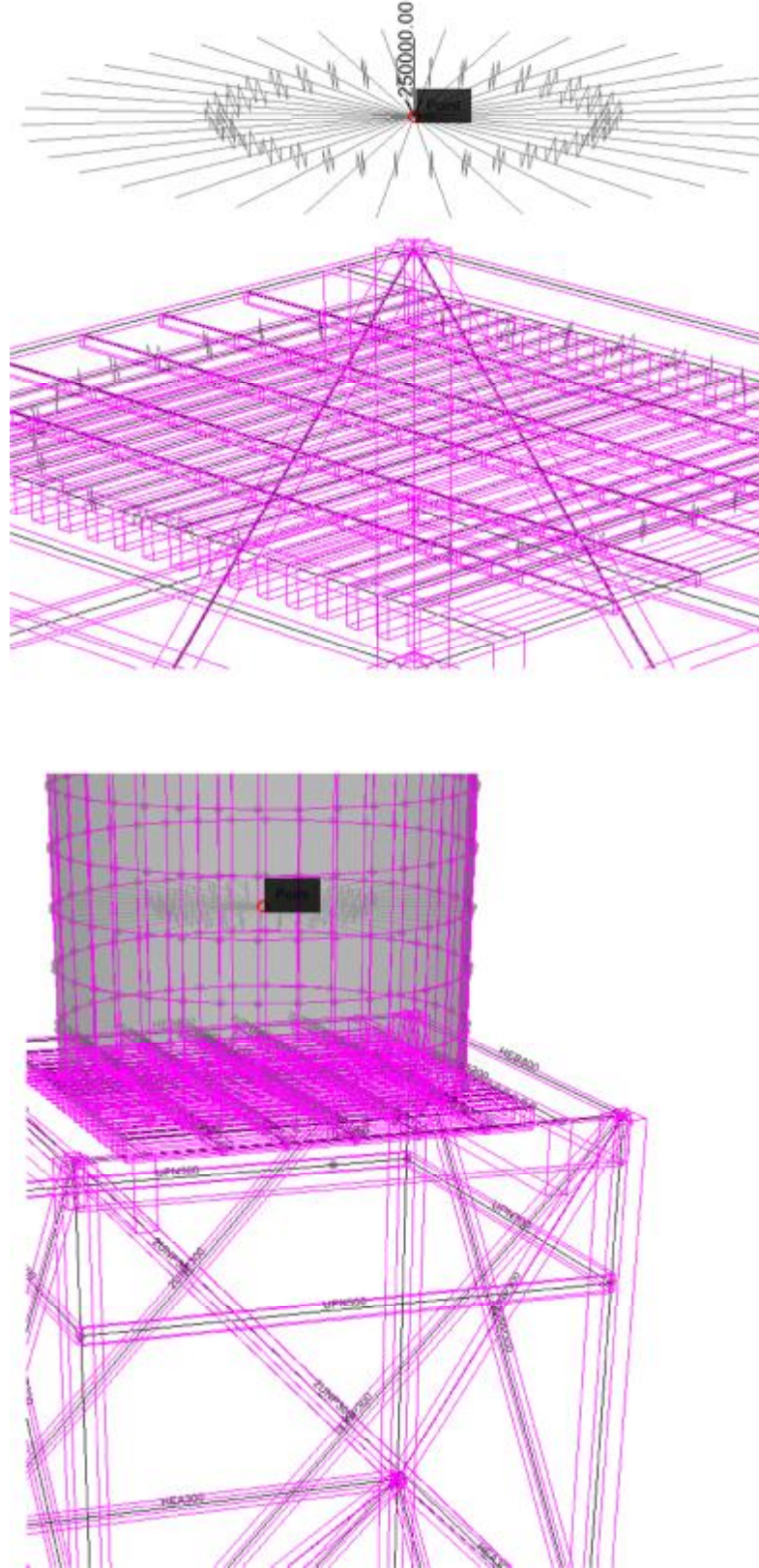
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	2396.3331
Minimum Tensile Stress, Fu	3976.8931
Effective Yield Stress, Fye	2635.9664
Effective Tensile Stress, Fue	4374.5825

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.53. Su kulesi malzeme özelliği girdileri

Modelleme çalışmalarında tank içerisinde bulunan su, ilave kütle olarak göz önüne alınmıştır. Yük olarak etki ettirilen suyun varlığı ek kütle olarak programa tanıtılarak hesaba dahil edilmiştir.

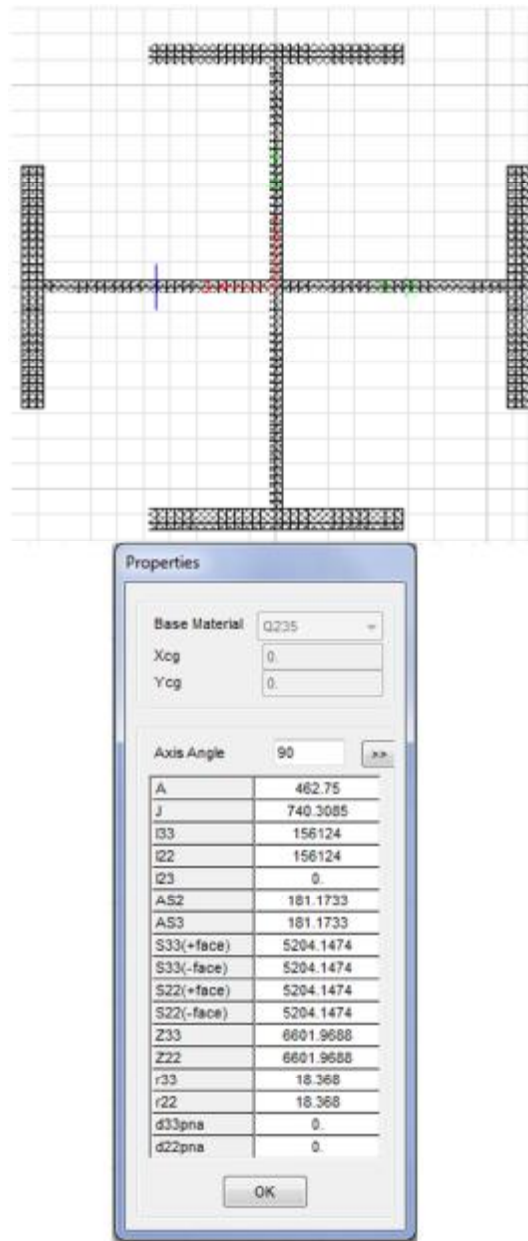


Şekil 4.54. Suyun kütle olarak katılımının modellenmesi

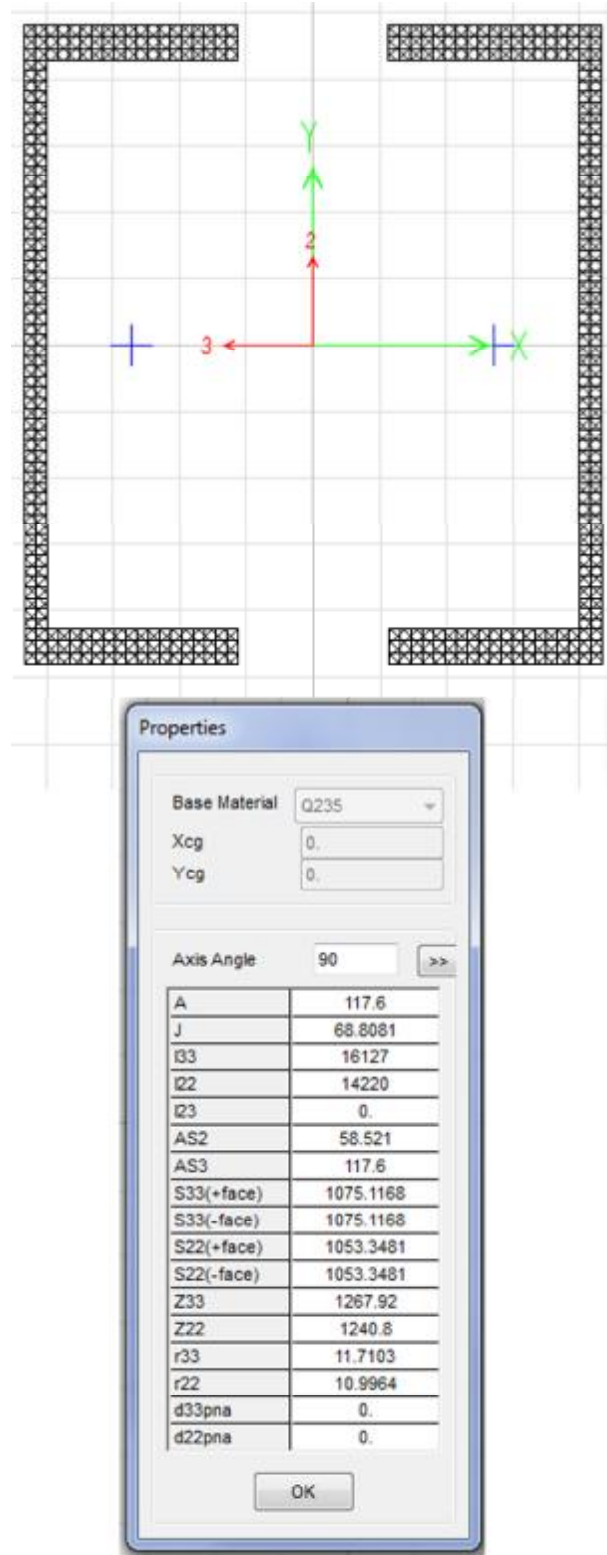
Çizelge 4.10. Su kulesinin eleman özellik çizelgesi

Kesit	Malzeme	Alan Tipi	Tip	Kalınlık (cm)
16mm	Q235	Shell	Shell-Thin	1,6
8mm	Q235	Shell	Shell-Thin	0,8
temel	C30	Shell	Plate-Thick	200

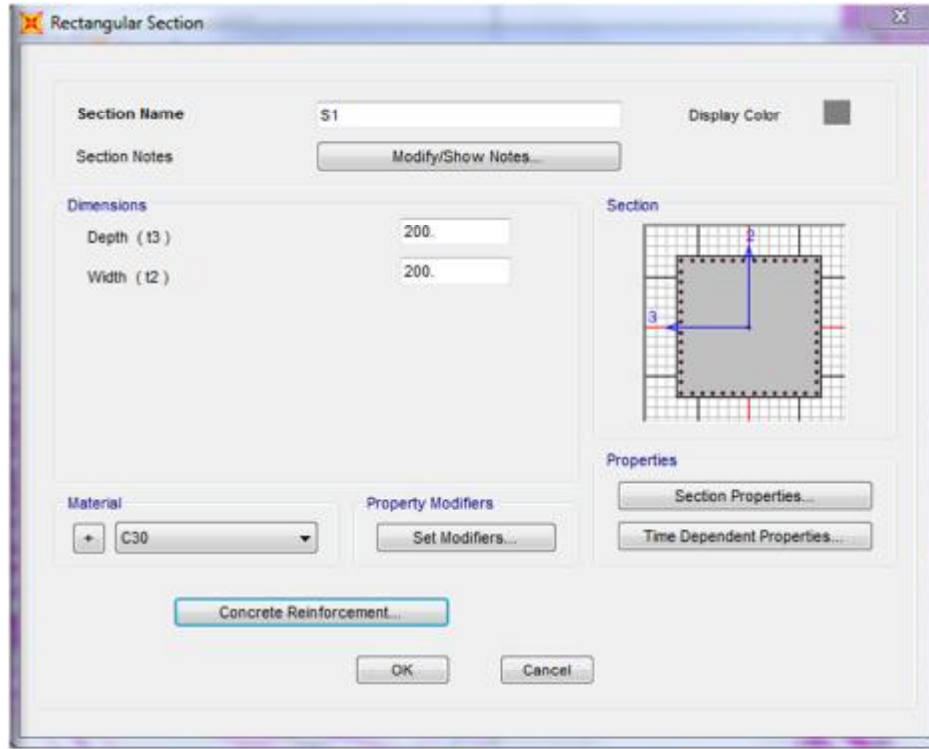
Çelik konstrüksiyon kesit özelliklerini de içerir model detayları aşağıda gösterilmektedir:



Şekil 4.55. Su kulesi ana kolon kesit özellikleri



Şekil 4.56. Su kulesi yapma çapraz kesit özellikleri



Rectangular Section

Section Name: S1

Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

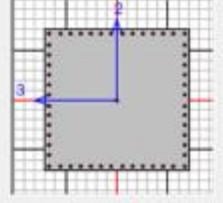
Display Color: 

Dimensions

Depth (t3): 200

Width (t2): 200

Section



Material

+ C30

Property Modifiers

[Set Modifiers...](#)

Properties

[Section Properties...](#)

[Time Dependent Properties...](#)

[Concrete Reinforcement...](#)

[OK](#) [Cancel](#)



Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A615Gr60

Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 2.5

Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 14

Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 14

Longitudinal Bar Size: + 25M

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + #8

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 15

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

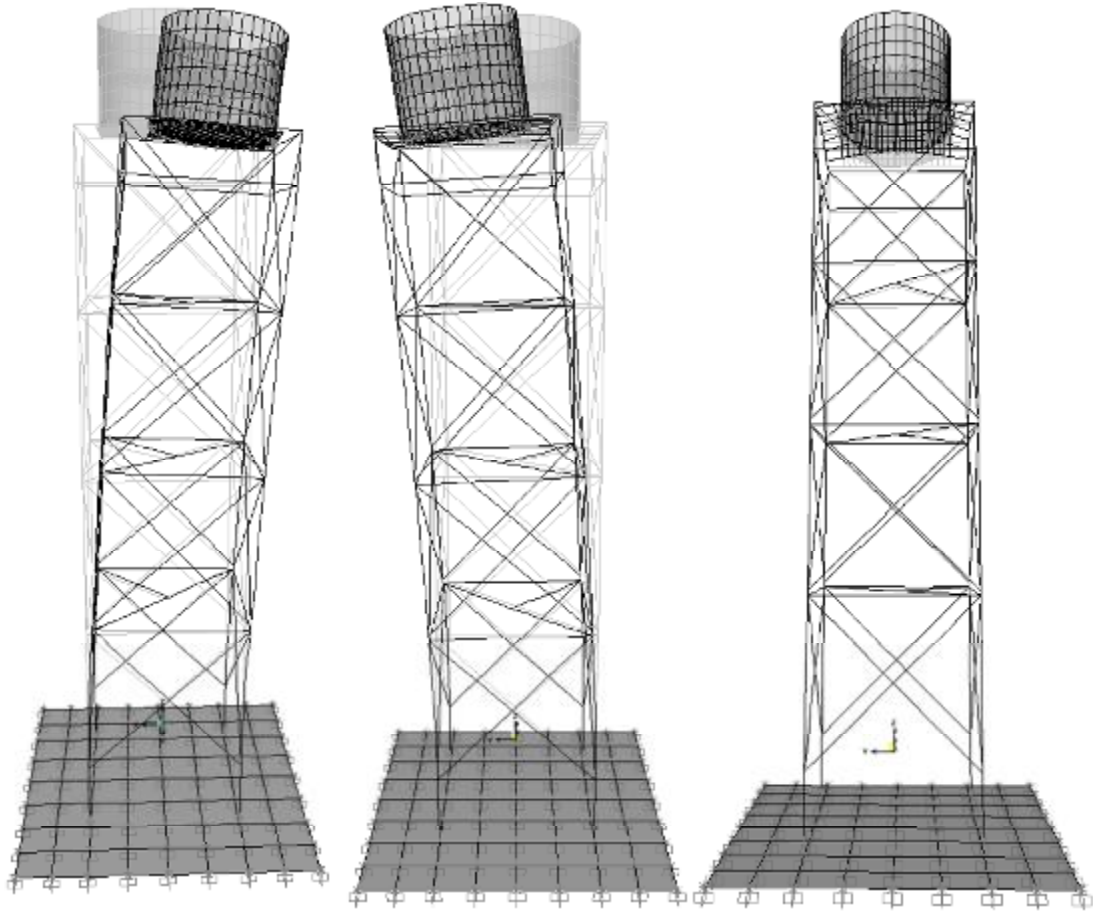
Check/Design

☒ Reinforcement to be Checked

☐ Reinforcement to be Designed

[OK](#) [Cancel](#)

Şekil 4.57. Su kulesi betonarme ara geçiş elemanı özellikleri



Şekil 4.58. Su kulesi mod şekilleri

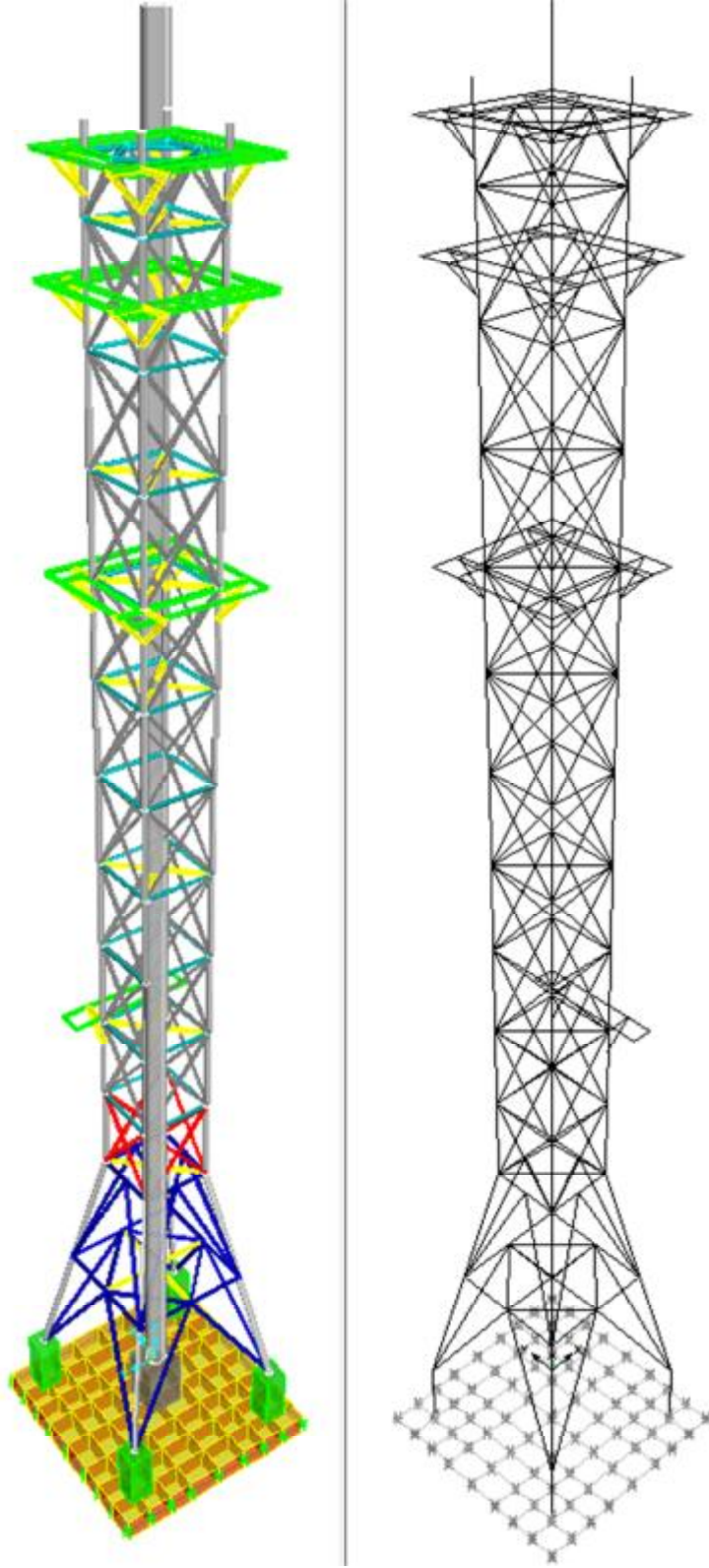
Çizelge 4.11. Su kulesi model sonucu elde edilen frekans değerleri

No	Frekans (Hz)	Frekans (Hz)
	Model	Deney
1. Mod	1,32	1,538
2. Mod	1,32	1,563

4.4.4. Sıcak Haddehane Yakma Bacası

İSDEMİR Sıcak Haddehane sahasında bulunan Yakma Bacası; fazla gazın yakılıp bertaraf edilmesi amacıyla inşa edilmiştir.

Temeli $6,6 \times 6,6$ m ve 80 cm radye plak olarak modellenen bacada S2 olarak tanımlanan betonarme ara geçiş elemanı tanımlanmıştır.



şekil 4.59. Yakma bacası model görünüşleri

Temel sonrası çelik konstrüksiyon özellikleri girilerek yapı modellenmiştir. Yakma bacası modelde pipe olarak girilmiş ve boru taşıyıcı elemanlar ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.60. Yakma bacası malzeme özellikleri

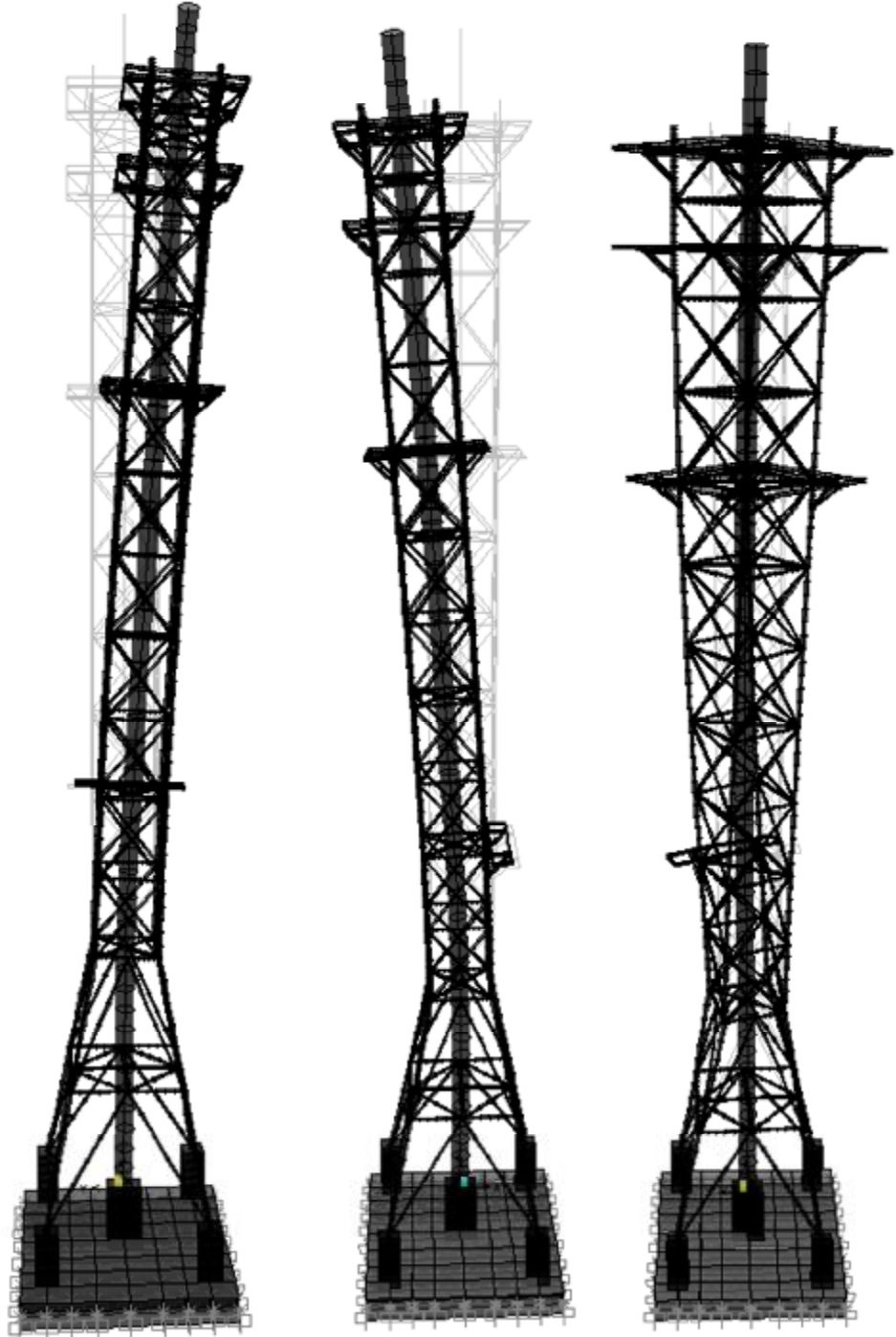
Çizelge 4.12. Yakma bacası malzeme listesi

Kesit	Malzeme	Şekil	Alan	Toplam Ağırlık	Toplam Kütle
			cm ²	Kgf	Kgf-s ² /cm
114,3	Q235	Pipe	19,12	1405,8	1,43
132	Q235	Pipe	24,88	2061,1	2,1
168,3	Q235	Pipe	35,96	2743,19	2,8
193,7	Q235	Pipe	41,62	1408,23	1,44
2L70×7/12/	Q235	Double Angle	18,79	687,24	0,7
2L80×8/10/	Q235	Double Angle	24,53	906,41	0,92
baca_609,6	Q235	Pipe	179,1	5159,17	5,26
L70×7	Q235	Angle	9,4	0	0
L80×8	Q235	Angle	12,27	2340,37	2,39
L90×9	Q235	Angle	15,52	312	0,32
S1	C30	Rectangular	12100	5233,23	5,34
S2	C30	Rectangular	4900	8476,97	8,64
UPN100	Q235	Channel	13,46	898,01	0,92

Bacanın dinamik analizi sonrası oluşan mod şekilleri Şekil 4.61’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. Yakma bacanın frekans değerlerinin karşılaştırılması

No	Frekans (Hz)	Frekans (Hz)
	Model	Deney
1. Mod	1,23	1,172
2. Mod	1,23	1,221



şekil 4.61. Yakma bacası için SAP2000 programı ilk üç mod şekli

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İskenderun Demir Çelik (İSDEMİR) Fabrika sahası içerisinde yer alan 3.Yüksek fırın soba bacası üzerindeki sıcaklık etkisinin değişken olması, baca giriş noktalarında salınımın engellenmesi, büyük vana gibi rijit unsurların baca bağlantı noktalarında bulunması gibi nedenler ile deney sonuçları ile bilgisayar modeli mod değerleri arasında küçük farklılıklar olmakla birlikte sonuçların yakın çıktığı gözlenmiştir. Deney sonucu elde edilen frekans verilerinin model verilerine oranı 0,953 olarak bulunmuştur.

Kangal haddehanesindeki gazların bertaraf edilmesi amacıyla yapılan 80 metre yüksekliğindeki tuğla bacanın dinamik özellikleri, titreşim kayıtları ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda yapının SAP2000 paket programı ile sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bacada kullanılan ısıya dayanıklı refrakter tuğlası olarak adlandırılan özel imal edilmiş tuğlaların malzeme özelliklerinin belirlenmesinde güçlükler yaşanmıştır. Bu nedenle malzeme özellikleri için tahribatlı test yapılarak baca modellenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda yapının ilk hakim periyotları hesaplanmış ve deneysel sonuçlar ile paket program sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonucu elde edilen frekans verilerin model verilerine oranı 0,959 olarak bulunmuştur.

İSDEMİR’de üretilen slabların (sac için üretilen ara ürün) merdaneler yardımı ile sac haline getirilmesi kısmı sıcak haddehane fabrikasında gerçekleşmektedir. Merdaneler ile preslenen slabların saca dönüşme aşamasında fırınlanan slablar su ile söndürülmektedir. Bu nedenle sıcak haddehane acil su kulesi proses açısından hayati öneme sahiptir. Kule içerisindeki su ek kütle olarak modele yansıtılmış ve deprem davranışında suyun da temsil edilmesi sağlanmıştır. Yapı analiz programlarında suyun gerçek davranışı ile alakalı bir modelleme seçeneği bulunmamaktadır. Olası bir depremde suyun modelde olduğu gibi noktasal bir kütle gibi davranmayacağı aşıkardır. Ancak bu tip yapılar için yapılabilecek parametrik çalışmalar için bu çalışma bir örnek olarak düşünülmelidir. Deney frekanslarının modele oranı 1,165 olarak bulunmuştur.

Sıcak haddehane fabrikasında acil su kulesi ile aynı bölgede konumlanmış ve dolayısı ile benzer dinamik etkilere maruz kalan sıcak haddehane yakma bacası için proje üzerinden kesitler tespit edildikten sonra sahada kesitler teyit edilmiştir. Bu bacada yakma işlemi her zaman gerçekleşmediği için deney sırasında ve modelde kesit özelliklerinin alınmasında bir sakınca görülmemiştir. Isıya karşı kaplaması olmayan bacanın içerisinden alev geçmesi durumunda, sıcaklık derecesine göre malzeme özelliklerinde değişme beklenebilir. Bu baca için deney frekansı/model frekansı oranı 0,953 olarak bulunmuştur.

Kabuk olarak modellenen 3.YF soba bacası ve kangal haddehanesi bacasında shell elemanların kullanılması ve link elemanlar ile düğüm noktalarından birleştirilerek beraber hareketlerinin sağlanması gerçek davranışa en yakın sonucu vermektedir.

Frekans değerleri arasında en büyük fark sıcak haddehane su kulesinde bulunmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi; deprem etkisinde suyun davranışı hakkında sahada yapılabilecek deneysel çalışmalar ile su-yapı etkileşimi daha net ortaya konulabilecektir.

Yapıların gerçek davranışlarının modellenmesinde elastisite modülünün önemi bir kez daha ortaya konmuştur. Tahribatlı testlerin, beton, refrakter gibi yapı unsurlarında yapılmasının gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- ACI 307, 1998. Design and Construction of Cast-In-Place Reinforced Concrete Chimneys, American Concrete Institute, Michigan.
- ALICIOĞLU, B. and LUŞ, H., 2008. Ambient Vibration Signature Analysis With Subspace Methods and Automated Mode Selection: Case Studies, Journal Of Structural Engineering Vol.134,No.6, 1016-1029.
- ALICIOĞLU, B., 2004. Ambient Vibration Signature Analysis With Subspace Methods: Case Studies, B.S., in C.E., Middle East Technical University.
- ATALAY, B., ÇELEBİ, M., ERDİK, M., GÜLKAN, P., YILMAZ, Ç. and YÜZÜGÜLLÜ, Ö., 1981. Forced Vibration Experiments of Structures, METU/EERC Final Report
- ATANÇ, V.İ., 2009. Mevcut Yapıların Dinamik Karakteristik Özelliklerinin Titreşim Deneyleri İle Bulunması, Mustafa Kemal Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- BLUME, J.A., 1935. A Machine For Setting Structure And Ground Into Forced Vibration, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 25 no. 4 361-379.
- BRADFORD, S. C., CLINTON, J.F., FAVELA, J. and HEATON, T. H., 2004. Results of Millikan Library Forced Vibration Testing, Report No. EERL 2004-03, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, California.
- CAMPBELL, S., KWOK, K.C.S. and HITCHCOCK, P.A., 2005. Dynamic characteristics and windinduced response of two high-rise residential buildings during typhoons, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.93, No.6, 461–482.
- CAO, H., ELLIS, B.R. and LITTLER, J.D., 1997. 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, Vol.72, 81-93.
- CHOPRA, A. K., 1995. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

- CRAWFORD, R. and WARD H.S., 1964. Determination of the natural periods of buildings, Bull. Seis. Soc. Amer., 54,1743-1756.
- ÇELEBI, M., ERDIK, M., YÜZÜGÜLLÜ, Ö., GÜLKAN, P., GÜRPINAR, A., YÜCEMEN, S. and BAYÜLKE, N., Vibration of a Ten Story Reinforced Concrete Structure, METU/EERC Report No. 77-1, 1977, Ankara.
- ÇELİK, C. O., 2002. Forced Vibration Testing Of Existing Reinforced Concrete Buildings, M. Sc. Thesis Middle East Technical University.
- DE SORTIS, A., ANTONACCI, E. and VESTRONI, F., 2005. Dynamic Identification Of A Masonry Building Using Forced Vibration Tests, Vol. 27, No.2, 155–165.
- ELLIS, B. R. and BOUGARD, A.J., 2001. Dynamic Testing and Stiffness Evaluation Of A Six-Storey Timber Framed Building During Construction, Engineering Structures, Volume 23, No.10, Pages 1232–1242.
- FOTI, D., DIAFERIO, M., GIANNOCARO, N.I. and MONGELLI, M., 2012. Ambient Vibration Testing, Dynamic Identification And Model Updating Of A Historic Tower, NDT&E International. Volume 47, April 2012, Pages 88-95.
- GENTILE, C. and SAISI, A., 2007. Ambient Vibration Testing Of Historic Masonry Towers For Structural Identification And Damage Assessment, Construction and Building Materials. Volume 21, Pages 1311-1321.
- IVANOVIC, S.S., TRIFUNAC, M.D. and TODOROVSKA, M.I., 2000. Ambient Vibration Tests Of Structures, ISET Journal of Earthquake Technology. Paper: 407, Vol. 37 , No:4 165-197.
- IVANOVIC, S.S., TRIFUNAC, M.D., NOVIKOVA, E.I., GLADKOV, A.A. and TODOROVSKA, M.I., 2000. 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, Vol.19, No.6, 391-411.

- JENNINGS, P. C., MATTHIESEN, R. B. and HOERNER, J. B., 1971. 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, Pasadena, California.
- Kaweckia, J. and ZURANSKI, J.A., 2007. Cross-wind vibrations of steel chimneys a new case history. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 95, no. 9–11, pp. 1166–1175.
- KOHLER, M.D., DAVIS, M.P. and ŞAFAK, E., 2005. Earthquake and Ambient Vibration Monitoring of the Steel-Frame UCLA Factor Building. *Earthquake Spectra*, volume 21, No. 3, pages 715–736.
- LI, Q.S., WU, J.R., LIANG, S.G., XIAO, Y.Q., and WONG, C.K., 2004. Full-scale measurements and numerical evaluation of wind-induced vibration of a 63-story reinforced concrete tall building, *Engineering Structures* Vol.26, No.12, 1779– 1794.
- MOSLEM, K. and TRIFUNAC, M.D., 1986. Effects of Soil Structure Interaction on the Response of Buildings During Strong Earthquake Ground Motions. Report No. 86-04, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Southern California.
- NUHOĞLU, A. and ŞAHİN, S., Sanayi Bacalarının Ve Minarelerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Deprem Sempozyumu, 2005, Kocaeli.
- OSMANCIKLI, G., BAYRAKTAR, A., TÜRKER, T., UÇAK, Ş. and MOSALLAM, A., 2015. Finite element model calibration of precast structures using ambient vibrations, *Construction and Building Materials*. Vol. 93, 10-21.
- OSMANCIKLI, G., UÇAK, Ş., TURAN, F. N., TÜRKER, T. and BAYRAKTAR, A., 2012. Investigation of restoration effects on the dynamic characteristics of the Hagia Sophia bell-tower by ambient vibration test, *Construction and Building Materials*. Volume 29, 564–572.
- PALLARES, F. J., AGUERO, A. and MARTIN, M., 2006. Seismic behaviour of industrial masonry chimneys, *International Journal of Solids and Structures*. Vol.43, No.7-8, 2076-2090.

- 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.
- SAP2000 V17 Yapı Analiz Programı, California, 2015. Computers And Structures Inc.(CSI) U.S.A.,
- SEISMOSOFT, 2013. SeismoStruct - A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures (online). URL: <http://www.seismosoft.com> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2015)
- STEPHEN, R. M., HOLLINGS, J. P. and BOUWKAMP, J. G., 1973. Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building, Report No. EERC 73-17, University of California, Berkeley, California.
- STEPHEN, R. M., WILSON, E. L., BOUWKAMP, J. G. and BUTTON, M., 1978. Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building, Report No. EERC 78-13, University of California, Berkeley, California.
- ŞAFAK, E. and ÇELEBİ, M., 1990. Method To Estimate Center Of Rigidity Using Vibration Recordings. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1, 85-97.
- ŞAFAK, E., 2007. Yapı Titreşilerinin İzlenmesi;Nedir, Neden Yapılır, Nasıl Yapılır ve Ne Elde Edilir, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20, İstanbul.
- ŞAHİN, A., BAYRAKTAR, A., ÖZCAN, M. D., SEVİM, B., ALTUNIŞIK, A. C. and TÜRKER, T., 2011. Dynamic Field Test, System Identification, and Modal Validation of an RC Minaret: Preprocessing and Postprocessing the Wind-Induced Ambient Vibration Data. Journal of Performance of Constructed Facilities. Vol. 25, No. 4, 336-356.
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Resmi İnternet Sitesi, <http://www.deprem.gov.tr> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2015)
- TRIFUNAC, M.D., 1972. Comparison between ambient and forced vibration experiments, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 1, No. 2, 133-150.

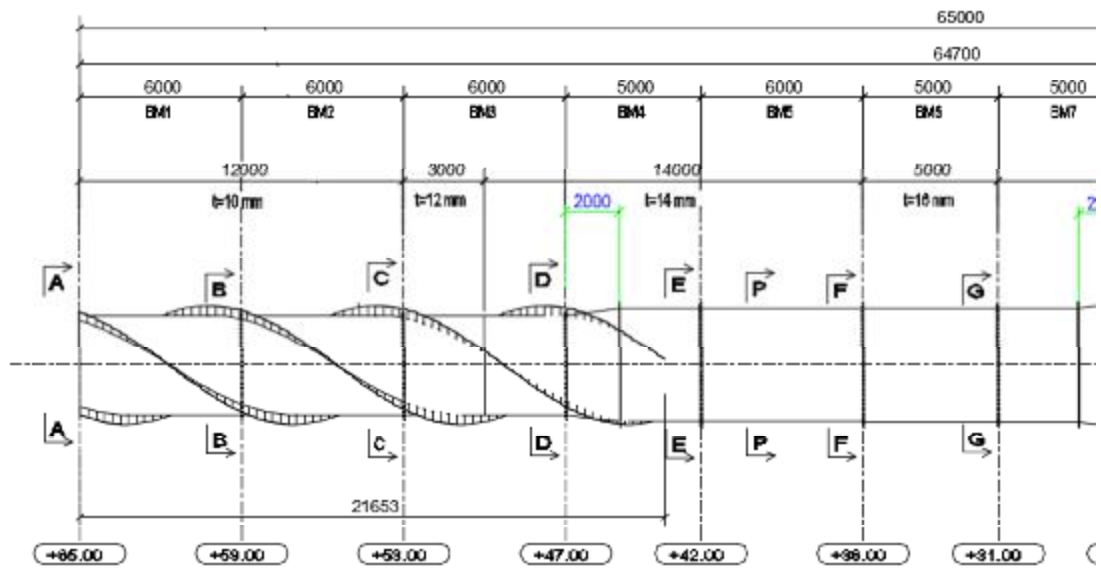
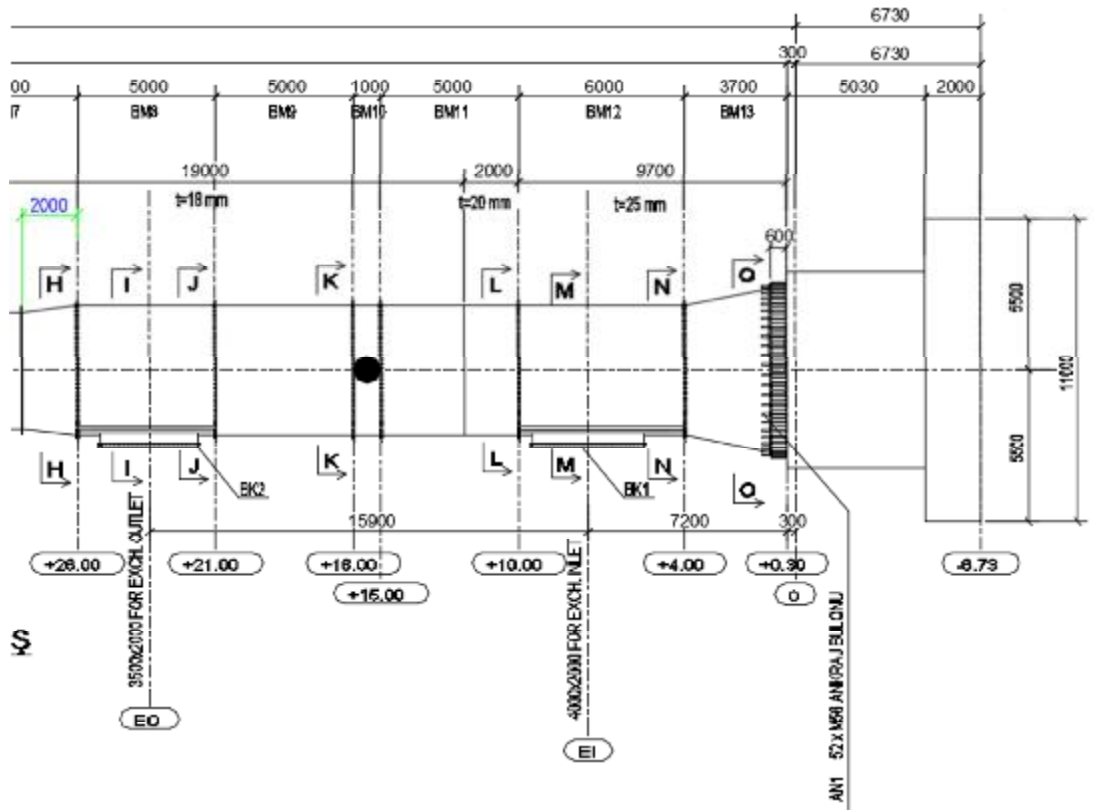
- TS 10465, 1992. Beton Deney Metotları - Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot). Türk Standartları Enstitüsü.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.
- TURAN Y. E., 2003. Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 757 sayfa.
- TÜRKER, T., 2011. Çevresel Titreşim Verileri Kullanılarak Yapıların Hasar Durumlarının Tespiti ve Değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi – Doktora Tezi.
- UDWADIA, F.E. and TRIFUNAC, M.D., 1977. A Note on the Calculation of the Fourier Amplitude Transforms. Report No. 77-01, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Southern California. Paper No: 30.
- View 2002 (2002), View 2002 Users Manual, Ziegler consultants, Zürich, İsviçre.
- WILSON, J. L., 2002. Earthquake response of tall reinforced concrete chimneys, The University of Melbourne, PhD Thesis Melbourne, Australia.
- WILSON, J. L., 2003. Earthquake response of tall reinforced concrete chimneys. Engineering Structures Vol. 25, Pages: 11–24.
- YERLİCİ, V. 2007. Yapı dinamiğine giriş. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- <http://www.engineering-software.com/pr/sku27589.htm> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2015)
- <https://www.afad.gov.tr/TR/Index.aspx> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2015)

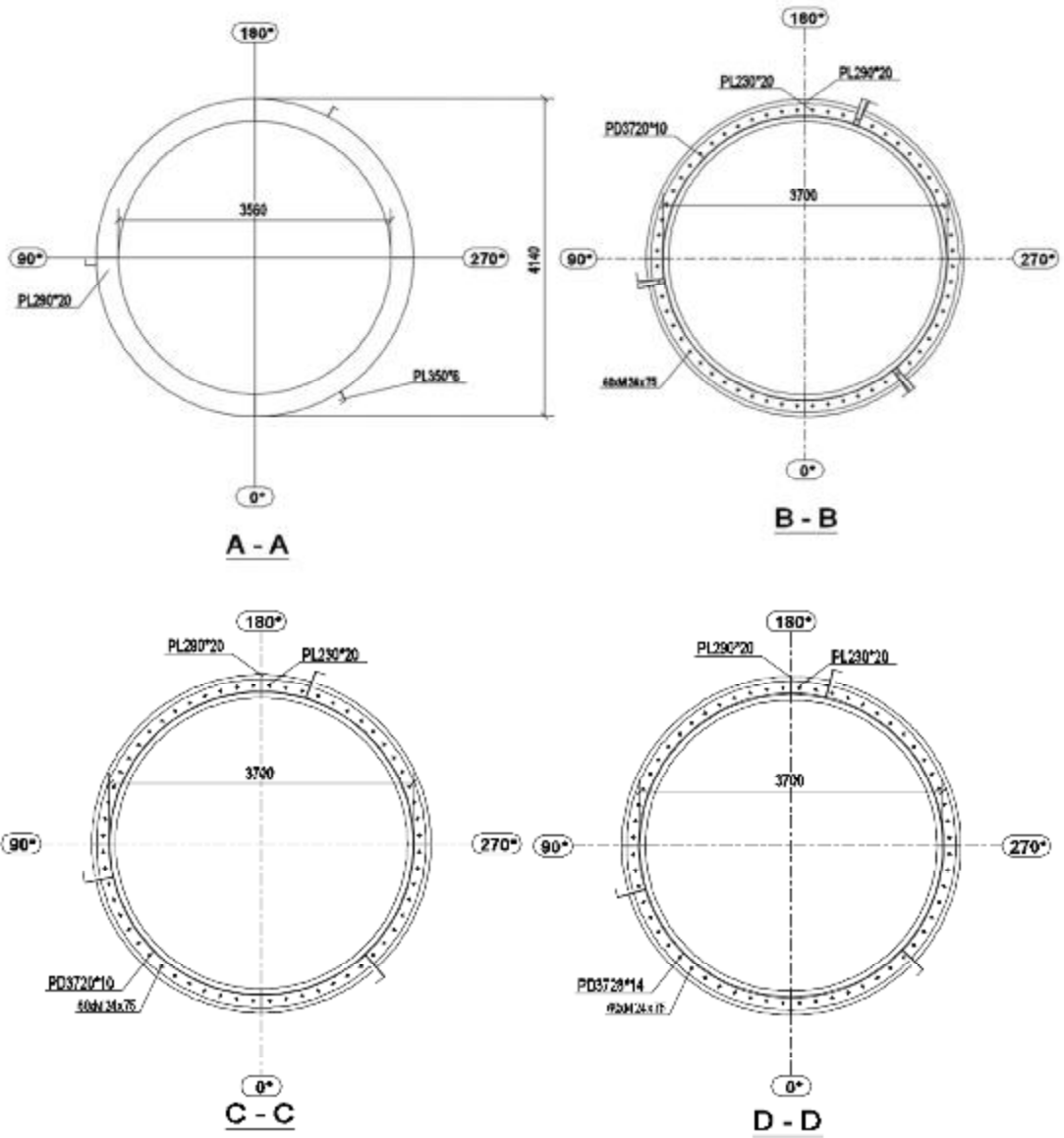
ÖZGEÇMİŞ

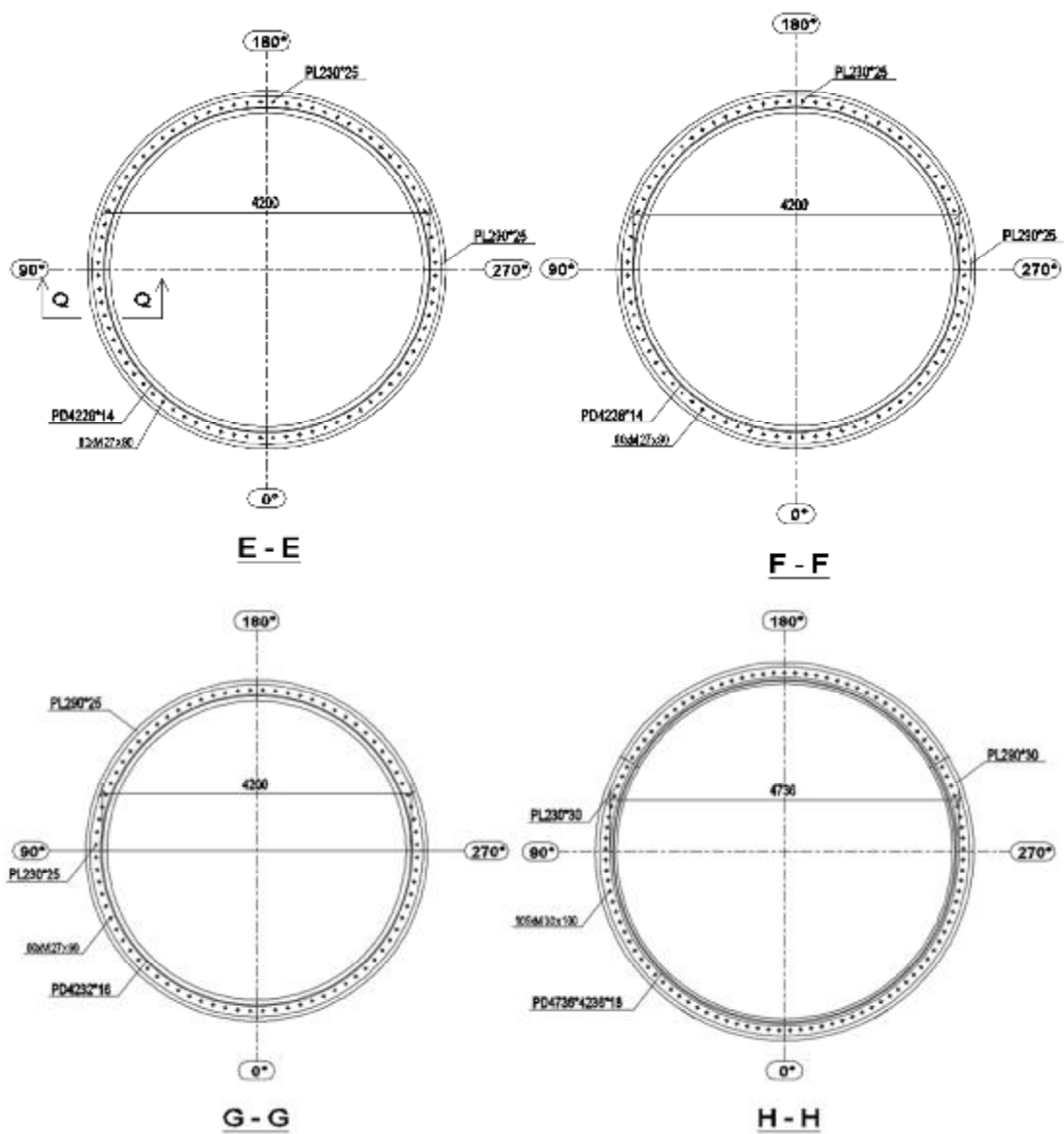
1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimine, babasının memuriyeti nedeni ile Erzurum İli'nde başlayıp Konya'da devam ettirdikten sonra Hatay'ın İskenderun İlçesi'nde tamamlamıştır. 2001 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2006 yılında mezun olmuştur. 2007 Yılı'nda askerlik görevini, Kars Sarıkamış'ta Tank Teğmen olarak tamamladıktan sonra yine aynı yıl İSDEMİR A.Ş. Proje Müdürlüğü'nde göreve başlamıştır. 2008 yılında başladığı; Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans programından 2011 yılında mezun olmuştur. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora çalışmalarına başlamıştır. Halen İSDEMİR A.Ş. Proje Müdürlüğü'nde görevli bulunmaktadır. Evli ve bir kız çocuk babasıdır.

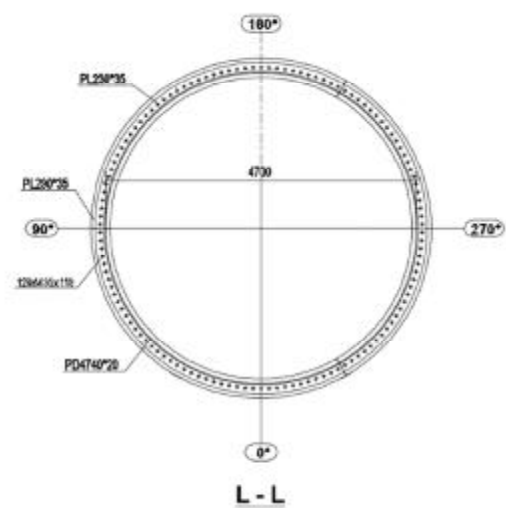
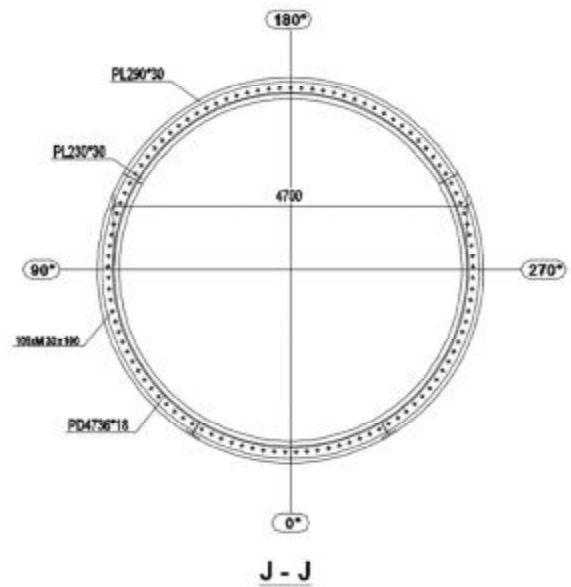
EKLER

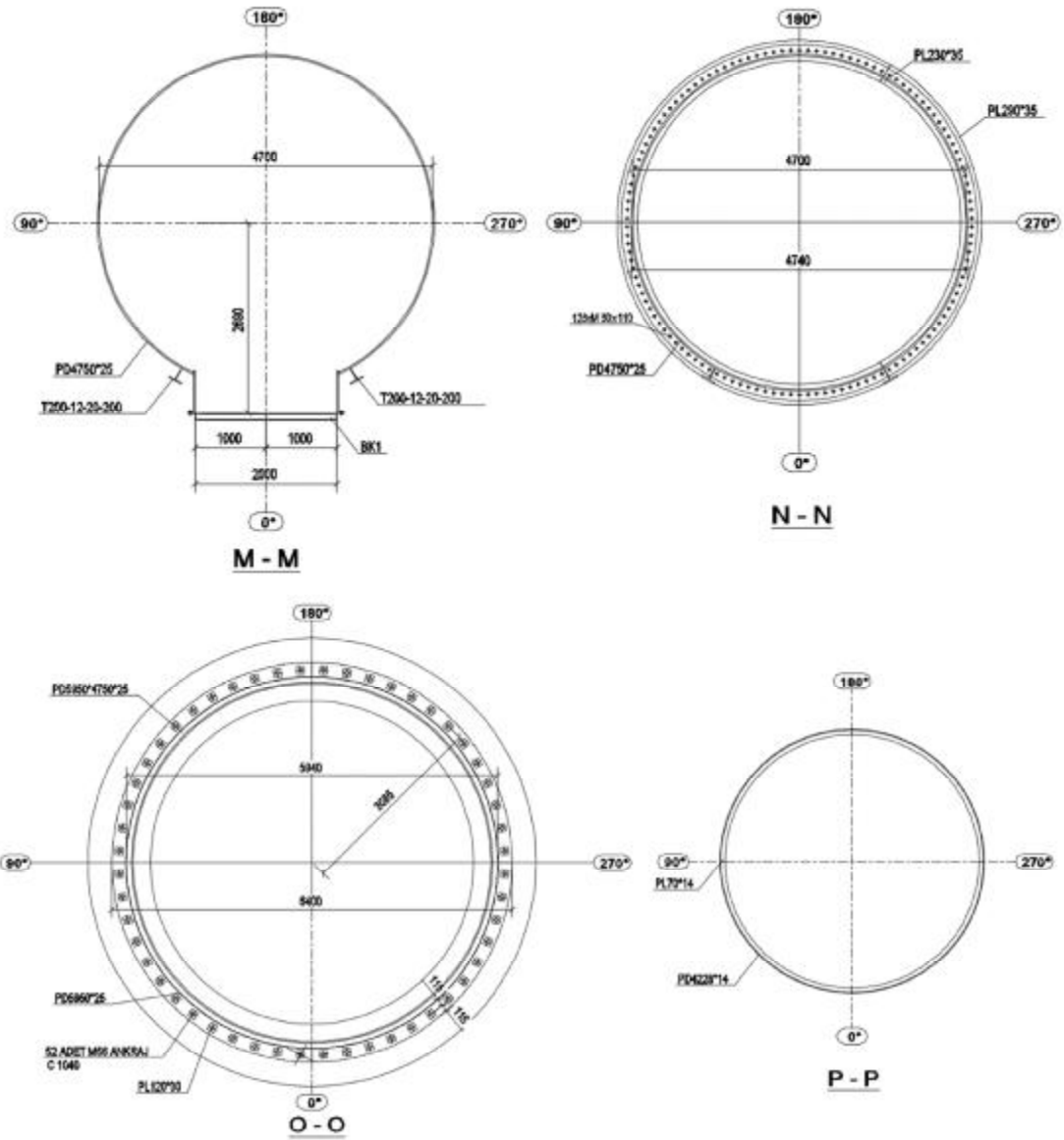
EK.1. 3YF Soba Bacası Detayları

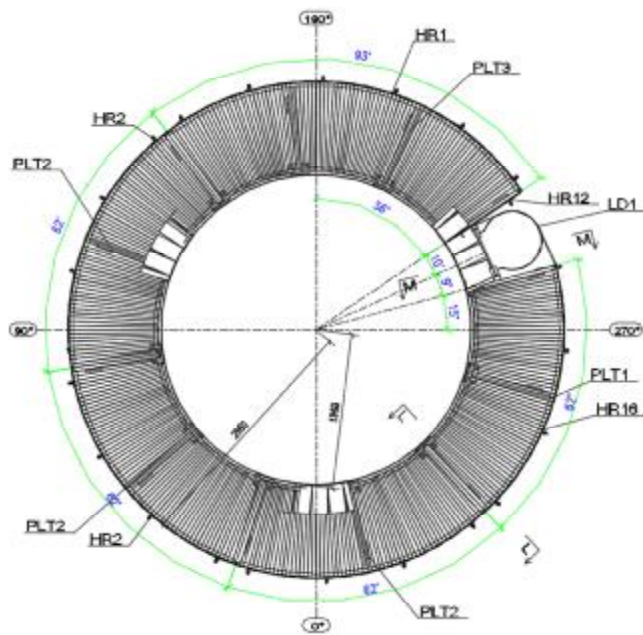




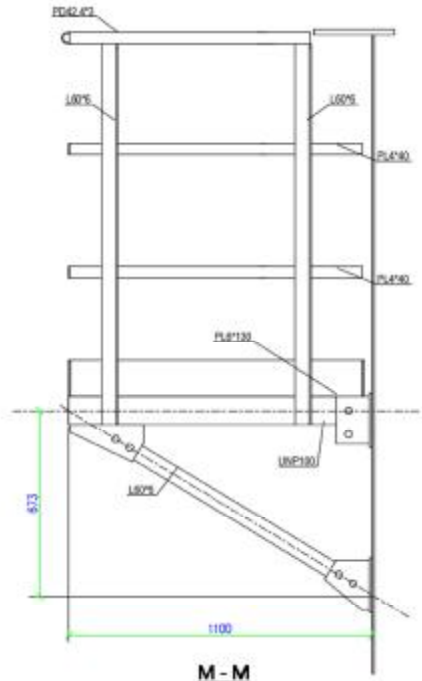




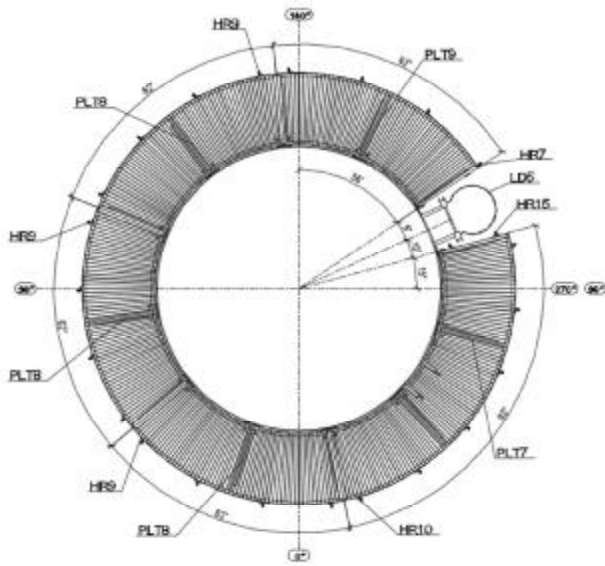




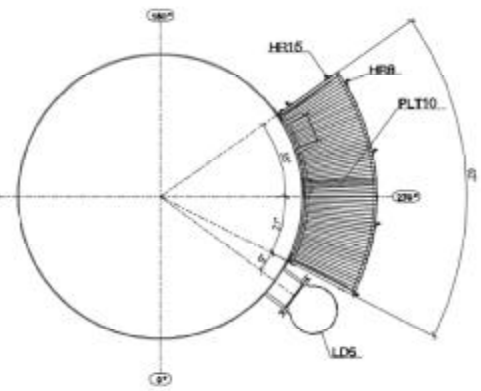
+63000 Kotu Platformu



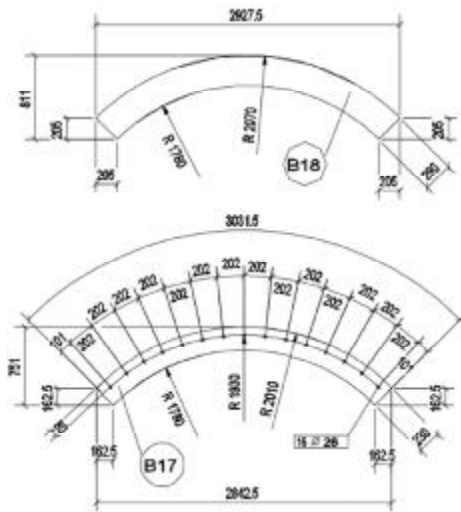
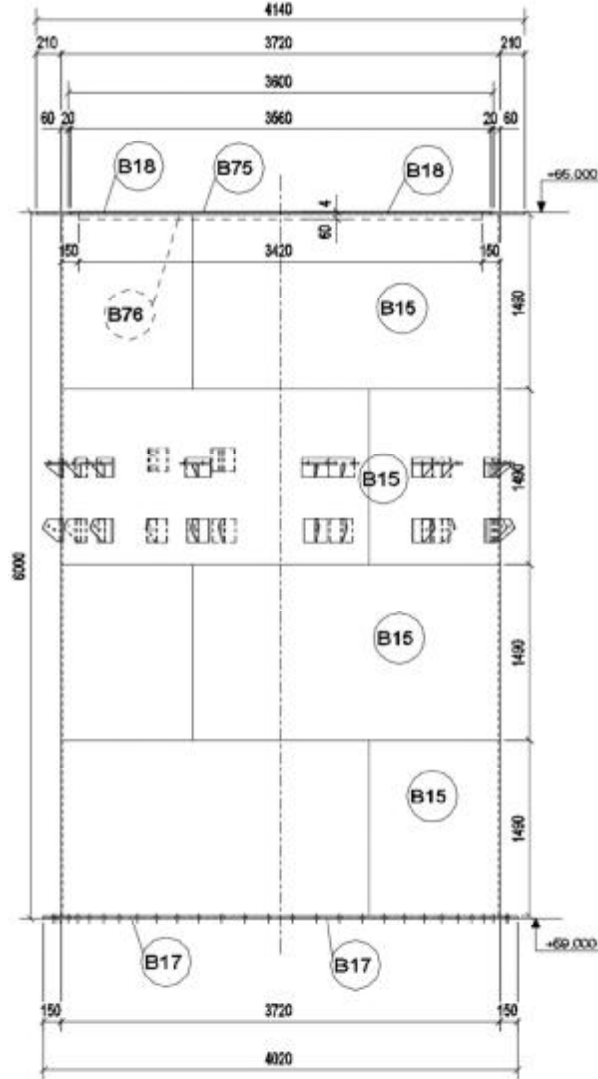
M - M



+41000 Kotu Platformu



+36000 Kotu Platformu



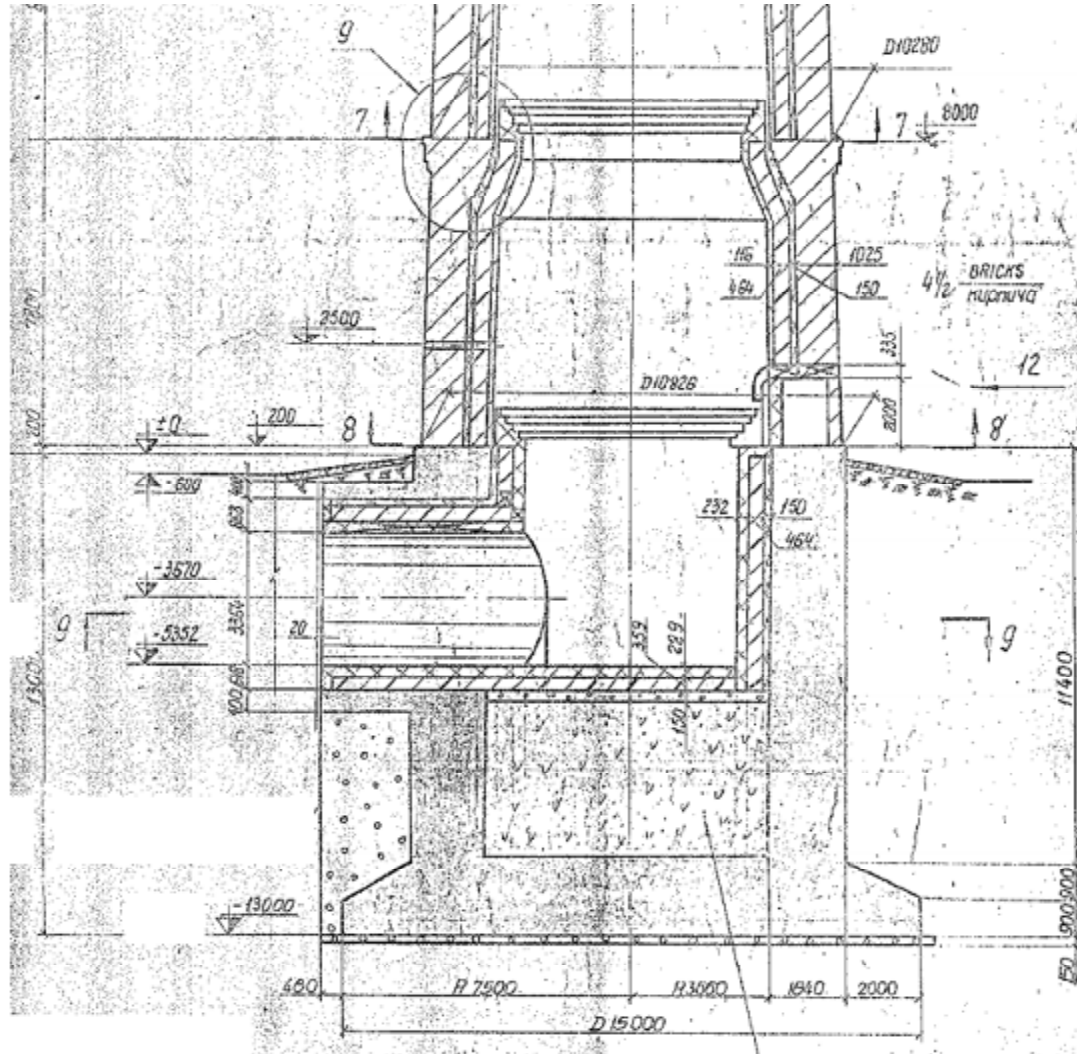
ÇELİK MALZEME LİSTESİ

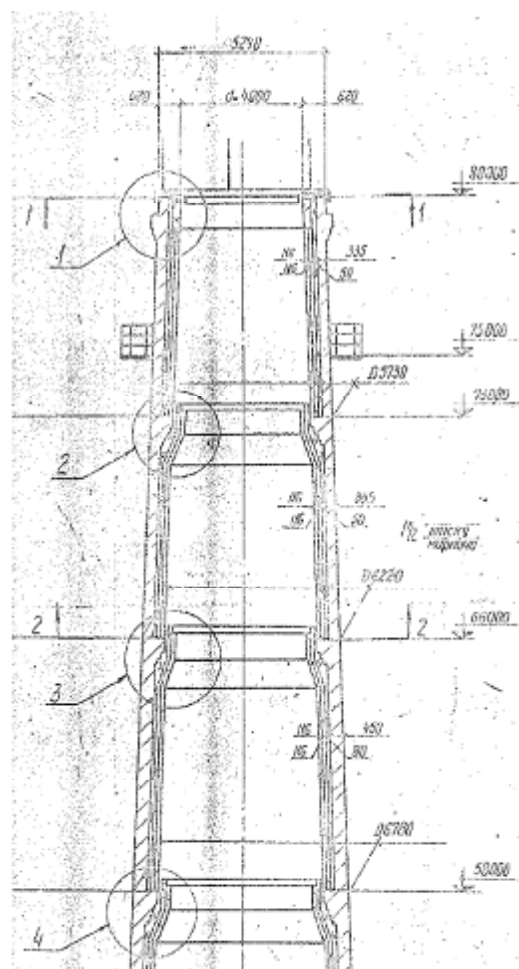
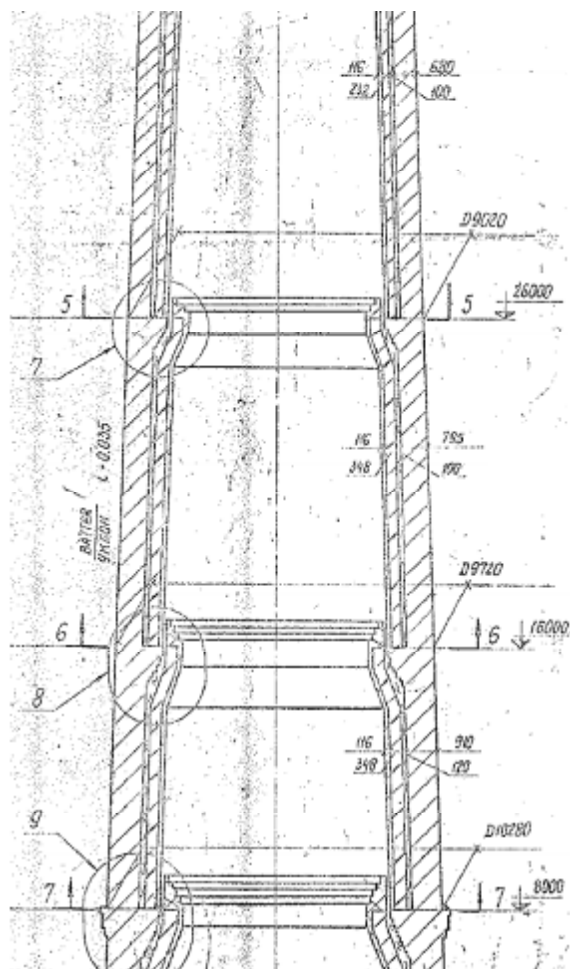
BM1 MARFAH İÇİN MALZEME LİSTESİ		1 ADET GİRETLERİDİR. MARFAH AĞIRLIĞI:		5554.7		Kg	
POZ NO	CİNSİ	MALZEME	ADET	BOY	AĞIRLIK (Kg)	NOT	
B15	PD0320*150	ST37	4	1400	5440.5		
B17	PL230*20	ST37	4	2377	429.3		
B18	PL230*20	ST37	4	3004	550.5		
B22	PL10*160	ST37	12	160	19.0		
B46	PL10*100	ST37	10	100	6.2		
B51	PL10*200	ST37	14	200	44.0		
B62	PL10*230	ST37	10	160	28.9		
B66	PL10*230	ST37	10	130	23.5		
B62	PL10*230	ST37	10	160	28.9		
B75	PD060*74	ST37	1	110	37.9		
B76	PD0420*74	ST37	1	60	21.1		
TOPLAM AĞIRLIK :					6613.7	Kg	

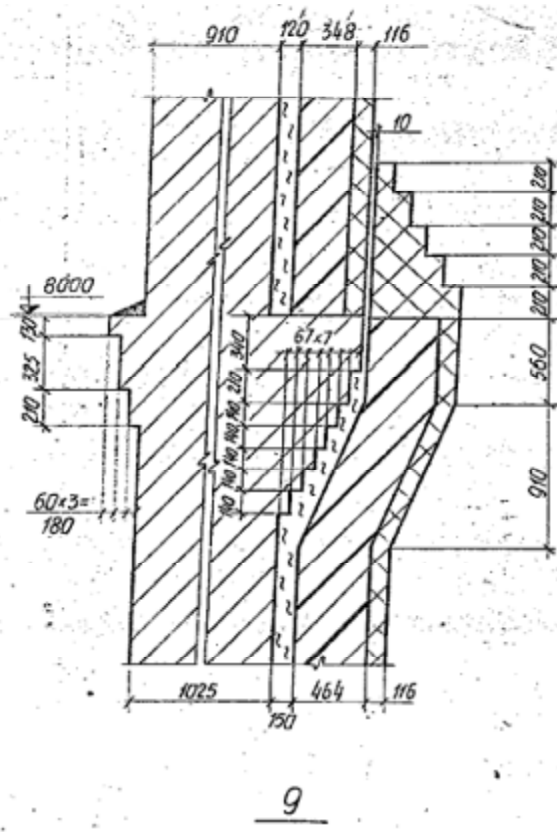
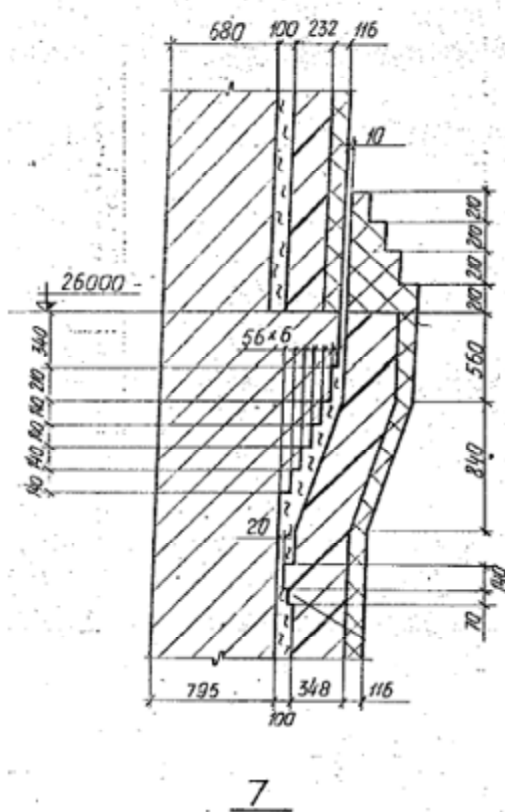
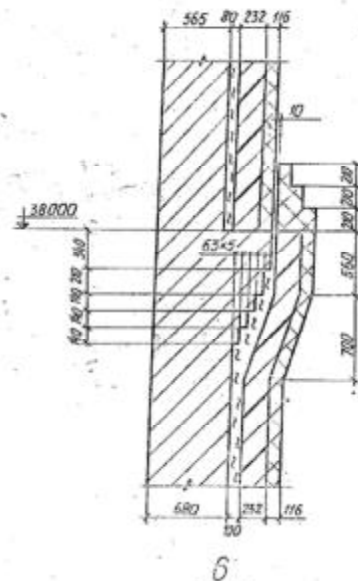
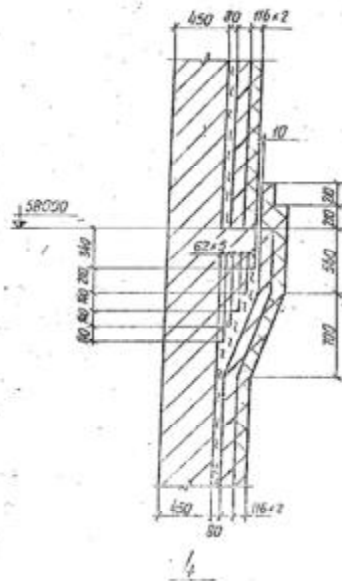
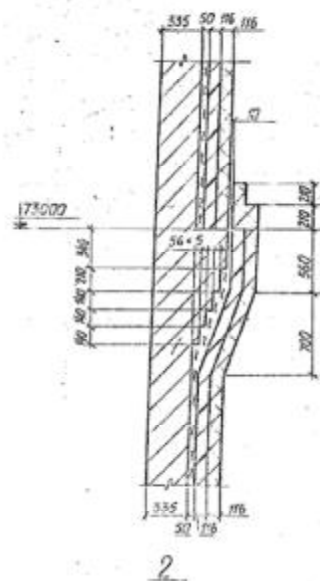
CIVATA LİSTESİ

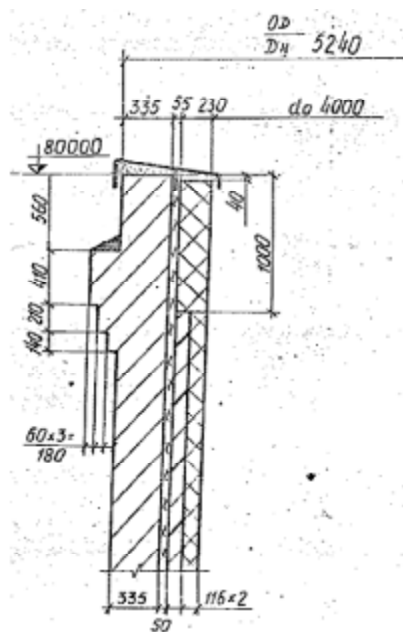
BM1		1 ADET GİRETLERİDİR.			
CIVATA CİNSİ	KALİTESİ	STANDART	1 KOMPLE İÇİN ADET	TOPLAM ADET	
BOLT 475	8.8	7990	60	60	

EK.2. Kangal Haddehanesi Baca Detayları

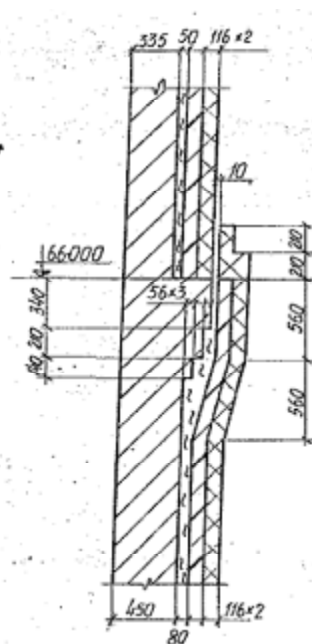




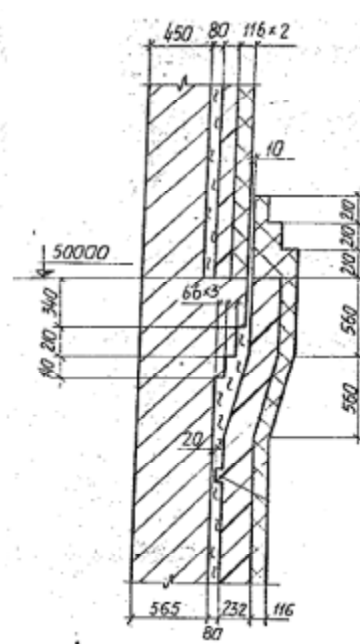




1

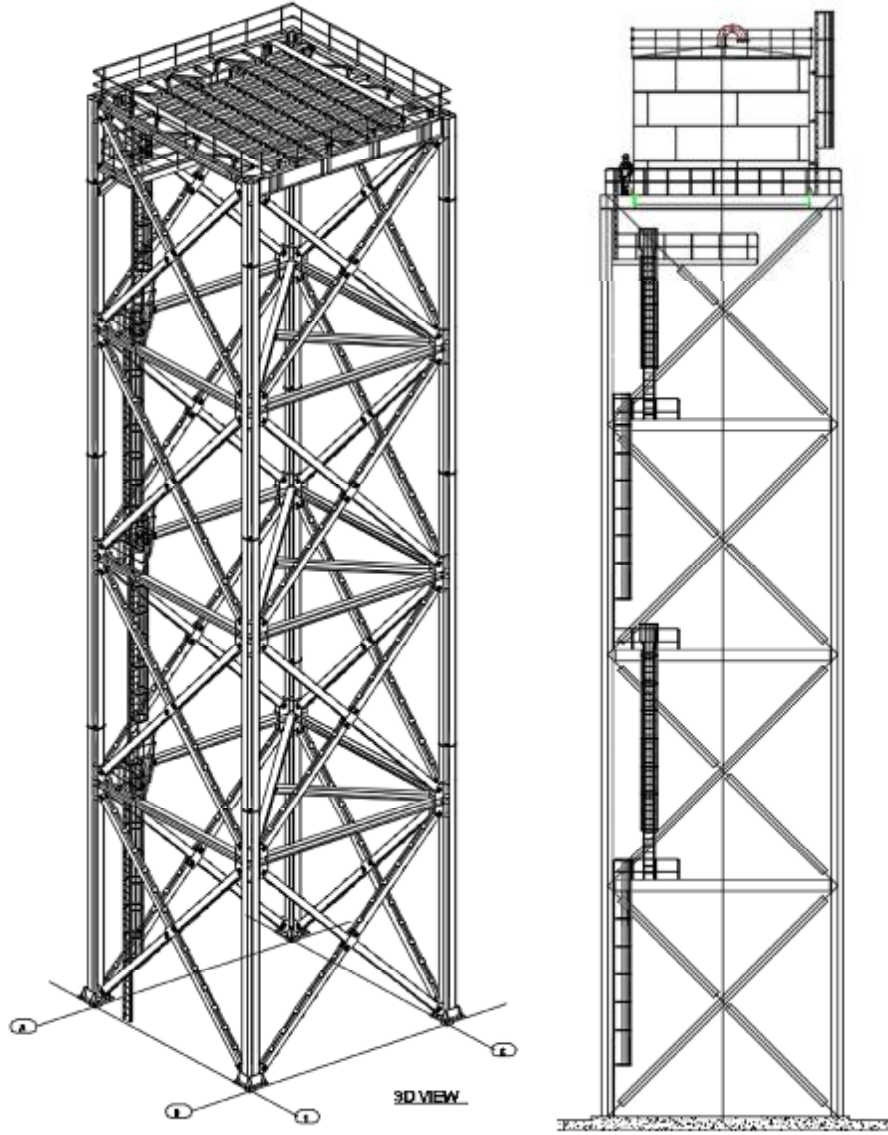


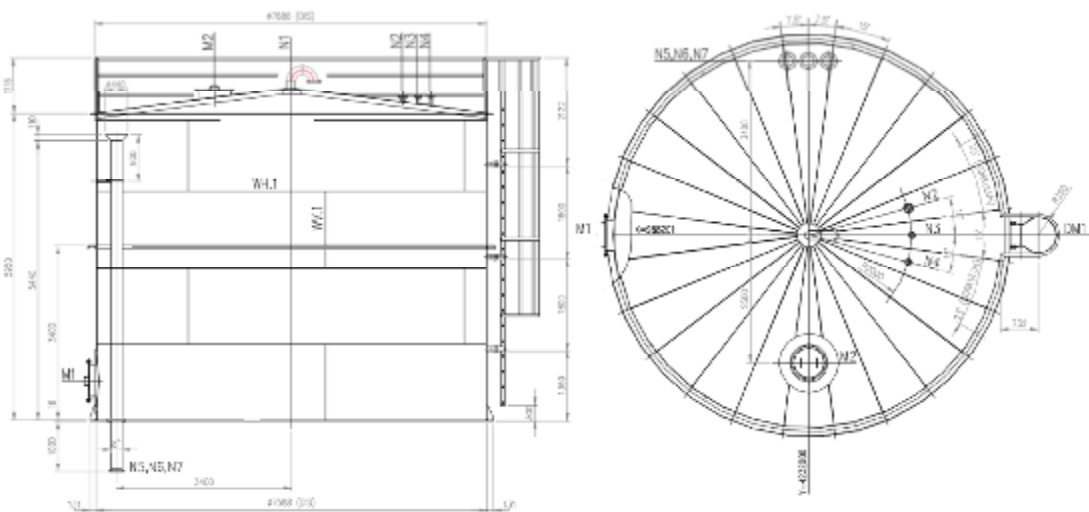
3

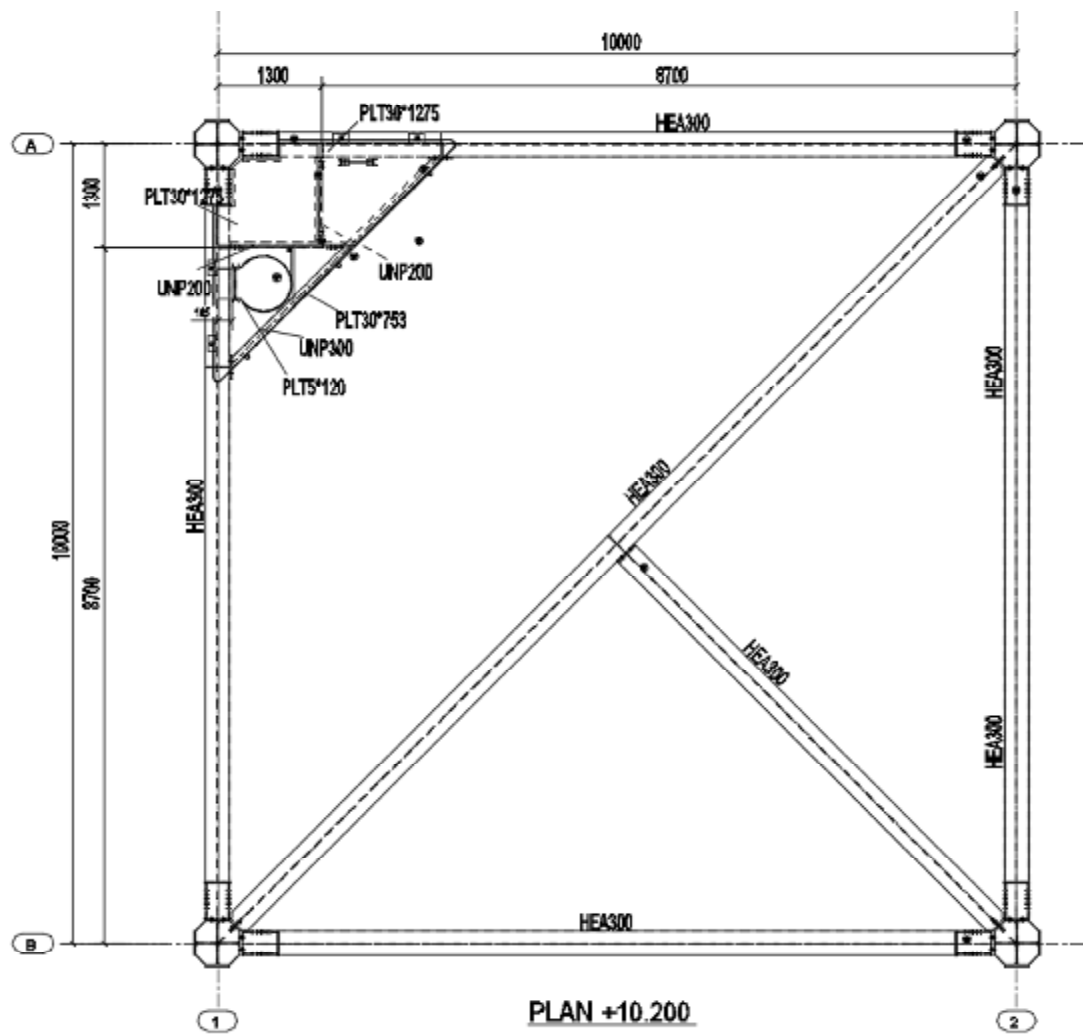


5

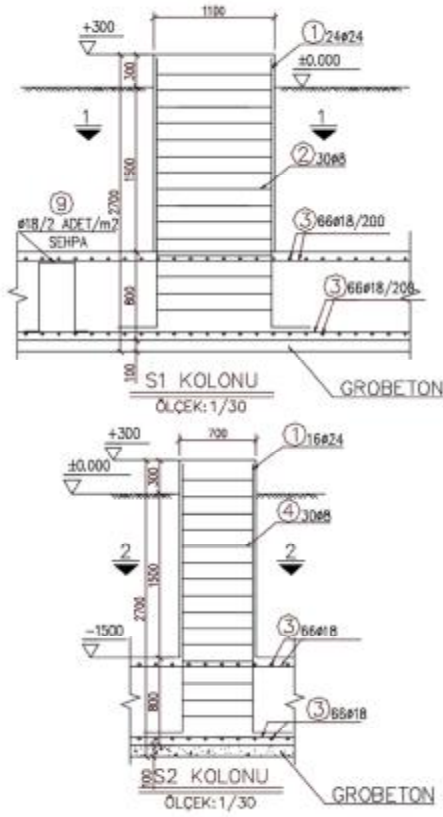
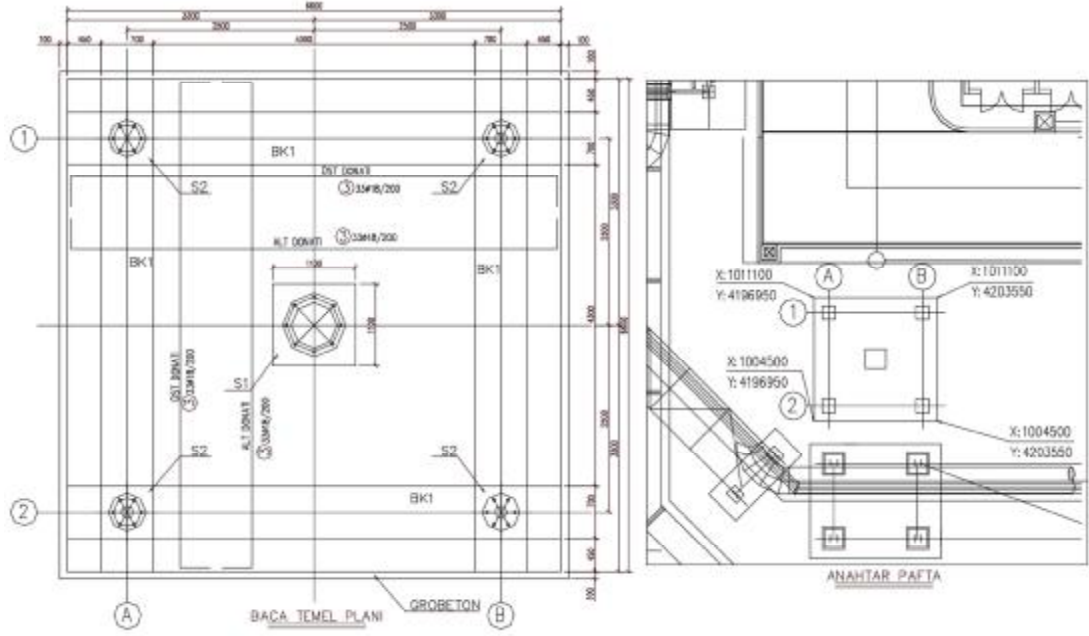
EK.3. Sıcak Haddehane Su Kulesi Detayları







EK.4. Sıcak Haddehane Yakma Bacası Detayları



DEMİR METRAJİ											
MARKA	POZ	ŞEKİL	ÇAP (mm)	BOY (cm)	ADET	TOPLAM BOY (metre)					
						Ø8	Ø12	Ø18	Ø24	Ø26	Ø36
BACA TEMELİ	1		Ø24	3000	88				264,0		
	2		Ø8	4310	30	129,3					
	3		Ø18	7400	132			976,8			
	4		Ø8	2400	120	288,0					
	5		Ø24	7400	24			177,6			
	6		Ø26	7400	24			177,6			
	7		Ø12	7400	8		58,2				
	8		Ø8	2810	176	512,2					
	9		Ø18	2360	88			207,7			
AN-1(1 AD)	10		Ø36	1905	8					15,3	
	11		Ø50 X15		3					0,026	
	SOMUN				16						
AN-2(4 AD)	10		Ø36	1905	24					45,7	
	12		Ø50 X15		12					0,04	
	SOMUN				48						
TOPLAM BOY(m)						929,5	58,2	1184,5	441,6	177,6	61,0
BİRİM AĞIRLIK(Kg/m)						0,395	0,888	2,000	3,550	4,170	7,999
TOPLAM AĞIRLIK(Kg)						367,2	52,6	2,369,0	1,570,0	740,5	487,9
GENEL AĞIRLIK(Kg)						6105,3					

