



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ÇELİK YAPILARIN DİNAMİK PARAMETRELERİNE
KABLO ELEMANLARIN ETKİSİNİN OPERASYONEL
MODAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ**

Doktora Tezi

Furkan GÜNDAY

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2021

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**ÇELİK YAPILARIN DİNAMİK PARAMETRELERİNE
KABLO ELEMANLARIN ETKİSİNİN OPERASYONEL
MODAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ**

Doktora Tezi

Furkan GÜNDAY

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

SAMSUN
2021

TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan GÜNDAY tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA danışmanlığında hazırlanan “Çelik Yapıların Dinamik Parametrelerine Kablo Elemanların Etkisinin Operasyonel Modal Analiz ile İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 31.12.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Azer KASIMZADE Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Prof. Dr. İsa ÇÖMEZ Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

22 /12 / 2021

Furkan GÜNDAY

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Çelik Yapıların Dinamik Parametrelerine Kablo Elemanların Etkisinin Operasyonel Modal Analiz ile İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 22.12.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 18

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

İmza

22 /12 / 2021

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

ÖZET

ÇELİK YAPILARIN DİNAMİK PARAMETRELERİNE KABLO ELEMANLARIN ETKİSİNİN OPERASYONEL MODAL ANALİZ İLE İNCELENMESİ

Furkan GÜNDAY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora, Aralık/2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA

Bu çalışmada çelik yapıların kablo elemanlarla güçlendirilmesinin yapı dinamik davranışına etkilerini gözlemlemek ve ortaya çıkarmak amacıyla bir model üzerinden iki ayrı model oluşturulmasına karar verilmiştir. Oluşturulan modeller kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ile bu elemanların sökülerek oluşturulan ikinci bir model olan kablo elemanları sökülmüş çelik deney yapısı oluşturulmuştur. Yöntem olarak operasyonel modal analiz yöntemi hem pratikliği hem de yenilikçi bir yöntem olarak güncel çalışmalarda kullanılması ve güvenilir sonuçlar alınması açısından tercih edilmiştir. Tüm ölçümler güvenilirlik ve dış etkenlerin etkisini en aza indirmek amacıyla laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Her iki modelin dinamik parametrelerini belirlemek için aynı yöntem ve koşullar kullanılarak deneylerdeki tek değişenin kablo elemanlar olması dolayısıyla değişen dinamik etkilerin kablo elemanlara bağlı olması sağlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda çelik deney yapısının hâkim frekansı 3.199 Hz, hâkim periyodu ise 0.312 s olarak elde edilmiştir. Sönüm oranı ise %3,1 olarak deneysel sönüm oranı bulunmuştur. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısında ise hâkim frekans 3.494 Hz, hâkim periyot 0.286 s olarak elde edilmiştir. Sönüm oranı ise %1,8 olarak deneysel sönüm oranı bulunmuştur. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile birlikte kablo elemanların çelik deney yapısının dinamik parametrelere etkisi hâkim frekansta %8,44 artış sağladığı, hâkim periyotta ise %8.33 azalış sağladığı görülmektedir. Ek olarak sönümdeki azalma ile bağlantılı olarak rijitlik artışından bahsedilebilmektedir. Tüm bu bulgular ışığında kablo elemanlarla ile güçlendirme tekniğinin olumlu sonuçları görülmekte ve önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Operasyonel modal analiz, Kablo elemanlar, Çelik yapılar
Sönüm oranı, Periyot ve frekans

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CABLE ELEMENTS ON THE DYNAMIC PARAMETERS OF STEEL STRUCTURES BY OPERATIONAL MODAL ANALYSIS

Furkan GÜNDAY

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Ph.D., December/2021

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sertaç TUHTA

In this study, it was decided to form two separate models over one model in order to observe and reveal the effects of strengthening of steel structures with cable elements on the dynamic behavior of the structure. The models, steel test structure reinforced with cable elements and a second model which is formed by removing these elements, steel test structure has been formed. Operational modal analysis method has been preferred both in terms of its practicality and as an innovative method in terms of its use in current studies and obtaining reliable results. All measurements were performed in the laboratory to minimize reliability and influence of external factors. Using the same method and conditions to determine the dynamic parameters of both models, it was ensured that the only change in the experiments was cable elements, so that the changing dynamic effects were dependent on the cable elements.

As a result of the study, the dominant frequency of the steel test structure was obtained as 3.199 Hz and the dominant period as 0.312 s. The damping ratio was found to be 3.1% experimental damping rate. In the test structure reinforced with cable elements, the dominant frequency was 3.494 Hz and the dominant period was 0.286 s. The damping ratio was found to be 1.8% experimental damping rate. With the comparison of the obtained results, the effect of the steel test structure of the cable elements on the dynamic parameters increased 8.44% in the dominant frequency and 8.33% decrease in the dominant period. In addition, the stiffness increase can be mentioned in connection with the decrease in damping. In the light of all these findings, the positive results of the reinforcement technique with cable elements are seen and suggested.

Keywords: Operational modal analysis, Cable elements, Steel structures, Damping ratio, Period and frequency

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimi süresince hem bilimsel olarak hem de hayatta bana yol gösteren, en karanlık anları dahi aydınlatabilen ve aydınlata bilineceğini gösteren, pes etmemeyi öğreten ve bilimin değerini bana kavratarak ufkumu açan, her konuda yardımlarını esirgemeyen çok değerli ağabeyim ve değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA'ya,

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimi süresince yardımlarını ve büyüklüğünü de esirgemeyerek bilgi ve deneyimlerini bana aktaran değerli büyüğüm ve değerli hocam Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE'ye,

Tez izleme süreci boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve tez sürecinin ilerlemesinde katkılarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ'e,

Eğitim öğretim hayatım boyunca bana katkıları olabilen arkadaşlarım, dostlarım ve hocalarıma,

Hayatta ve akademisyenlikte duruşuyla bana örnek olan babam Prof. Dr. Rıfat GÜNDAY'a,

Doktora öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen ve bugünlere beni getiren değerli aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Furkan GÜNDAY

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Çelik Deney Yapısı Hakkında Genel Bilgiler	27
3.1.2. Kablo Elemanlar ve Kablo Elemanlarla Güçlendirme Hakkında Genel Bilgiler	43
3.1.3. Deneysel Çalışma İçin Kullanılan Cihazlar Hakkında Genel Bilgiler	56
3.2. Yöntem	69
3.2.1. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler ve Hareket Denklemleri	69
3.2.2. Sistem Tanımlama	72
3.2.3. Operasyonel Modal Analiz	83
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	94
4.1. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının İncelenmesi	96
4.1.1. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Deneysel Ölçümlere Hazırlanması	96
4.1.2. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analiz Hazırlıkları	103
4.1.3. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analizi ile Elde Edilen Veriler	110
4.2. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının İncelenmesi	121
4.2.1. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Deneysel Ölçümlere Hazırlanması	121
4.2.2. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analiz Hazırlıkları	122
4.2.3. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analizi ile Elde Edilen Veriler	124
4.3. Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması	135
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	139
KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ	153

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

N	: Kayıt toplam nokta sayısı
Δ_t	: Kayıt örnekleme aralığı
Δ_f	: Frekans çözünürlüğü
f_N	: Nyquist frekansı
f	: Frekans
$x(t)$: Yatay ivmeölçer kaydı
$\{u\}$: Düğüm yer değişirmesi
$[k]$: Rijitlik matrisi
$[c]$: Sönüm matrisi
$[m]$: Kütle matrisi
ω_{oi}	: Sönümsüz sistemin serbest titreşim frekansı
$\{a_i\}$: Sönümsüz sistemin doğal titreşim mod şekli
$\{F_e\}$: Sisteme etkiyen elastik kuvvet
$\{F_c\}$: Sisteme etkiyen sönüm kuvveti
$\{F_I\}$: Sisteme etkiyen atalet kuvveti
k_{ij}	: Birim yer değiştirmeden oluşmuş kuvvet
c_{ij}	: Birim yer değiştirmeden oluşmuş kuvvet
m_{ij}	: Birim yer değiştirmeden oluşmuş kuvvet
e_0	: Tesir vektörü
e_*	: Tesir vektörü
A	: Durum matrisi
B	: Giriş etki matrisi
C	: Çıkış etki matrisi
D	: Doğrudan iletme matrisi
$\underline{x}(t)$: Durum vektörü
$\underline{u}(t)$: Sistem girdi vektörü
$\underline{y}(t)$: Sistem çıktı vektörü
$\hat{\underline{x}}_k$: Gözlemsel durum vektörü

(\underline{X}_k)	: Gözlenemeyen rasgele vektörler dizisi
(\underline{Y}_k)	: Gözlenebilen rasgele vektörler dizisi
(\underline{W}_k)	: Gözlenemeyen rasgele hata vektörleri dizisi
$K(k)$: Kalman kazanç matrisi
P_0	: Başlangıç kovaryans matrisi
$[A]$: Sistem matrisi
$[B]$: Sistem matrisi
$[C]$: Sistem matrisi
$\{u_k\}$: Ayrık zaman durgunlaşmış yer değişme vektörü
$[A]$: Ayrık-zamanda sistem matrisi
$[B]$: Ayrık-zamanda giriş matrisi
$[I]$: Birim matrisi
$\{w_k\}$: Sistem oluşum gürültüsü
$\{v_k\}$: Sistem oluşum gürültüsü
$\{y_k\}$: Sistem oluşum gürültüsü
ψ	: Öz vektör
λ	: Kompleks öz değer
ξ	: Sönüm oranı
T	: Periyot
ω	: Frekans

KISALTMALAR

OMA	: Operasyonel Modal Analiz
DM	: Deneysel Modal Analiz
MGK	: Modal Güvenlik Kriteri
GFTAA	: Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma
FTAA	: Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma
MGK	: Modal Güvenlik Kriteri
GSY	: Güç Spektral Yoğunluk
SAB	: Stokastik Altalan Belirleme
SEM	: Sonlu Elemanlar Modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yönetmeliğe Göre İvmeölçer Konumlandırılma Şartları.....	3
Şekil 3.1. Temel profillerinin (IPG260) yerleştirilmesi ve montajı	27
Şekil 3.2. Kolonların (IPG200) temele yerleştirilmesi ve montajı.....	28
Şekil 3.3. Kirişleri (I80) yerleştirilmesi ve montajı.....	28
Şekil 3.4. Çelik deney yapısı	29
Şekil 3.5. Çelik deney yapısında kurşun kütlelerin yerleşim düzeni.....	29
Şekil 3.6. Kurşun kütle detayları	31
Şekil 3.7. Kolon ayağı detayı ve bağlantı levhaları.....	33
Şekil 3.8. Kolonlar arası bağlantı detayı ve bağlantı levhaları.....	34
Şekil 3.9. Kolon başlığına bağlanmış kiriş detayı ve bağlantı levhaları	35
Şekil 3.10. Kolon gövdesine bağlanmış kiriş detayı ve bağlantı levhaları.....	36
Şekil 3.11. X-X aksındaki kirişlere aktarılmış kütlelerin yerleşim düzeni.....	37
Şekil 3.12. Y-Y aksındaki kirişlere aktarılmış kütlelerin yerleşim düzeni.....	38
Şekil 3.13. Döşemede kullanılan çapraz eleman kesiti	39
Şekil 3.14. Kablo eleman detayı	39
Şekil 3.15. IPG 260 profil kesiti.....	40
Şekil 3.16. IPG 200 profil kesiti.....	41
Şekil 3.17. IPN 80 profil kesiti	42
Şekil 3.18. Halatı (Kablo) oluşturan elemanlar	44
Şekil 3.19. Halat (Kablo) en kesiti	45
Şekil 3.20. Farklı özlerde halat (kablo) en kesitleri.....	46
Şekil 3.21. Lif öz halat en kesiti	46
Şekil 3.22. Demet öz halat en kesiti	47
Şekil 3.23. Bağımsız çelik öz halat en kesiti	47

Şekil 3.24. Halat sarım şekilleri	48
Şekil 3.25. Çelik halatlarda çap ölçümü ve yaygın hata.....	49
Şekil 3.26. 6x24 Lif öz çelik halat.....	49
Şekil 3.27. 7x7 demet(damar) çelik öz çelik halat	49
Şekil 3.28. 6x19 bağımsız çelik öz çelik halat	50
Şekil 3.29. Çalışmada kullanılan halat(kablo) özellikleri	50
Şekil 3.30. Çelik sapan ve çelik gergi	51
Şekil 3.31. Yüksük ve radansa	52
Şekil 3.32. Çelik halat ekipmanların bağlanmış durum örneği	52
Şekil 3.33. Kablo elemanlarla güçlendirilmiş sistemin birleşim noktası detayı.....	52
Şekil 3.34. Çalışmada kablo elemanların bağlanma örneği-1	53
Şekil 3.35. Çalışmada kablo elemanların bağlanma örneği-2	54
Şekil 3.36. Hasara uğramış halatta çap daralması	55
Şekil 3.37. Çelik halatlarda bağlantı noktasında oluşan korozyon.....	55
Şekil 3.38. Tek eksenli ivme ölçer	58
Şekil 3.39. Üç eksenli ivme ölçer	59
Şekil 3.40. 4 Kanallı dinamik veri toplama cihazı ve ivme kayıt sistemi	61
Şekil 3.41. GPS anteni.....	62
Şekil 3.42. Veri toplama ünitesinin ölçüm uyarıcıları.....	63
Şekil 3.43. Testlab network yazılımı	65
Şekil 3.44. Kalibrasyon paneli.....	66
Şekil 3.45. Artemis modal pro yazılımı arayüzü.....	67
Şekil 3.46. Sistem tanımlama genel şeması.....	72
Şekil 3.47. Operasyonel modal analiz şeması	87
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan tork anahtarı.....	98
Şekil 4.2. Metrik civataların gerilme yükü ve sıkma torku değerleri.....	99
Şekil 4.3. Çelik deney yapısı bağlantı elemanlarının tork anahtarı ile sıkılması ve kontrolü	100

Şekil 4.4. LWS 3F 310 Elektronik Yük Ölçme Sistemi.....	101
Şekil 4.5. Kablo eleman gerilme kontrolü.....	102
Şekil 4.6. İvmeölçer yerleşim planı.....	106
Şekil 4.7. İvmeölçer yerleşim işlemleri -1.....	106
Şekil 4.8. İvmeölçer yerleşim işlemleri -2.....	107
Şekil 4.9. İvmeölçerin yönleri ve sabitlenmesi	107
Şekil 4.10. Sismometrenin zemine yerleştirilmesi	108
Şekil 4.11. İvmeölçer ve sismometrenin veri toplama ünitelerine bağlanması.....	108
Şekil 4.12. Çelik deney yapısının ölçüme hazır hali	109
Şekil 4.13. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının modellenmesi	111
Şekil 4.14. İvmeölçerlerin yerleşim planı.....	111
Şekil 4.15. 1. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	112
Şekil 4.16. 2. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	112
Şekil 4.17. 3. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	113
Şekil 4.18. 4. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	113
Şekil 4.19. SSI-CVA Spektral yoğunluk grafiği	114
Şekil 4.20. OMA SSI-CVA 1.Mod	115
Şekil 4.21. OMA SSI-CVA 2.Mod	115
Şekil 4.22. OMA SSI-CVA 3.Mod	116
Şekil 4.23. OMA SSI-CVA 4.Mod	116
Şekil 4.24. OMA SSI-CVA 5.Mod	117
Şekil 4.25. MGK matrisi	118
Şekil 4.26. SEM 1.Mod - SSI-CVA 1.Mod.....	119
Şekil 4.27. SEM 2.Mod - SSI-CVA 2.Mod.....	119
Şekil 4.28. SEM 3.Mod - SSI-CVA 3.Mod.....	120
Şekil 4.29. SEM 4.Mod - SSI-CVA 4.Mod.....	120
Şekil 4.30. SEM 1.Mod - SSI-CVA 1.Mod.....	121

Şekil 4.31. Kablo elemanların sökülmesi	122
Şekil 4.32. Çelik deney yapısının ölçüme hazır hali	123
Şekil 4.33. Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının modellenmesi.....	125
Şekil 4.34. İvmeölçerlerin yerleşim planı.....	125
Şekil 4.35. 1. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	126
Şekil 4.36. 2. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	126
Şekil 4.37. 3. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	127
Şekil 4.38. 4. Kattan elde edilen ivme değerleri.....	127
Şekil 4.39. SSI-CVA Spektral yoğunluk grafiği	128
Şekil 4.40. OMA SSI-CVA 1.Mod	129
Şekil 4.41. OMA SSI-CVA 2.Mod	129
Şekil 4.42. OMA SSI-CVA 3.Mod	130
Şekil 4.43. OMA SSI-CVA 4.Mod	130
Şekil 4.44. OMA SSI-CVA 5.Mod	131
Şekil 4.45. MGK matrisi	131
Şekil 4.46. SEM 1.Mod - SSI-CVA 1.Mod.....	132
Şekil 4.47. SEM 2.Mod - SSI-CVA 2.Mod.....	133
Şekil 4.48. SEM 3.Mod - SSI-CVA 3.Mod.....	133
Şekil 4.49. SEM 4.Mod - SSI-CVA 4.Mod.....	134
Şekil 4.50. SEM 5.Mod - SSI-CVA 5.Mod.....	134

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	Çelik deney yapısı kurşun kütleler ile birlikte oluşan yeni kütle dağılımı	30
Tablo 3.2.	IPG 260 profiline ait boyutlar	40
Tablo 3.3.	IPG 260 profiline ait atalet ve dayanma momentleri	40
Tablo 3.4.	IPG 200 profiline ait boyutlar	41
Tablo 3.5.	IPG 200 profiline ait atalet ve dayanma momentleri	41
Tablo 3.6.	IPN 80 profiline ait boyutlar	43
Tablo 3.7.	IPG 80 profiline ait atalet ve dayanma momentleri	43
Tablo 3.8.	İvme ölçerlerin teknik özellikleri.....	59
Tablo 3.9.	Veri toplama cihazı teknik özellikleri.....	61
Tablo 4.1.	Çelik deney yapısı kurşun kütleler ile birlikte oluşan yeni kütle dağılımı	99
Tablo 4.2.	LWS 3F 310 Elektronik Yük Ölçme Sistemi Özellikleri	101
Tablo 4.3.	Minimum ölçüm süresi	110
Tablo 4.4.	Operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametreler	114
Tablo 4.5.	Operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametreler	128
Tablo 4.6.	Frekans değerlerinin karşılaştırılması	135
Tablo 4.7.	Periyot değerlerinin karşılaştırılması	136
Tablo 4.8.	Sönüm değerlerinin karşılaştırılması	137

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği alanında her geçen gün teknolojik gelişmeler olmaktadır. Yapıların daha güvenli tasarımı için her geçen gün bilimsel çalışmalar ve buna bağlı olarak yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır. Gerek kullanılan malzeme teknolojisinde gerekse tasarım anlayışında her geçen gün ilerleme kaydedilmektedir. Yönetmelikler ve hesap yöntemleri buna bağlı olarak değişmektedir. Global açıdan bakılacak olursa bu gelişmelerin olması adeta zorunluluktur. İnsanlık var olduğu sürece inşaatında var olacağı yadsınamaz bir gerçektir. Bu yüzden tüm dünya üzerinde inşaat mühendisliği alanında birçok araştırmalar yapılmakta ve gelişmeler kat edilmektedir. Ülkemizde de inşaat mühendisliği alanında son yıllarda olumlu gelişmeler göze çarpmaktadır.

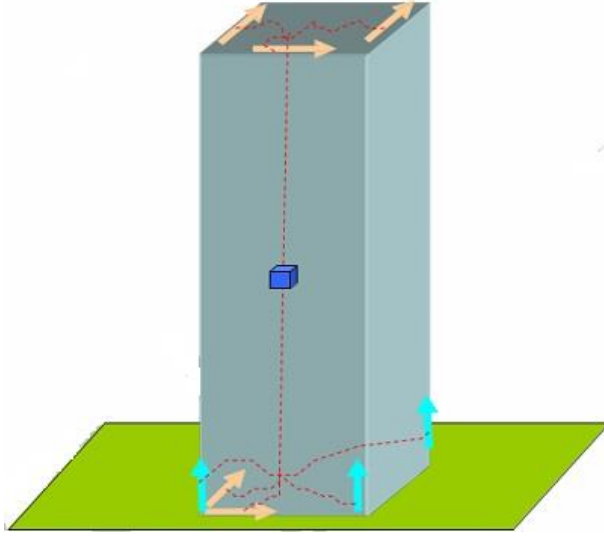
Türkiye ve inşaat denildiğinde akla ilk gelen şüphesiz ki depremdir. Türkiye deprem kuşağı ülkesidir ve özellikle güncel olarak 1999 Marmara Deprem’inde ülke çapında çok büyük acılar yaşamıştır. Hem maddi hem manevi kayıplar üzücü derece de yüksek olup acıları hala sarılamamıştır. Ayrıca 2011 yılında Van Deprem’inde de her ne kadar bölgesel olsa da ve Marmara Deprem’i kadar kayıplar yaşanmamışsa da yine de kayıplar yaşanmıştır. Bu da bize son yıllarda neredeyse 10 yılda bir büyük maddi ve manevi kayıplara yol açan depremlerin Türkiye ‘de gerçekleştiğini gözler önüne sermiştir. Tüm bu nedenlerle Türkiye olarak inşaat alanında ve bilakis deprem mühendisliği alanında çok daha titiz olunması gerektiği ortaya çıkarmıştır. Hem mevcut yapıların emniyeti ve özellikle sismik yüklere karşı emniyeti hem de yeni yapılacak yapıların emniyeti çok önemli bir gündem oluşturmaktadır.

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi çalışmaları, genellikle yaşanan önemli bir deprem sonrası gündeme gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, depremden etkilenmiş yapıların deprem sonrası durumlarının saptanması ve onarım-güçlendirme gereksiniminin belirlenmesidir. Ülkemizde geçmişte yaşanan uygulama sisteminde, “hasar tespiti” olarak adlandırılan bir inceleme sonucunda yapının hasar derecesi belirlenmekte ve ağır hasarlı yapıların yıkılmasına, orta hasarlı yapıların onarılıp güçlendirilmesine, az hasarlı yapıların ise sadece onarımına karar verilmektedir. Yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas amaç, var olan yapılarda gerekli inceleme ve hesapların olası bir depremden önce yapılar ve yetersiz görülen yapıların depremde hedeflenen performans seviyesine yükseltilmesi için uygulanacak iyileştirme işlemlerine karar verilmesidir. Deprem tehlikesi altında

olan kentsel yerleşimlerde yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan pek çok yapı olduğu bilinmektedir (Tuhta, 2010).

Yapıların deprem performansını değerlendirmek için birçok yöntem mevcuttur. Fakat birçok eski yöntem (karot alınması vb.) mevcut yapıya hasar vermektedir. Ayrıca yapıyı tam olarak temsil etmemektedir. Özellikle betonarme yapılarda hem yapıya hasar verip hem de güvenilir bir sonuç alınamamasıyla süreç sonlanmaktadır. Çünkü malzeme özellikleri uygulamaya da bağlı olarak homojen olması imkansızdır. Diğer hesaplanamayan dış çevresel şartlarda buna eklendiğinde sonucun pek güvenilir olmadığı ve tahribatlı yapı parametre belirleme yöntemlerinin ilkel kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Son yıllarda bu nedenle tahribatsız yapı özellikleri belirleme yöntemleri geliştirilmiş ve bu alanda dünyanın birçok farklı ülkesin birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanında yapı sağlığı izleme yöntemi diğer bir adıyla (*Structural Health Monitoring*) geliştirilmiştir. Bu yöntemin esası yapının düğüm noktalarına hassas ivmeölçerler yerleştirilerek yapının tepkileri ölçülen ivmeler değerlendirilerek 24 saat boyunca izleme esasına dayanmaktadır. Bu alanda gelişmiş ülkelerde birçok çalışma yapılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin bazı eyaletlerinde belli yüksekliğin üzerindeki binaların 24 saat izlenmesi zorunlu olmuştur. Ülkemizde de yeni deprem yönetmeliğinde yapı sağlığı izleme sistemi, yüksek yapılar için zorunlu hale getirilmiştir. Bunun yanında stratejik yapılarda da bu sistem kullanılmaktadır. Yönetmeliğin maddelerine göre sırasıyla;

1) **13.8.1 md** – Yüksek binaların gerçek deprem davranışlarını izlemek ve olası bir deprem sonrasında yapısal sistemde hasar olup olmadığını kısa sürede belirleyebilmek amacıyla, DTS = 1, 1a, 2, 2a olan yüksek binalarda yapı sahibi tarafından Şekil 1.1'deki düzene göre yerleştirilecek en az 8 ivme ölçerden ve bir kayıt sisteminden oluşan bir yapı sağlığı izleme sistemi kurulacaktır. (En az 8 adet ivme ölçer yerleştirilecek 5'i yatay 3'ü dikey olmak üzere ölçümler AFAD tarafından da eş zamanlı incelenecektir.)



Şekil 1.1. Yönetmeliğe Göre İvmeölçer Konumlandırılma Şartları

2) **13.8.1 md** – İvme ölçerler senkronize olarak en az 24-bit duyarlığında ve GPS zaman karthlı dijital bir kayıt sistemine bağlanacaktır. Kayıt sistemi bina titreşimlerini sürekli olarak kaydedecek ve verileri belirlenen merkezlere internet, modem veya benzeri kanallardan gerçek zamanlı olarak transfer edebilecektir. Sistem, elektrik veya iletişimin kesilmesi durumunda en az bir hafta süreyle çalışabilecek ve veriyi kendi içinde saklayabilecek batarya ve disk kapasitesine sahip olacaktır.

3) **13.8.3** – İzleme sisteminde kullanılacak sensör ve kayıt sistemlerinin tesisinde AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından belirlenen teknik kriterler uygulanacaktır.

4) **13.8.4** – Titreşim kayıtları gerçek zamanlı olarak AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı'ndaki Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi'ne gönderilecek ve kayıtlar hem yapı sahibi hem de bu merkez tarafından arşivlenecektir.

5) **13.8.5** – İzleme sisteminin bakımından ve korunmasından yapı sahipleri sorumlu olacaktır.

Yönetmelikteki maddelerin yorumlandığında ise buradaki amacın yapının tepkisinin anlık ortaya konulması isteğidir. Ayrıca bu yöntemin tahribatsız olması ayrıca avantaj sağlamaktadır.

Yapı sağlığı izleme esaslarını temel alan birçok tahribatsız yapı modal parametre belirleme yöntemleri de mevcuttur. Operasyonel modal analiz (OMA) yöntemi de bu

yöntemlerden birisidir. Temel olarak mantığına bakıldığında yapı sağlığı izleme ile aynıdır. Sadece farkı yapı sağlığı izleme de 24 saat canlı veriler alınmaktadır, operasyonel modal analiz de ise çevresel titreşimlere bağlı olarak belirli düğüm noktalarından ivme değerleri alınarak ve alınan verilerin işlenmesi ile yapının modal parametrelerinin tahmini yapılır. Operasyonel modal analiz ölçüm süresi yapının türüne ve parametrelerine göre ölçüm süresi 5000 saniye ile 200 saniye arasında değişim göstermektedir. Bu ölçüm süreleri C. Ventura'nın "Operasyonel modal analize giriş" alınmıştır ve çoğu kaynakta da bu şekilde kabul edilmektedir.

Ortam titreşimleri altında sistemlerin modal özelliklerini inceleyen mühendislik alanı veya bu modal analiz yöntemine Operasyonel Modal Analiz (OMA) denir ve Yapı mühendisliği alanında modal analizi için faydalı yöntemler sunar. Bir yapısal sistemin modal özelliklerinin belirlenmesi, bir matematiksel modelin dinamik özelliklerini deneysel ölçümlerden elde edilen sistemin fiziksel özellikleri ile ilişkilendirme işlemidir (Ventura, 2015).

Türkiye'de 2018 de deprem yönetmeliği değişmiştir. En önemli değişiklik ise performansa dayalı tasarıma geçilmiştir. Bu yönetmelik değişikliği ile birlikte birçok yapıda (Bina, köprü, vb.) emniyet ve güvenlik şartlarını sağlamamaktadır. Ayrıca yapıların teorik analizlerinde çoğunlukla deprem, rüzgâr ve kar yükü dikkate alınmakta ve yapılar bu yüklerle karşı dayanıklı olarak projelendirilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, yapıların dış etkiler altında çok fazla zarar görmemesi beklenmektedir. Fakat uygulamada yapılan hatalar olmakla birlikte, genellikle yapıların projelendirme aşamasında yapılan kabullerin gerçekte tam olarak sağlanamadığı görülmektedir. Bu nedenle yapılması gereken, inşa edilmiş veya kullanılmakta olan yapıların mevcut durumlarının dikkate alınarak dinamik davranışlarında etkili olan parametrelerin belirlenmesidir. Belirlenen parametreler sonucunda yapılarda risk oluşuyor ise risk faktörüne göre güçlendirme yapılmalı veya yıkılmalıdır. Bunlara ek olarak aynı zamanda güçlendirilmesi gereken tarihi yapılar da mevcuttur. Tüm bu sebeplerden yola çıkılarak bu çalışma mevcut bir yapının güçlendirilmesi üzerine laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesinin en önemli sebebi sonuçların daha güvenilir elde edilmesini sağlamak ve olası dış etkenlere müdahale etmenin kolaylığıdır. Her ne kadar ülkemizde yapı stokunun çok önemli bir kısmını oluşturan betonarme yapılar için akla gelse de ülkemizde son yıllarda çelik yapı sistemleri de giderek artmaktadır. Ayrıca çelik yapının betonarme yapılara göre

daha az değişkeninin olması diğer bir deyişle homojen ve profiller fabrikalarda daha kontrollü ve güvenilir bir şekilde üretilmiş olması tüm bunlara bağlı olarak deprem performansının betonarme yapılara göre üstün olması ve uygulama kolaylıkları gibi sebeplerle ülkemizde ve dünyada çelik yapılara yönelim gitgide artmaktadır. Tüm bu nedenlerden ötürü bu tez çalışmasında çelik deney yapısı kullanılmıştır. Mevcut çelik deney yapısı kablo elemanlar ile güçlendirilerek bu güçlendirmenin modal parametreler (frekans, periyot, sönüm oranı ve mod şekilleri) üzerine etkisini incelemek amaçlanmıştır. Kablo eleman kullanılmasının en önemli sebebi ise yapının kütlesini çok fazla artırmamaktır. Kablo elemanlar hafif olması, istenildiğinde ön gerilme verilebilmesi, uygulama kolaylığı ve ekonomik bir yöntem olması açısından avantajlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca kullanım alanlarının geniş olması örneğin asma köprüler gibi yapılarda kullanılması dinamik etkilerinin incelenmesi için bir sebep oluşturmaktadır. Bu çalışmada her iki modelden de aynı şartlar altında ve aynı ivmeölçerler ve aynı ortam kullanılarak çalışmanın titizlikle yürütülmesi dolayısı ile güvenilir sonuçlar elde etmek istenmektedir. Her iki modelin modal parametreleri (frekans, periyot, sönüm oranı ve mod şekilleri) operasyonel modal analiz yöntemi ile belirlenerek elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda kablo elemanlarla güçlendirmenin çelik deney yapısının dinamik davranışına etkileri incelenecektir.

Binaların dinamik özelliklerinin belirlenmesi bina deprem performansının tayini için gereklidir. Sistem binanın dinamik yük tepkilerinin inceleme sonuçlarına dayanarak, deprem esnasında performansını belirlemeyi ve kritik bölgelerindeki elemanlarının davranışının değerlendirilmesini hedeflemektedir. Sistemin tam bir uyum içinde çalışması sonucunda alınacak sonuçlar binalar hakkında çok detaylı bilgiler edinmemizi sağlayacaktır (Kasımzade ve Tuhta, 2007).

Bu çalışmanın amacı, bir yapı güçlendirme yöntemi olan kablo elemanlar ile güçlendirmenin dinamik etkisinin mevcut deney yapısında ortaya koymaktır. Mevcut deney yapısının güçlendirilmemiş ve kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumda doğal frekanslar, periyotlar, sönüm oranları ve mod şekilleri ayrı ayrı karşılaştırılarak kablo elemanların yapı dinamik davranışına etkileri gözler önüne serilecektir. Kullanılan her bir materyal ve yöntemle ilgili bilgiler ayrıntılı olarak verilmiştir. Konu ile alakalı gerçekleştirilmiş daha önceki çalışmalar ise literatür özeti bölümünde ayrıntılı olarak verilerek bu çalışmanın dayanağının ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Konu hakkında yapılan çalışmalar titizlikle incelenerek yapılan bu çalışmaya ışık tutması sağlanmıştır. Özetlenen çalışmalar dışında konu ile alakalı birçok araştırma yapılmıştır. Özetler tarihsel kronolojiye göre verilerek aynı zamanda alandaki gelişmelerin yıllara göre incelenmesini, gelişim miktarını ve başlangıçta bu noktaya kadar nasıl geldiğinin görülmesini sağlanması amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu bölüm çalışmanın veya konunun tarihçesi olma özelliğini de taşır. Konu ile alakalı önemli başlıca çalışmalar aşağıda kronolojik olarak verilmektedir.

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte tasarım sürecinde sayısal modellerin kullanım alanı yaygınlaşmakta ve sayısal modellerden beklentiler artmaktadır. Sayısal modeller tasarım, tasarımda yapılan değişikliklerin sınanması ve optimizasyon gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Sayısal model sonuçları, yapılan kabullere bağlı olarak yapıyı temsil etmektedir. Yanlış yapılan kabullerin sonucunda sayısal modelin sonuçları gerçekten uzak olabilmektedir. Bilim alanı olarak sistem tanımlama kavramı ve terimi 1962 yılında Zadeh tarafından sunulmuştur (Zadeh, 1962) ve şu şekilde tanımlanmıştır. Sistemden gözlenen veya toplanan veriler kullanarak o sistemin dinamik yapısı hakkında (genellikle matematiksel) model oluşturulması ya da yapılandırılmasına sistem tanımlama denilmektedir.

Sistem tanımlama üç temel adımdan oluşmaktadır:

1- Model seçimi ve denenmesi-sistem modellenerek ve deney planlanarak sistem tepkileri ölçülür.

2- Parametre tahmini-seçilmiş model ve ölçülmüş tepkileri kullanarak sistem parametreleri tahmin edilir. Yapı mekaniğinde parametre tahmini yapısal modal parametrelerin (modal frekanslar, mod şekilleri, modal sönüm, vs.) teşhis edilmesinde kullanılır, bunlarda yapı sisteminin davranışını belirlemektedir.

3- Modal doğrulama veya model güncelleştirme

Fagin (1964), Fitzgerald (1971), filtreleme problemi üzerinde birçok çalışma yapmışlardır. Kalman filtresinin ıraksaması durumunu incelemişlerdir.

Magill (1965), çoklu model algoritmaları üzerinde çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bilinmeyen parametreleri ve bilinen kovaryansları olan bir model için en iyi tahminin, koşullu tahminlerin ağırlıklı olarak toplamı olduğu tarafından ortaya konulmuştur.

Burada ağırlıklar, her parametrenin doğruluğuna ait koşullu olasılıklardır. Zamandan bağımsız durum için ilk çoklu model yaklaşımını uygulamıştır. Bu yaklaşımda, hesaplama yükü artmasına rağmen, tahmin performansı artmaktadır. Önceki çalışmalarda, tahmin yapılırken sistem modları arasında geçiş olmayacağı varsayılmıştır. Bu yaklaşım geçişsiz çoklu model algoritmalarının kurulmasına öncülük etmiştir.

Wong vd. (1967), doğrusal zamanla değişmeyen ayrık zamanlı sistemlerin parametrelerinin tahmini için, yardımcı değişken yönteminin kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Bu yöntem için en iyi çözümü veren tahminlerin var olduğunu kanıtlamış ve ardışık hesaplamaya dayalı çevrimiçi tanımlama yöntemini kullanmışlardır. Yardımcı değişken yönteminin, doğrusal türevsel sistemlerin parametrelerinin tahmini için de kullanılabileceğini açıklamışlardır.

Wong vd. (1967), sistemi tanımlanmak istenen model ile ilişkisiz fakat aynı girişe sahip gürültüsüz bir modelin birleştirilme temeline dayanan Yardımcı Değişkenler Metodu' nu ortaya koymuş ve (Young, 1970)' in metot üzerinde yaptığı güncelleme filtresi ilavesi ile kararsızlık problemini ortadan kaldırmıştır.

Ackerson vd. (1970), çalışmalarında daha gerçekçi yaklaşımlar olan çoklu model algoritmaları kullanmaya başlamıştır. Önerdikleri bu algoritmalarda, modeller arasında, olası geçişlere izin verilmiştir. Son çalışmalarında, iyi takip performansını koruyarak, daha az sayıda model kullanımına daha fazla önem vermişlerdir.

Jazwinski (1970), etkili tahmin algoritmalarından biri olan Kalman filtresini, lineer ve lineerleştirilmiş modellerde durum tahmini yapabilmek amacıyla yaygın olarak kullanmıştır. Bu modeller, sistemin durumunu gösteren ancak gözlenemeyen stokastik süreç ile ilgili bir durum eşitliği ve gözlenebilen stokastik süreç ile ilgili bir ölçüm (gözlem) eşitliği tarafından modellenir. Bu denklemlere durum-uzay modeli denir. Kalman filtresinin amacı, sistemin durum-uzay modeline uygun olarak, sistemde bulunan gürültünün etkisini azaltıp, durum vektörünü gözlemlerini kullanarak tahmin etmektir.

Mehra (1972), modelde yer alan hata terimlerinin kovaryanslarının bilinmemesi durumunda, bu matrislerin tahmin edilmesi durumunu incelemiş ve kendini uyarlayan Kalman filtresi için çalışmalar yapmıştır.

Tse vd. (1975), çok değişkenli stokastik doğrusal sistemin boyutunun, sistem matrislerinin ve gürültü değişkenlerinin bilinmediği durumunu ele almışlardır. Böyle bir sistemin çıkış verilerini kullanarak, sistem tanımlanması için bir model geliştirmişlerdir. Uygun parametre tahminleri elde etmek için; çıkış işleminin yenilikler gösterimi kullanılmış ve bu sistem matrisleri kesin kanonik biçimde seçilmiştir. Yenilikler gösteriminin parametreleri ve sistem yapısının tahmini için bir sistematik yöntem tanımlanmıştır.

Roth (1981), gürültüsüz gözlemlere dayalı kısmi türevsel denklemlerle tanımlanan bir sistemde sabitlerin tanımlanması problemini ele almıştır. Bu çalışmada kullanılan teknikler, (Berman, 1979)' ın fikirlerinden çıkarılmış olup sanki-lineerleştirme, türevsel yaklaşımlar, dinamik programlama uygulamaları incelenmiştir. Mevcut giriş-çıkış verisinin bilindiği düşüncesinden, en elverişli çıkış verisi için başlangıç koşulları ve sistem parametrelerinin her ikisini elde etmek için nümerik bir yöntem oluşturmuştur. Burada parçalı türevsel yaklaşım kullanılmış, (Berman, 1979)' ın deterministik sistemlerin tanımlanması alanında yapmış olduğu katkının küçük bir kısmı uygulanmıştır.

Young (1981), sistemi başlangıç frekans ve geçici durum tepkisinden yararlanarak tanımlamıştır. Bu işlemler için sinüzoidal, birim basamak, birim darbe gibi özel girişler kullanmıştır. Bilgisayarın kullanıma girmesiyle birlikte ayrık zaman modellerinin belirlenmesi büyük önem kazanmıştır. Örneklenmiş verilerden yararlanarak sistemin ayrık zaman modelinin belirlenmesini ele almış ve bu konuda çeşitli metotlar geliştirmiştir.

Sinha ve Kuszta (1983), Feliu vd. (1988), Lastman ve Sinha (1989), Sinha ve Lastman (1991), sürekli zaman modellerinin tahminini doğrudan ve dolaylı yöntemlerle olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Dolaylı yöntemlerde ilk olarak bilinen herhangi bir algoritma ile ayrık zaman modeli belirlenmekte ve bilinen dönüşüm algoritmaları yardımıyla sürekli zaman modeline geçilmektedir. Bu yaklaşımda, ayrık zaman modellerin parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan ayrık zaman algoritmalarının kullanma avantajının olduğunu, fakat çevrim içi gerçek zaman uygulamaları için gerçeklenmesinin ilave hesaplamalar gerektirdiğini ortaya koymuşlardır.

Juang vd. (1985), zaman tanım alanında, çevresel titreşim kayıtları-giriş (zemin) ve yapısal noktaların tepkileri-çıkış olarak alınıp, yapısal sistemdeki giriş-çıkış ilişkilerinin TSDS (Tek Giriş Tek Çıkış-TGTÇ) ve ÇSDS (Çok Giriş Çok Çıkış-ÇGÇÇ) olarak tasarlanan otomatik regresyonlu ekstra girdi (ARX) ve durum-uzay (SS) matematik modelleri üzerinde değişik filtre tekniklerinin optimizasyon uyarlamaları kullanılarak aranan parametrelerin giriş-çıkış ilişkisi ağını en güvenilir mertebede kurmaya çalışmışlardır. ÇSDS için girişler ve çıkışlar arasındaki ÇGÇÇ çapraz ilişki ağını şekillendirecek parametrelerin hesaplanması aşamasında Eigen Realizasyon Algoritması (ERA) kullanarak değişken Kalman filtresi yardımıyla parametrik değişkenleri hesaplamışlardır.

Ljung (1987), sistem tanımlama için geliştirilen teknikleri endüstriyel amaçlar için kullanmaya başlamıştır, sistematik şekilde çalışmalar yapmıştır.

Alengrin vd. (1987), ARMA model için, yeni bir parametre tahmini yöntemi geliştirdiler. Bu çalışmalarında, bir sistemin geçici durumda iken (Li, S. vd., 1986) tarafından belirlenen formüllerin, bir adımlı tahminci bağıntıları ile de kolaylıkla elde edilebileceğini gösterdiler. Sistemin sürekli durumu için sistemin AR parametrelerini ve MA parametrelerini ayrı ayrı hesaplamışlardır.

Chung vd. (1988), yapmış oldukları çalışmalarda doğrusal olmayan sistemlerin bilinmeyen parametrelerinin tahmini ve analizi konusunu, Taylor serileri yaklaşımı kullanarak ele almışlardır. Sayısal programlamaya uygun algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın ana avantajı, tümlev için kullanılan matrisin yapısının oldukça basit olmasıdır. Nümerik örneklerle bu yaklaşımın doğruluğunu göstermişlerdir.

Hashemipour vd. (1988), Rao and Durant (1991), çoklu algılayıcıya sahip sistemler için paralel Kalman filtresini incelemişlerdir.

Kay (1988), yapmış olduğu çalışmada, model derecesi seçilirken her zaman en küçük model derecesi seçilerek sinyal modellenmesi gerektiğini ve uygun model derecesi seçimi için, Akaike bilgi kriteri, Schwarz Bayesian model seçme kriteri ve son tahmin hata kriterlerinden yararlanmanın uygun olacağını ortaya koymuştur. Seçilen model derecesine bağlı olarak sistemin parametrelerini tahmin ederek, son olarak sinyalin performansını test edip, performans testi ile ilgili olarak en küçük kareler, spektral eşleme ve en çok olabilirlik gibi ölçütlerin kullanılabileceğini tespit

etmiştir. Eğer, seçilen modelin performansı uygun çıkmazsa, yani çizdirilen grafikte güven Aralığının (%95' lik güven aralığı) dışına taşma varsa model derecesinin bir artırılarak modelin tekrar oluşturulması gerektiğini belirlemiştir.

Sagara ve Zhao (1989, 1990, 1991), Yang vd. (1994), Johansson (1993, 1994), Kowalczyk ve Kozlowski (2000), çalışmalarında sürekli zaman modellerinin belirlenmesinde geçmiş yıllarda, örneğin durum değişkeni filtreleri gibi analog ön filtreleri iyi kullanmışlardır. Sayısal bilgisayarların hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte sürekli zaman modellerinin tahmini tamamen sayısal olarak yapılmaktadır. Böylece ayırık zaman ölçümlerine dayalı işaret işleme uygulamaları için gerekli olan sayısal filtreleme teknikleri kullanılmıştır. Son yıllarda nümerik integrasyon, bilineer dönüşüm ve ortogonal fonksiyonların kullanımı gibi bazı teknikler, sayısal bilgisayarlarda analog ön filtreleri gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Analog ön filtrelerin ayrıklaştırılarak sayısal biçimde kullanılmasıyla, bir diferansiyel denklemin parametrelerine bağlı olan bir ayırık zaman modeli elde edilir. Elde edilen bu ayırık modele bağlı olan sürekli zaman model parametreleri, ayırık zaman modellerinin belirlenmesinde kullanılan ayırık zaman algoritmalarından birisinin doğrudan veya değiştirilerek kullanılmasıyla doğrudan olarak bulunabilir.

Sagara vd. (1990), geçmiş yıllarda ayırık zaman sistem tahmini problemi için örneklenmiş verilere dayalı parametre tahmin algoritmaları üzerine oldukça iyi çalışmalar yapmışlardır. Ancak sonraları istenen hassasiyetin artması nedeniyle sürekli zaman modellerinin fiziksel yapıyı daha iyi temsil ettiğini göstermişlerdir.

Unbehauen ve Rao (1990, 1998), sürekli zaman modellerinin tahmininde, daima gürültü içeren giriş-çıkış işaretleri ölçümlerinin kullanılarak zamana göre türevlerinin elde edilmesinden dolayı bir tahmin algoritmasının uygulanmasından önce sistem diferansiyel denklemini cebri hale getirmek için işaret işleme gerekliliği üzerine çalışmışlardır. Pratikte en önemli yolun, filtrelenmiş işaretleri kullanmak ve bu işaretlerin ölçümlerinin bir ön filtre üzerinden geçirilmesiyle elde edildiğini belirtmişlerdir.

Darouach vd. (1991), cebirsel kısıtlamalar altında, doğrusal dinamik sistemler için ardışık durum tahmini algoritması geliştirmişlerdir. Durum vektörü için minimum değişiklik tahmini, ölçülen model ve dinamik model denkleminin bağlı olarak Kalman Filtresi ile belirlenir. Doğrusal kısıtlamalar, durum tahmini yönteminin genişletilmesi

ile tartışılmıştır ve önceki durum tahmini ile yeni ölçümler ve doğrusal cebirsel kısıtlamalar altında doğrusal ardışık tahminin elde edildiği gösterilmiştir. Bu problem, güç sistemlerinde ve ekonomik sistemlerde karşımıza çıkmaktadır.

Elramsisi vd. (1991), doğrusal olmayan, ayrık zamanlı model parametrelerinin tahmini için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Model yapısı Gabor temel fonksiyonlarının frekans-yerleşim alanında bir basitleştirme yapılarak gösterilerek, bu fonksiyonların uzaysal Gaussian eğrileri birlikte kullanılmıştır. Gabor temel fonksiyonları için yapılan değişimler, gürültü etkilerini önlemek için de incelenmiş bu algoritma üç katlı sinir ağı devrelerinde sistem tanımlama problemini çözmek için (düzenli olmayan bir örnekleme aralığı ile) kullanılmıştır.

Imregun ve Visser (1991), Mottershead ve Friswell (1993), deneysel modal verilerle sayısal modal veriler arasındaki uyumu sağlayarak hasarın belirlenmesi genel olarak sonlu eleman modeli güncellemesi (SEMG) yöntemiyle mümkün olabilir kanaatine varmışlardır. SEMG asıl olarak 1990' ların başlarında gelişmeye başlamıştır. Burada amaç hasarlı ve hasarsız durumdaki yapının doğal frekansları ve mod şekillerinin arasındaki farkın minimize edilerek elastisite modülü gibi malzeme özelliklerindeki veya rijitlikteki değişimin bulunmasıdır. Rijitlik ile modal parametreler arasındaki ilişki, rijitlikteki değişimin modal parametrelerde değişikliğe yol açmasına neden olur. Yapının elemanlarında, malzeme özelliğinin birbirinden bağımsız bir şekilde değişmesi hasarın yerel olarak yeterli bir şekilde saptanmasını kolaylaştırmıştır. Bu konuda önemli çalışmalar yapmışlardır.

Horvath (1991), doğrusal ayrık-zamanlı modellerin, rastlantı katsayıları ile ifade edilmesi durumunda model parametrelerinin tahmini ile ilgilenmiştir. Özellikle, maksimum olasılık tahminleri ve onların tanımlanan model yapıya uygunluğunu araştırmıştır. Bu tahminler, doğrusal ayrık-zamanlı ve sabit katsayılı sistem için; ARX modeli için en küçük kare tahminçileri kadar basit bir yapıya sahiptirler. Bu model; aynı boyutlu ARX modelindeki kadar bilinmeyen parametre sayısına sahiptir ve bu model, rastlantısal çıkışlara sahip gerçel sistemlerin modellenmesinde bir yöntem olarak kullanılabilir.

Chai (1992), indüksiyon motorunun çevrimiçi parametre tahmini için ekonomik bir algoritma tanımlamıştır. Bu parametreler, yalnızca işaretlerdeki bileşenlerden türetilir ve hesaplanmış olan parametrelerin en uygunudur. Spektral analiz kullanarak,

çevrimiçi test metotları için kullanılabilir olduğu gösterilir ve bu metot standart offline' a benzemektedir. Bilgisayar uygulaması sonucunda, 2KW gücünde bir indüksiyon motorundan elde edilen deneysel sonuçlar kadar, algoritma performansının da iyi olduğu görülmüştür.

Darouach (1992), yapmış olduğu çalışmada; tek-girişli tek-çıkışlı ayrık zamanlı tekil sistemleri ele almıştır. Bu sistem için, çevrimiçi durum ve parametre tahmini konusunda ardışık bir algoritma geliştirmiştir. Ele alınan model, köşegenel gözlenebilir biçimde düşünülmüştür. Bu yaklaşım, genelleştirilmiş Kalman filtrelemesine dayanır ve iki adımda geliştirilebilir. Birinci adımda, parametreler ardışık en küçük kareler yöntemiyle tahmin edilmiştir. Bu parametreler ikinci adımda, genelleştirilmiş Kalman filtresi kullanılarak durum tahmini için kullanılmış ve bu algoritmanın doğruluğu sayısal örneklerle kanıtlanmıştır.

Liaw (1992), tahrik sistemlerinin parametre tahmini için dolaylı olarak bir rastlantı yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemde, tahrik sistemlerinin her bir bloğu için bir ayrık-zamanlı ARMA model uydurulur ve örneklenmiş giriş-çıkış verilerinden sistem tanımlaması yapılır. Sonra baskın enerji modları düşüncesinden gidilerek sürekli zaman modeli için uygun indirgeme derecesi belirlenir. Sonuç olarak sürekli zaman modelinin parametreleri, tanımlaması yapılan ARMA modelinin frekans tepkisinin benzerliğinden yararlanılarak bulunur. Sunulan yöntem, bir pompalı depolanan güç sistemlerindeki tahrik sisteminin parametrelerinin tahmini için kullanılmıştır. Bu yöntemin en büyük avantajı, durum uzayı dönüşümü için sıklıkla sistem bölümlerinin birim matris kullanılarak yapılmasıdır ve böylece dengeli gerçekleştirme ve spektral ayrışım kullanılan yöntemler için ters çevirme işlemleri ortadan kalkmıştır. Bu algoritma, kararsız sistemler için doğrudan kullanılabilir.

Kamas (1993), güç elektroniği devrelerinde parametrelerin ve ölçülemeyen devre değişkenlerinin parametrelerinin tahmini ve devre modelinin oluşturulması konularını incelemiştir. Güç elektroniği devreleri üzerinde yaptığı sayısız uygulamalarda, kapalı çevrimli kontrol tasarımları için, çok pahalı ve doğrudan elde edilmesi mümkün olmayan kadar zor olan çalışmada durum tahmini için Lyapunov fonksiyonuna dayanarak devre parametrelerinin bütünüyle bilinmediği durumlar için, bir adaptif tahmin algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, ölçülemeyen devre değişkenleriyle beraber bilinmeyen devre parametrelerinin tahmininde kullanılmıştır.

Ortalamalı ve tekil dağılımlı analiz kullanılarak durum tahmininin doğruluğu kanıtlanmıştır.

Koh vd. (1994), Tseng vd. (1994), Angelis vd. (2003), Phan ve Longman (2004), mekanik sistemlerin yapısal parametrelerinin belirlenmesi doğrultusunda çalışmalar yapmışlardır.

Li ve Bar-Shalom (1993), Monte Carlo simülasyonları kullanılmadan Etkileşimli Çoklu Model (EÇM) algoritması için tahmin metodunun performansını örnekler ile tartışmışlardır.

Lin ve Atherton (1993), manevra yapan hedef takibinde kullanılan Etkileşimli Çoklu Model (EÇM) algoritmasının bazı özellikleri ve farklı sayıdaki modeller ile farklı parametrelerin kullanılmasının etkilerinden bahsetmişlerdir.

Mazor vd. (1993), etkileşimli Çoklu Model (EÇM) algoritmalarını hedef takibi açısından incelemiş, algoritmaların varsayımlarını ve çeşitli durumlardaki uygulamalarını göstermişlerdir.

Özbek (1993), kesikli-zaman durum-uzay modellerinde indirgemeli tahmin yöntemini incelemiş, Özbek ve Öztürk (1993), gayri safi millî hâsıla değerinin Kalman filtresi ile tahmini ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Subrahmanyam (1993), yapmış olduğu çalışmada; sürekli zamanlı tek girişli-tek çıkışlı sistemin aktarma işlevinin parametrelerinin Markov parametrelerinden yararlanılarak tahmini için bir algoritma geliştirmiştir. Markov-Poisson parametreleri olarak bilinen parametrelerin yeni bir grubu, Markov parametrelerinin tanımını genelleştirmek için kullanılmıştır. Benzer modellerin tahmini için sürekli zamanlı sistemlerin aktarma fonksiyonlarını veren bu verimli algoritmayı detaylı olarak incelemiştir.

Wan (1993), lineer olmayan sistemler için genişletilmiş Kalman filtresi (EKF), yaklaşık maksimum olasılık tahminini sağlayabilmekte, ortalama ve kovaryans tekrarlıolarak güncelleştirilebilmekte iken, bununla birlikte, dinamiklerin birinci derece lineerizasyonunda rasgele değişkeni tahmin etmek için türev alınması gerektiğini, böylece lineer olmayan dinamiklerin bu türevle, yine zamanla değişen lineer dinamiklere yaklaştırılabileceğini ve bu takdirde Standart Kalman eşitlikleri uygulanabileceğini ispat etmiştir.

De Kock (1994), çıkış hata tekniğini kullanarak indüksiyon motorlarda parametre tahmini konusunda bir algoritma geliştirmiştir. Güç sistemleri için indüksiyon motorlarının simülasyonları; doğru olmayan veya bilinmeyen parametre verileri ile sık sık engellenmektedir. Motor parametrelerinin tahmini için geliştirdiği teknik, uygulanan gerilim bozulmaları ile birleştirilen çıkış hata tekniğini kullanmaktadır.

Xia vd. (1994), durum-uzay modelinin hatalı kurulması durumunda, Kalman filtresinde ortaya çıkan ıraksama durumunu ele almış ve filtrede bazı güçlendirmelerin yapılmasını sağlayacak unutm faktörünün hesaplanması için çeşitli algoritmalar önermişlerdir.

Özbek vd. (1996), Kalman filtresinde modelin hatalı kurulmasından kaynaklanan ıraksama problemi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Raol (1996), dinamik sistemlerde durum uzayı modelinin parametrelerinin tahmini problemini çözmek için bir sinir ağı mimarisi oluşturmuştur. Ağırlık/eğim bilgisinin ön hesaplamasına bağlı olan mimari, doğrudan gradient hesaplaması (normalizasyonsuz) ve çıkış hata yöntemini kullanarak geliştirmiştir.

Farrar vd. (1997), çevresel titreşim ölçümüne dayalı hasar analizinin aynı zamanda yapının mevcut durumuyla modal özelliklerini ve bazı parametrik değişimlerin izlenmesiyle de hasar tespiti yapabilmeyi mümkün kıldığını ortaya koyan çalışma yapmışlardır. Lokal hasarların yüksek frekans içerikli buna karşın global yapısal hasarların düşük frekans içerikli olduğuna dayanarak yapılan istatistiksel çalışmalarda ilk mod frekansının diğer modal parametrelere nazaran daha az tesadüfi hatalardan etkilendiğini göstermişlerdir.

Özbek (1997), durum-uzay modelinin hatalı kurulması durumunda, Kalman filtresinde meydana gelen ıraksama durumunu ele almış ve filtrede bazı güçlendirmeler yapacak bir algoritma önermiştir.

Yeddanapudi vd. (1997), çoklu hedef, çoklu algılayıcı hava trafik kontrolüne, Etkileşimli Çoklu Model (EÇM) algoritmasının uygulanması üzerinde durmuşlardır.

Farrell ve Barth (1999), Grewal vd. (2001), parametre tahmininde çoğunlukla kestirilen parametrelerin sistematik sapmalardan arıtılmış ve minimum varyansla elde edilmesinin amaçlanması gerektiğini bildirmişlerdir.

Herring (1999), özyineleme kavramı üzerinde duran çalışmalar yapmıştır. Özyineleme, kısaca ekstrapolasyon ile hesaplanabilecek parametrelerin yeni ölçülerle hesaplanabilmesidir. Kalman filtresi tekniğinin de dinamik (navigasyon için kinematik) model ile ölçüleri birleştiren optimal ve özyinelemeli bir parametre tahmin yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

Herring (1999), Moore (2001), uyarlamalı filtre kapsamında değerlendirilebilecek kinematik modelde olan sapmaların zaman korelasyonlu olarak modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Yerdeğiştirme, ani hız ve ivme değişimleri nedeniyle öngörülen modelden sapmaların korelasyonlu olduğu düşünüldüğünde, uygun gürültü modelleri ile filtrenin optimal çalışması sağlanabilir ve navigasyon çözümleri iyileştirilebilir.

Merwe ve Nelson (1999, 2001), hafıza problemi ve eski verilerin filtrede tutulmasından, öğrenme eğrilerinde olumsuz sonuçlar oluşması nedeniyle kullanılacak model ve durumlar belirlendikten sonra, çevrimiçi veya offline hesaplama yöntemlerinin seçilmesi gerekliliğine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Nelson (2000), çalışmasında daha önceki çalışmalardan farklı olarak, sinyallerin hem durumunun hem de parametrelerinin aynı anda iyileştirilmesi üzerinde durmuştur. Bu iyileştirme yöntemi literatürde ikili (Dual) filtreleme olarak bilinmektedir. Çalışma esnasında iki adet filtre kullanılmıştır. Filtreler birbirlerine paralel olarak çalışmakta olup, birisi sinyalin durumunda iyileştirme yaparken, diğer filtre ise sinyalin parametrelerinde iyileştirme yapmaktadır. Böylece ikili filtreleme yöntemi sinyallerin iyileştirilmesinde tekli filtrelerden daha uygun sonuçlar sağlamaktadır. Çünkü tekli filtreler gürültülü sinyallerin ya sadece durumunda iyileştirme yapmakta ya da parametrelerinde iyileştirme yapmaktadır.

Heunecke ve Welsch (2001), sistemlerin tanımlanmasında sistemin beklenen değeri ve oto korelasyon fonksiyonu, ayrıca, zaman serilerinin modellenmesi ile sistemin ileriye yönelik tahminlerinin yapılabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Etki-tepki büyüklükleri arasında gerçekleştirilecek bir çapraz-korelasyon işlemi ile de sistemin tepkisinin, etkiye göre gecikip-gecikmediği belirlenebilmektedir. Yani etkiyen büyüklük tepkiye sebep olmuş ise sistemde herhangi bir gecikme durumu meydana gelmemektedir. Eğer bir değişim söz konusu değilse sistemde gecikme meydana gelmektedir.

Moore (2001, 2002), Rudolf Emil Kalman tarafından 1960 yılında ortaya konan ve navigasyon, deprem tahminleri ve objelerdeki dinamik ve kinematik hareketlerin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında kullanılmakta olan teorisini uyarlamalı (adaptive) filtreler tercih ederek inovasyon dizisinin her adımda kontrolü ve buna uygun olarak kinematik modelin revizyonunu ifade edebilmiştir.

Nelson (2001), lineer olmayan sinyallerde, daha iyi performans için, ikinci derece EKF partikül filtresi kullanılması özellikleri üzerinde çalışmıştır.

Merwe ve Wan (2002), diğer bir tahmin edici olan birleşik Kalman filtresini incelemişlerdir. Bu filtre daha çok genişletilmiş Kalman filtresinin lineer olmayan ortamlarda tahmini esnasında filtrenin ıraksama problemine karşı türetilmiş bir versiyonu olduğu için, lineer olmayan sinyallerde daha uygun sonuçlar sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

Labarre ve Grivel (2003), ikili Kalman filtresinin ses sinyallerindeki iyileştirmeye yönelik kullanılma amacını araştırmış ve bunun sonucunda genişletilmiş Kalman filtresine bir alternatif olduğunu, genişletilmiş Kalman filtresindeki ıraksama probleminin olmadığını ve lineer olmayan sistemlerde uygun sonuçlar sağlayabildiğini belirlemişlerdir. İkili yaklaşımda, genişletilmiş Kalman filtresindeki ıraksama problemi göz önünde bulundurularak, lineer olmayan sinyallerde hesaplama yapılmış ve ikili hesaplamada genişletilmiş Kalman filtresine oranla daha uygun sonuçlar elde edilmiştir. İkili yaklaşımdaki diğer bir mantık ise model ve parametrelerin iteratif olarak aynı anda kestirilebilmesidir. Lineer olmayan sistemlerde, genişletilmiş Kalman filtresi sistem dinamiklerini doğrusallaştırarak, standart Kalman filtresiyle normal tekrarlı tahmin yapabilmektedir. Fakat doğrusallaştırma esnasında, sinyalin kovaryansı ve ortalamasında bazı durumlarda sapma gözlenmektedir. Çalışmalarında bu probleme ikili Kalman filtresi yaklaşımıyla bakmışlardır. Belirli bir ses sinyali üzerinden sinyalin paralel olarak bir taraftan durumu hesaplanırken, diğer taraftan da sinyalin parametreleri hesaplanarak genişletilmiş Kalman filtresinden daha iyi performans elde edilmiştir. Diğer taraftan ıraksama problemi de ortadan kalkmıştır. İkili filtrede çalışma modeli, sıralı olarak, yani hesaplamalar noktasal olarak yapılmaktadır. Lineer olmayan dinamik sistemlerde, kesikli zaman durumunun olasılığının hesaplanması için genişletilmiş Kalman filtresi uygun çözümler üretebilmektedir. Filtre dinamik modelden uygun sonuç için tahminle gürültüyü birleştirmekte, tekrarlı bir şekilde bu işi devam ettirmektedir.

El-Borgi vd. (2004), Tunus'ta bulunan sekiz açıklıklı Betonarme Köprü'nün dinamik karakteristiklerini analitik ve deneysel yöntemlerle belirlemiştir. Köprü'nün sonlu eleman modeli SAP2000 programı yardımıyla oluşturulmuştur. Deneysel ölçümlerde Çevresel Titreşim Yöntemi kullanılmış olup veri toplama ünitesiyle titreşim verileri toplanmıştır. Titreşim verileri frekans tanım alanında işlenmiş dinamik karakteristikler deneysel olarak elde edilmiştir. Analitik ve deneysel dinamik karakteristikler arasındaki farklılıklar frekans değerleri için % 10 ile % 29 arasında değişmektedir. Elde edilmiş olan bu yüzdeler betonun elastisite modülü ve elastomer mesnet rijitliklerindeki değişimler dikkate alınarak kabul edilebilir sınırlar içerisine indirilmiş, böylelikle köprü'nün mevcut durumunu yansıtan gerçek sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

Ren vd. (2004), ABD'deki Cumberland Nehri üzerine inşa edilen altı açıklıklı betonarme köprü'nün çevresel titreşim testlerine dayalı davranışının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. SAP2000 programı kullanılarak köprü'nün sonlu eleman modeli analiz edilmiş ve dinamik karakteristikler analitik olarak elde edilmiştir. Üç eksenli ivmeölçerler kullanılarak titreşim verileri toplanmış olup deneysel ölçüm verileri Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma ve Stokastik Altalan Belirleme Yöntemleri kullanılarak işlenmesiyle dinamik karakteristikler deneysel olarak elde edilmiştir. Köprü'nün üç boyutlu sonlu eleman modeli çevresel titreşim test sonuçlarına göre iyileştirilmiştir.

Türer vd. (2005), tarafından yapılan çalışmada, Antalya Serik ilçesinde bulunan olan Aspendos tiyatrosunun, deprem yükleri altında dinamik çözümlemesi gerçekleştirilmiş ve yapıda oluşan gerilmelerin seviyeleri araştırılmıştır. Analitik modelden elde edilen doğal salınım periyotları tiyatrodan alınan dinamik ölçümler ile karşılaştırılmış ve gerçekçi bir model için gerekli olan yapı karakteristikleri elde edilmiştir.

Sethi ve Song (2006), üç katlı çoklu modal modelin titreşim kontrolünü inceleyerek, alt uzayda sistem tanıma metodu ile modelin ilk üç modu belirleyerek bunun % 90 bir uyum sağladığını belirlemiştir. Bu sonuçları, tam durum kontrolünü sağlamak için kutup kontrolcüsünde kullanmışlardır.

Giraldo (2006), çalışmasında başlıca tanımlama yöntemlerini referans yapı üzerinde değerlendirerek SSI yönteminin aygıtlardaki gürültüye daha sağlam sonuçlar

verdiğini; Ardından model güncelleme aracılığı ile yapı sağlamlık değerlendirilmesi çalışmalarına dayalı CGP (the conjugate gradients provides) yönteminin daha verimli olduğu kanaatine varılmıştır. Elbette bu sonuçlar çalışmada konulan kriterlere bağlı olup tüm rastlanabilen durumları içermemektedir.

Kasımzade ve Tuhta (2005, 2006, 2007, 2008, 2009), sistemin mevcut doğal ve yapay tepkilerine dayalı olarak herhangi sistemin modal parametrelerinin, hem de sistemin fiziksel parametrelerinin tahmin edilmesini sağlayacak bir şekilde tanımlama yöntemlerinin sistemli bir şekilde inceleme çalışmalarını yapmışlardır. İster yapının modal, isterse de fiziksel parametrelerinin tahmin edilmesinin kesinliği, sistemin durum-*A*, giriş etki-*B*, çıkış etki-*C*, doğrudan iletme-*D* matrislerinin mümkün olabilen en az hata ile belirlenmiş olmasıdır. Bu hedefe ulaşmak için rasgele etkilerden tahmin edilmiş durum vektörünün gerçek durum vektöründen farkının mümkün olabildiğince minimum olabilmesi için, bu farkın kovaryansı Riccati denkleminin çözümü olarak bulunarak, Kalman kazancı (bu mümkün olmadığında doğrudan giriş-çıkışa dayalı gözlemsel kazanç) elde edilerek, sistem karakteristik durum matrislerinin optimal (en verimli) olarak belirlenmesi için yeni bir hesaplama algoritması geliştirilmiştir.

Gentile vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada, tarihi yağma bir kulenin yapısal özelliklerinin belirlenmesi çalışması kapsamında Monza Kilisenin kulelerini incelemiştir. Yapının deneysel dinamik karakteristikleri OMA Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Analitik çözümlemeden elde edilen frekans değerlerini, deneysel çözümleme sonucu bulunan frekans değerlerine yaklaştırmak için yapının sonlu elemanlar modelinde iyileştirmeler yapılmıştır. Model iyileştirmesi sonucu elde etmiş olduğu frekans değerlerinin uyum içinde olduğunu belirlemiştir.

Oliveira vd. (2007), 20. Yüzyılın başlarında Portekiz de kireçtaşından inşa edilen kemer köprüünün yük taşıma kapasitesini araştırmak amacıyla farklı ağırlıktaki 2 adet kamyon yardımıyla üç farklı yük durumu altında köprü davranışlarını incelemiştir. Köprüünün sonlu eleman modeli yardımıyla elde edilen veriler ile deneysel olarak elde edilen yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde ise köprüünün trafik yükünü güvenli bir şekilde karşılayabileceği ve de deneysel çalışmalar olmadan oluşturulan sonlu eleman modelinin yapının gerçek davranışını tam olarak temsil edemeyeceği sonucuna varmışlardır.

Hou ve Tagawa (2008), Bu çalışmada, ani mukavemetli çelikler için tel halat (kablo) desteği kullanılarak sismik bir uyarılama yöntemi sunulmaktadır. Önerilen destek sistemini kullanan güçlendirilmiş çerçeve sünek davranış sergiler ve sismik enerji dağılım kapasitesini orijinal çıplak çerçeveye aynı ölçüde korur. Destekleyici eleman, küçük ve orta titreşim genlikleri için hareket etmez. Büyük titreşim genlikleri için, destekleyici üye, kabul edilemeyecek kadar büyük bir durumu oluşturur ve harekete geçirir. Bu uyarılama yöntemi, küme hareketinden kaynaklanan kolon sıkıştırma kuvvetindeki bir artışı önler. Portal çerçevelerin döngüsel yükleme testi sonuçları, önerilen destekleme sisteminin temel özelliklerini ortaya koymaktadır. Sismik tepki analizleri, üç katlı ani dirençli çerçeveler için de yapılmaktadır. Güçlendirme yönteminin etkinliği, bu test ve analiz sonuçlarının ışığında tartışılmıştır.

Tuhta (2010), Bu çalışmada yapı parametrelerinin tahribatsız olarak belirlenmesi, bununla bağlı olarak sistem tanımlama, model güncelleme ve hasar belirleme yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiş, yeni bir hesaplama algoritması ve beraberinde bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir.

Choi vd. (2010), Güney Kore'de bulunan Ulchin nükleer enerji santralinin deneysel analizlerini operasyonel modal analiz yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Yapının analitik modelini ABAQUS paket programıyla oluşturup, deneysel ölçümlerini ise altı ivmeölçer yardımıyla 0-50Hz arasında alarak buldukları sonuçları kıyaslamışlardır. Yapının elastisite modülünü güncelleyerek sonuçlar arasında yakınsama sağlamışlardır.

Azenha vd. (2010), kompozit bir kirişin elastisite modülünü tespit edebilmek için, kirişi analitik olarak modelleyip kirişe statik yükleme uygulamışlardır. Operasyonel modal analiz yöntemi yardımıyla deneysel ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Analitik ve deneysel sonuçları birbiriyle karşılaştırmışlardır. Kirişin imalatının farklı günlerinde ayrı ayrı bu metotları uygulamışlardır. Buldukları sonuçların doğruluğunun kontrolü için ölçümleri iki defa yapmışlardır. Ölçümler neticesinde analitik ve deneysel sonuçlar benzerlik 7 göstermiştir. Mesnet koşullarının analitik modeldeki gibi tasarlanabildiği takdirde daha uygun sonuçlar elde edilebileceği düşünülmüşlerdir.

Fotti vd. (2012), tarafından yapılan çalışmada, İtalya Bari'de bulunan Hükümet binası kulelerinin yapısal durumunu belirlemeye çalışmıştır. Çalışmasının sonunda

analitik ve deneysel çözümlene sonuçları karşılaştırılmış ve yapının modal parametreleri arasında iyi bir uyum olduğunu belirlemiş model iyileştirilmesinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Votsis vd. (2012), Kıbrıs'ta bulunan Nicholas Katedrali ve Mamas Kilisesinin dinamik karakteristiklerini belirleyebilmek için çevresel titreşim verilerini kullanmışlardır. Sonlu eleman modeli sonuçlarıyla deneysel sonuçları karşılaştırarak, yapıların malzeme karakteristiklerini güncelleştirmişlerdir.

D'Ambrisi vd. (2012), İtalya'da yapılmış olan tarihi Soncino çan kulesinin dinamik karakteristiklerini belirlemiş ve yapıyı sismik açıdan değerlendirmişlerdir.

Soyoz vd. (2013), Boğaziçi Üniversitesi kampüsündeki bir eğitim binasının çevresel titreşim testlerini; güçlendirme öncesi, güçlendirme esnası ve güçlendirme sonrası olmak üzere gerçekleştirmişlerdir. Güçlendirme yapıldıktan sonra yapının zorlanmış titreşim testlerini yaparak buldukları sonuçları çevresel titreşim test sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Hashim vd. (2013), şiddetli yağışlar sonrası oluşan toprak kaymasından etkilenen betonarme bir yapının hasarlı iken ve hasar gören çevre kirislerinde güçlendirme yapıldıktan sonraki durumu için operasyonel modal analizlerini yapmışlardır. Ölçümleri yetmiş sekiz ayrı noktadan, üç ivmeölçeri referans kabul ederek toplamda yedi ivmeölçer yardımıyla, 0-60Hz frekans aralığında, her bir ölçüm 600s olmak üzere 19 farklı ölçümde gerçekleştirmişlerdir. Yapıyı analitik olarak DIANA paket programı yardımıyla hasarlı ve hasarsız olarak modellemiş ve modele ait modal analiz sonuçlarını deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır. İlk üç frekans ve mod şekli arasında yakınlık gözlerken, dördüncü modda yakınsama sağlayamamışlardır.

Bartoli vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada, İtalya'da bulunan Torre Grossa taş kulesi üzerinde statik ve dinamik araştırmalar yapmıştır. Dinamik deneylerle kulenin mod şekilleri ve doğal frekansları belirlenmiştir. Çalışmasının sonunda malzeme özelliklerinin tespiti, kule tipi yapıların yapısal davranışlarının araştırılması çalışmalarında, hasarsız deney yöntemlerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Ayrıca hazırlanmış olduğu modelin güçlendirme çalışmalarında da kullanılacağını ifade edilmiştir.

Vivo vd. (2013), Kourou kasabasındaki Vega uydu fırlatıcısının zorlanmış ve çevresel titreşim hareketini incelemişlerdir. Zorlanmış titreşim ile yapılan ölçümlerde yapının beş ayrı seviyesine iki adet tahrik elemanı ile dış tahrik uygularken bir ivmeölçer yardımı ile bu sonuçları kaydetmişlerdir. İlk iki modun birbirine çok yakın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ercan vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada, İzmir de bulunan Vezir Köprüsü üzerinde OMA yöntemini kullanılarak sonlu eleman model iyileştirmesi yapılmıştır. Yapının sonlu elemanlar analizinde kullanılacak malzeme parametreleri, hasarlı/hasarsız deney yöntemleri kullanılarak analitik olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda OMA sonuçlarına göre yapının sınır koşullarında ve malzeme elastisite değerlerinde değişimler yaparak modelde iyileştirmeler yapılmıştır. İyileştirilmiş model kullanılarak yapının deprem davranışının daha sağlıklı tespit edileceği sonucuna varmıştır

Ju vd. (2014), Çapraz bağlama (X-bracing) sismik en popüler yöntemlerden biridir Güçlendirme ve yapısal sertlik ve mukavemeti önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir. Bu çalışma Yeni tip sıkıştırma olmayan X-bracing sisteminin yapısal özelliklerini karbon fiber kompozit kablo (CFCC) kullanarak araştırmıştır. Amaç kırılma ve çökertmenin üstesinden gelmek konvansiyonel çelik X-bracing ile bağlantı ve desteklerde meydana gelebilecek arızalar önlemektir. Döngüsel yükleme testleri gerçekleştirilerek ve maksimum yük taşıma kapasitesi Yanal yük sürüklenme ilişkilerinde histerezis ve deformasyon incelenmiştir. Test sonuçları, betonarme de CFCC X-bracing sisteminin kurulduğunu ortaya çıkardı. Çerçeveler, mukavemeti belirgin bir şekilde arttırmıştır ve bükülmenin durumu gözlenmemiştir.

Ventura (2015), Operasyonel modal analize giriş kitabında operasyonel modal analiz yöntemi geniş perspektifte ele alarak bu yöntemin uygulanma amacını ve niçin kullanılması gerektiği hakkında ışık tutmaktadır. Kitabında sadece günümüzden ziyade operasyonel modal analizin tarihinden ve geliştirilme sürecinde bahsetmektedir. Tüm bunların yanında diğer modal analiz yöntemlerine de değinilerek operasyonel modal analizin yenilikçi ve gerçekçi ölçümleri karşılaştırılarak ortaya konulmuştur. Sinyallerin toplanması, dönüştürülmesi metotlarına da ayrıca yer verilmiştir. Zaman tanım alanında ayrışma ve frekans tanım alanında ayrışma yöntemlerini de detaylı inceleyerek operasyonel modal analiz yöntemine daha hakim bir konumdan bakılmasını sağlamıştır. Ayrıca kitabında operasyonel modal analiz

uygulama yöntemlerine ve çalışmalarına örnek olarak vererek akıllarda kalabilecek soru işaretlerinin kalkmasına ve uygulama esaslarının belirlenmesinde çok büyük yardımı ve önemli bir kılavuz olduğu açıkça görülmektedir.

Lee K. (2015), Bu çalışmada, karbon fiber kompozit kablo (CFCC) kullanılarak yeni tip bir sıkıştırılmamış X takviye sisteminin yapısal özelliklerini incelemiştir. Bu sıkıştırılmamış X takviye sistemi, geleneksel çelik destek yerine CFCC takviye ve cıvata bağlantılarını yapısal elemanlar ve CFCC'nin terminal sabitleyicisi arasında kullanılır. Amaç, bağlantıda meydana gelebilecek kırılma ve burkulma hatalarının ve geleneksel çelik X-alaşımli yöntemlerle desteklerin üstesinden gelmektir. Test sonuçları, betonarme çerçevelere monte edilen CFCC X takviye sisteminin, mukavemeti belirgin şekilde arttırdığını ve takviyenin bükülme arızasının gözlenmediğini ortaya koymuştur.

Wang vd. (2015), Bu çalışmada, multitendon fiber takviyeli polimer (FRP) kabloları için önerilen yeni bir kama çapanın üretim teknolojisini ve bağlantı etkinliğini incelemektedir. Test edilen FRP kablosunun yüksek ankraj verimliliği, önerilen ankrajın her tendonun potansiyel çekme dayanımını elde etmeden elde ettiğini göstermektedir.

Zhang vd. (2015), Bu çalışmada önerilmeli çelik kablo ile güçlendirme yöntemi kullanılmıştır. İlk ön gerilim derecesi belirleme kriterleri ışığında ilk ön gerilim derecesi tasarım formülü ve yöntemi sunulmuştur. Önerilen tasarım formülünün ve silme ipi tutucu yönteminin onaylanması, sonlu elemanlar yazılım paketi ABAQUS kullanılarak analiz edilen bir örnekle kanıtlanmıştır.

Lan vd. (2016), Çalışmalarında Paralel CFRP telli kablo çekme dayanımını incelemişlerdir. İki paralel CFRP kablo kablosunun gerçek güçleri, Daniels'ın paralel CFRP kablo kablolarının kuvvetleri üzerindeki etkisini göstermek için benzetilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Paralel CFRP tel bağlantı kablolarının gücünü değerlendirmek için, güvenlik ve güvenilirliği sağlamak için CFRP kablolarının tasarımında uzunluk etkisi ve Daniels etkisi dikkate alınmalıdır sonucuna ulaşmışlardır. CFRP kablo elemanlar üzerine yapılmış bir çalışmadır. Kablo eleman davranışı üzerine odaklanılmıştır.

Gui-huaXie (2017), Bu çalışmada CFRP kabloların köprü modelinin dinamik davranışlarına etkisi deneysel ve analitik incelenerek karşılaştırılmıştır. Analitik

yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Deneysel yöntemde ise operasyonel modal analiz metodundan yararlanılmıştır.

Tuhta (2018), Bu çalışmada model çelik yapının GFRP ile güçlendirilmesinin yapının dinamik davranışına etkisini operasyonel modal analiz yöntemi ile incelemiştir. Yöntemin içerisinde output only modal analiz ve parametre tahmininde EFDD metodlarından yararlanmıştır. Çalışma da önce mevcut modelin dinamik davranışlarını belirlemiş ve ardında GFRP ile güçlendirilmiş modelin dinamik davranışlarını incelemiştir. Daha sonra elde ettiği dinamik parametreleri karşılaştırarak model çelik yapının GFRP ile güçlendirilmesinin dinamik davranışa etkisini ortaya çıkarmıştır.

Tuhta (2018), Bu çalışmada, ortam titreşimi kullanılarak, modal titreşimde sistem karakteristik matrisinin geliştirilmesi ve düzeltilmesine dayanan yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Sonuç, gerçek sistem karakteristik matrislerinin hatanın büyük ölçüde asgariye indirilebileceği şekilde doğru bir şekilde oluşturulmasıdır. İkinci olarak, kara kutu modelleme yaklaşımı ile sistem karakteristik matrislerini iyileştirmek için Kalman teorisiyle sistemin giriş-çıkış ilişkisi oluşturulur. Ayrıca, Hankel matrisinin çarpanlarını önceki iterasyonda elde edilen sistem durum matrisinin özdeğer çözümünden ifade ederek ölçülebilir olmayan işlem gürültüsünün kovaryansını ve Riccati denkleminde bulunan ölçüm gürültü matrislerini belirlemek mümkündür. Elde edilen sistem karakteristik matrislerinden sistem modal parametreleri çıkarılmıştır.

Günday vd. (2018), Bu çalışmada kayıtlı taş ocağı patlatma verilerinin zemin seviyesindeki giriş uyarma verileri olarak kullanılmasıyla model çelik yapının davranışı üzerine bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada sarsma masası (quanser shake table) dan yararlanılmıştır. Analitik yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmış, deneysel yöntemde ise deneysel modal analiz ve EFDD metodlarından yararlanılmıştır. Mod şekilleri arasında en iyi korelasyon bulunmuştur. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 3.036% olduğu görülmüştür.

Günday (2018), Bu çalışmada endüstriyel bir binanın CFRP ile güçlendirilmesi operasyonel modal analiz yöntemi ile incelenmiştir. Endüstriyel binanın güçlendirilmemiş durumunun dinamik parametreleri ile CFRP ile güçlendirilmiş durumdaki dinamik parametreler elde edilerek karşılaştırılmıştır. Parametre tahmin

yöntemi olarak ise SSI metodundan yararlanılmıştır. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 18.884% olduğu görülmüştür.

Günday (2018), Bu çalışmada GFRP ile güçlendirmenin model çelik yapıya dinamik etkileri deprem simülatörü (quanser shake table) kullanılarak incelenmiştir. Mikro tremor verilerinin ortam titreşim girişi uyarma verileri olarak yer seviyesinde kullanılması ile çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Model çelik yapının güçlendirilmemiş durumunun dinamik parametreleri ile GFRP ile güçlendirilmiş durumdaki dinamik parametreler elde edilerek karşılaştırılmıştır. Parametre tahmin yöntemi olarak ise SSI metodundan yararlanılmıştır. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 33.916% olduğu görülmüştür.

Dushimimana vd. (2018), Bu çalışmada, model alüminyum yapılar için, ölçülen deprem simülatöründe (Quanser Shake Table) Operasyonel Modal Analizin (OMA) araştırılması ve uygulanması için zemin seviyesinde kaydedilen mikro tremor verilerinin ortam titreşim girişi uyarma verileri olarak yer seviyesinde kullanılması ile çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Analitik yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 2.8% olduğu görülmüştür.

Tuhta (2019), Bu çalışmada, model baca için tezgâh ölçülü deprem simülatörü (Quanser Shake Table) üzerinde araştırma ve uygulama Operasyonel Modal Analizi (OMA) için ortam titreşim girişi uyarma verileri olarak zemin seviyesinde kaydedilen mikro tremor verilerinin zemin seviyesinde kullanılması olasılığını araştırmıştır. Analitik yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmış, deneysel yöntemde ise output only modal analiz ve EFDD metodlarından yararlanılmıştır. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 1.996% olduğu görülmüştür.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmasında model çelik yapının CFRP ile güçlendirilmesinin yapının dinamik davranışına etkisini operasyonel modal analiz yöntemi ile deprem simülatöründe incelemiştir. Yöntemin içerisinde output only modal analiz ve parametre tahmininde EFDD metodlarından yararlanmıştır. Çalışma da önce mevcut modelin dinamik davranışlarını belirlemiş ve ardında CFRP ile güçlendirilmiş modelin dinamik davranışlarını incelemiştir. Daha sonra elde ettiği dinamik parametreleri karşılaştırarak model çelik yapının CFRP ile güçlendirilmesinin dinamik davranışa etkisini ortaya çıkarmıştır.

Tuhta (2019), Bu çalışmada, model alüminyum köprü üzerinde modal parametreleri belirlemek için analitik ve deneysel ölçümler yapmıştır. Analitik yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmış, deneysel yöntemde ise output only modal analiz ve EFDD metodlarından yararlanılmıştır. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 2.438% olduğu görülmüştür.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmada GFRP ile güçlendirmenin model çelik yapıya ivme ve yer değiştirme verileri deprem simülatörü (quanser shake table) kullanılarak incelenmiştir. Mikro tremor verilerinin ortam titreşim girişi uyarma verileri olarak yer seviyesinde kullanılması ile çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Model çelik yapının güçlendirilmemiş durumunun ivme ve yer değiştirme değerleri ile GFRP ile güçlendirilmiş durumdaki ivme ve yer değiştirme değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmada N4SID multi input – multi output yöntemi ile temel kazık sisteminin sistem matematik modelinin tanımlaması yapılmıştır ve sistem A, B, C, D, K matrisleri elde edilmiştir. Tahmin doğruluk oranı ise 99.01% olarak bulunmuştur.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmada N4SID multi input – multi output yöntemi ile beton kaldırım sisteminin sistem matematik modelinin tanımlaması yapılmıştır ve sistem A, B, C, D, K matrisleri elde edilmiştir. Tahmin doğruluk oranı ise %98,69% olarak bulunmuştur.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmada N4SID yöntemi ile betonarme bir yapı sisteminin sistem matematik modelinin tanımlaması yapılmıştır ve sistem A, B, C, D, K matrisleri elde edilmiştir. Tahmin doğruluk oranı ise 99.51% olarak bulunmuştur.

Tuhta vd. (2019), Bu çalışmada N4SID yöntemi ile model çelik yapı sisteminin sistem matematik modelinin tanımlaması yapılmıştır ve sistem A, B, C, D, K matrisleri elde edilmiştir. Tahmin doğruluk oranı ise 96.44% olarak bulunmuştur.

Kasımzade vd. (2019), Bu çalışmada dinamik parametrelerin ortam titreşiminden yararlanılarak çıkartılmasının optimal bir örneğine de odaklanılmıştır. Sistem tanımlamada hataların minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Ortam karakteristiğinden modal tanımlamada sistem karakteristik matrisinin düzeltilmesinde yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu yaklaşımın sonucu olarak, asıl hata ile gerçek sistem karakteristik matrisleri daha doğru bir şekilde belirlenmiştir.

Kasımzade vd. (2019), Bu çalışmada mikrotremor ile kullanarak model CFS çelik yapının analitik ve deneysel modal analizi yapılmıştır. Her iki yöntemle de model CFS çelik yapının dinamik parametreleri çıkartılarak elde edilen parametrelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Analitik yöntemde sonlu elemanlar metodu kullanılmış, deneysel yöntemde ise output only modal analiz ve EFDD metodlarından yararlanılmıştır. Mod şekilleri arasında en iyi korelasyon bulunmuştur. İki yöntemle de bulunan frekanslar arasındaki farkın 2.99% olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde kullanılan temel materyaller hakkında genel bilgiler verilmiştir. Kullanılan diğer bazı özel materyaller ve bulonların kontrol edilmesinde kullanılan tork anahtarları ve kablolardaki gerilmeleri ölçen halat gerilme ölçer cihazı vb. aletlere ise ilgili diğer bölümlerde yer verilmiştir.

3.1.1. Çelik Deney Yapısı Hakkında Genel Bilgiler

Prof. Dr. Azer KASIMZADE' nin yürütücüsü olduğu MF-046 no' lu Bilimsel Araştırma Projesi (2003) kapsamında yapılmış olan dört katlı, her iki yönde iki açıklıklı çelik deney yapısı, inşaat mühendisliği deney Laboratuvarı'nda bulunmaktadır. Yapı boyutlarında olup her kat yüksekliği 1,15 m, enine açıklık 2,5 m, boyuna açıklık 1,5 m' dir. MF-046 no' lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında çelik deney yapısının kurulum aşamaları Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 görülmektedir.



Şekil 3.1. Temel profillerinin (IPG260) yerleştirilmesi ve montajı



Şekil 3.2. Kolonların (IPG200) temele yerleştirilmesi ve montajı

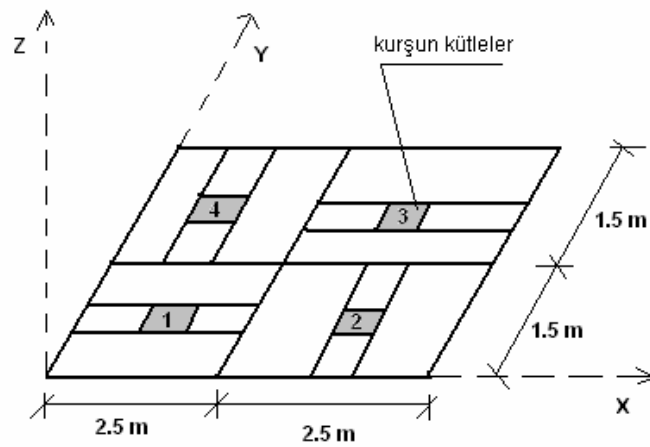


Şekil 3.3. Kirişleri (I80) yerleştirilmesi ve montajı



Şekil 3.4. Çelik deney yapısı

Çelik deney yapısında yük olarak, çerçevenin ölü ağırlığına (yapının kendi ağırlığı) kurşun kütleler dahil edilmiştir. Bu kurşun kütleler ve açıklıklara göre dağılımları, Şekil 3.5’de ve sayısal değerler olarak Tablo 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.5. Çelik deney yapısında kurşun kütlelerin yerleşim düzeni

Tablo 3.1. Çelik deney yapısı kurşun kütleler ile birlikte oluşan yeni kütle dağılımı

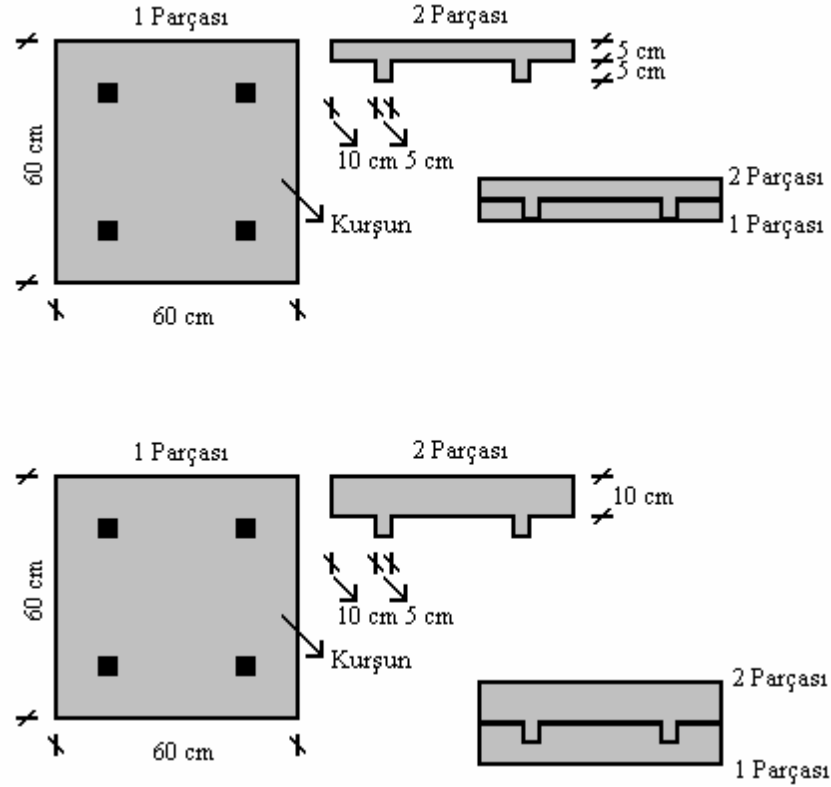
Kat no	Ağırlık türü	Katlarda her açıklık için kurşun kütle ve yük çerçevesi ağırlıkları (kg)				Toplam kat kütlesi
		1	2	3	4	
1	Çerçeve	44.2	30.8	44.2	30.8	150
	Kurşun	793.3	793	793.4	793.3	3172.9
2	Çerçeve	44.2	30.8	44.2	30.8	150
	Kurşun	600.3	600.3	600.5	600.4	2401.5
3	Çerçeve	44.2	30.8	44.2	30.8	150
	Kurşun	601	599.5	600.2	600.2	2400.7
4	Çerçeve	44.2	30.8	44.2	30.8	150
	Kurşun	391	391	390.9	391	1564

İstenilen ağırlıkta kütleyi en küçük boyutlarda üretmek amacıyla kurşun malzeme kullanılmıştır. Kurşunun yoğunluğu bu seçimde en önemli etkidir. Kurşunun yoğunluğu $\rho = 11,34 \text{ kg/m}^3$ dir. Kurşun kütleler ve çerçeve kütleleri toplamına göre yapı kütlesi 10139,1 kg olmaktadır.

Yükleri oluşturmak amacıyla birinci katta 0.6x0.6x0.1m'lik iki tane kurşun plak kullanılmaktadır.

İkinci ve üçüncü katlarda bir tane 0.6x0.6x0.05m boyutlarında, bir tane de 0,6*0,6*0,1m boyutlarında kurşun plaklar kullanılmaktadır.

Dördüncü katta ise iki tane 0.6x0.6x0.05m'lik kurşun plaklar kullanılmaktadır. Bu kütleler birbirine geçecek ve vidalanacak şekilde tasarlanıp yük çerçevelerine kelepçeler vasıtasıyla tutturulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kurşun kütle detayları

Çelik deney yapısının kolon kesitleri IPG200, kiriş kesitleri I80, temel kiriş kesitleri IPG260 ve döşeme çapraz elemanları kutu kesit 70x50x3.2 mm olarak boyutlandırılmıştır. Yapının düşeydeki dört düzlemi için her bir açıklıkta kablolar kullanılmıştır. Kullanılan bu kabloların çapı 14 mm' lik, bu kabloları uygun gergi elemanları da 16 mm' lik seçilmiştir.

Kolon ayağının temele bağlantısı için, 475x260x10 mm' lik levhalar üzerine 6 tane M33'lük cıvatalar kullanılarak kolon ayağı ankrajlanmıştır. Cıvatalar arası uzaklık boyuna 16.8 cm, enine 12.4 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.7).

Kolon-kolon bağlantısı için, birbirlerine bağlanacak iki kolonun birleşim yerlerine 2 tane 470x240x10 mm'lik levhalar kaynaklanmıştır. Daha sonra, kaynaklanan bu levhalar, 4 tane M30'lık cıvatalar vasıtasıyla bağlanmıştır. Cıvatalar arası uzunluk boyuna 47, enine 9.6 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8).

Kolon-kiriş bağlantısı için, kirişin kolona başlık ve gövde yönlerindeki bağlantı levhalarının boyutları farklıdır.

Kirişin kolona başlık yönündeki bağlantısı için 235x153x10 mm' lik levha kaynaklanmıştır (Şekil 3.9). Kirişin kolona gövde yönündeki bağlantısı için

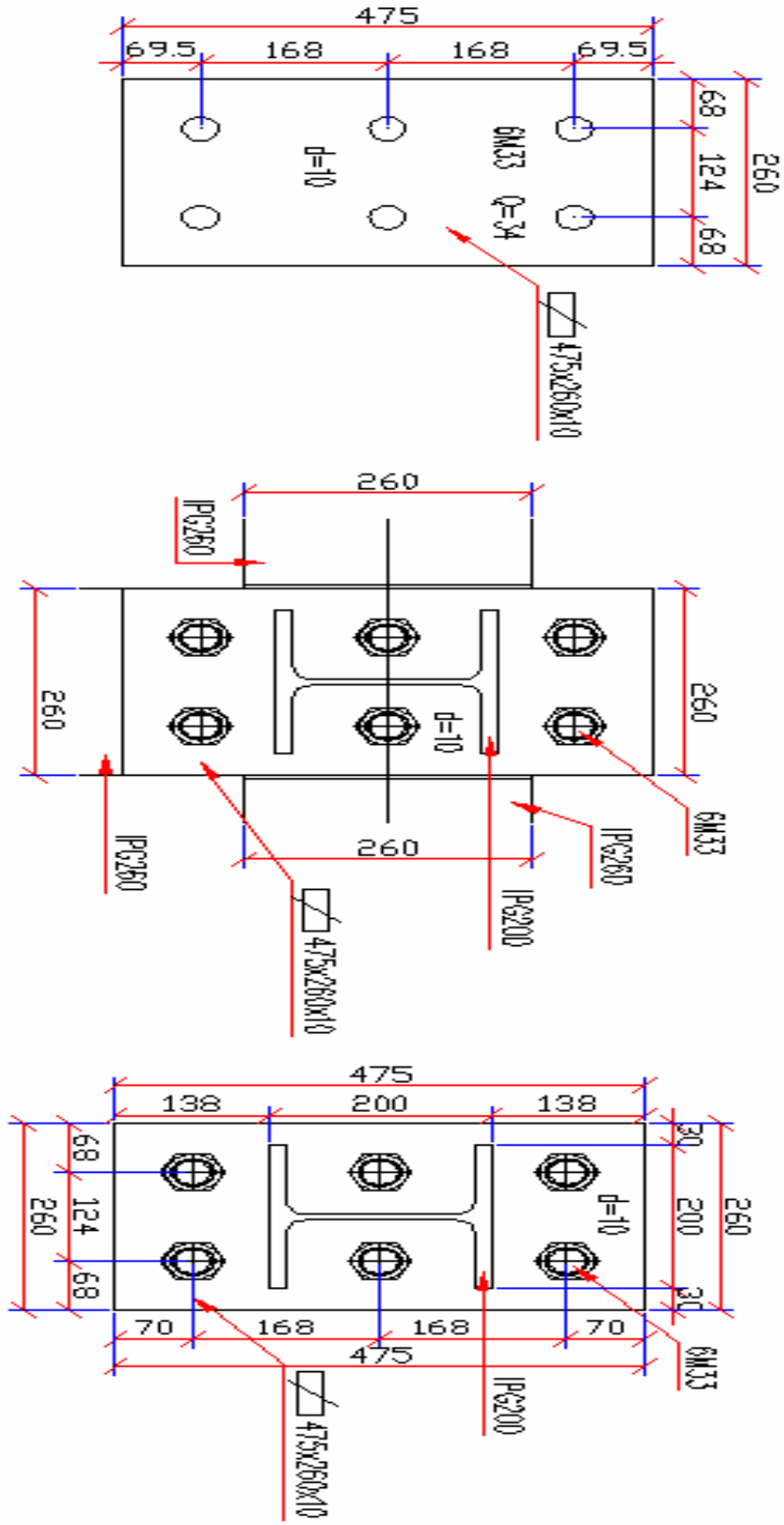
235x133x10 mm' lik levha kaynaklanmıştır (Şekil 3.10). Her iki kiriş-kolon birleşimi için 4 tane M18'lik cıvata kullanılmıştır.

Kurşun kütleler, açıklıklara I80 profilleri üzerinde yerleştirilmiştir. Yük aktarma şekli asimetriktir. Yük aktarma biçimi, bir açıklıkta boyuna kirişlere diğer açıklıkta enine kirişlere yük gelecek şekilde oluşturulmuştur. Kat diyagonalleri kutu kesit seçilmiştir (Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13).

Kiriş ve kolonların birleşim yerlerine yakın köşe levhaları kaynaklanmıştır. Kaynaklanan bu levhalara öncelikle gergi elemanları geçirilmiş daha sonra da bu gergi elemanlarına kablo elemanlar bağlanmıştır (Şekil 3.14).

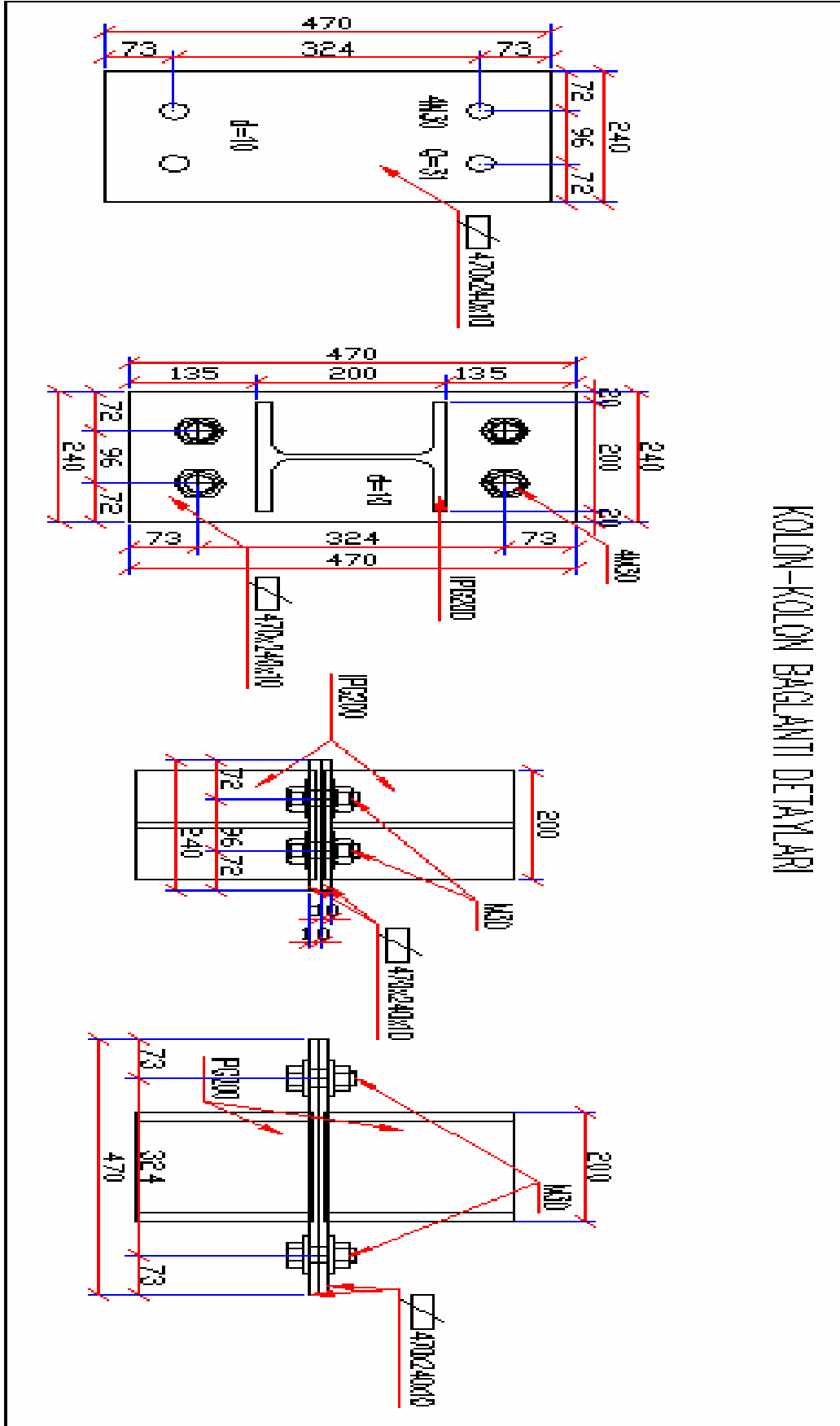
Çelik deney yapısı ile ilgili detaylar şekiller halinde tam sayfa olarak verilmiştir. Tam sayfa verilmesindeki amaç detayların daha iyi gözlenerek boyutlandırmanın gözler önüne serilmesidir. Bilindiği üzere çelik yapılarda birleşim noktaları son derece önemlidir. Çelik yapılarda plastik mafsallaşmanın önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle bu detayla özellikle değinilmiştir.

KOLON AYIĞI DETAYLARI

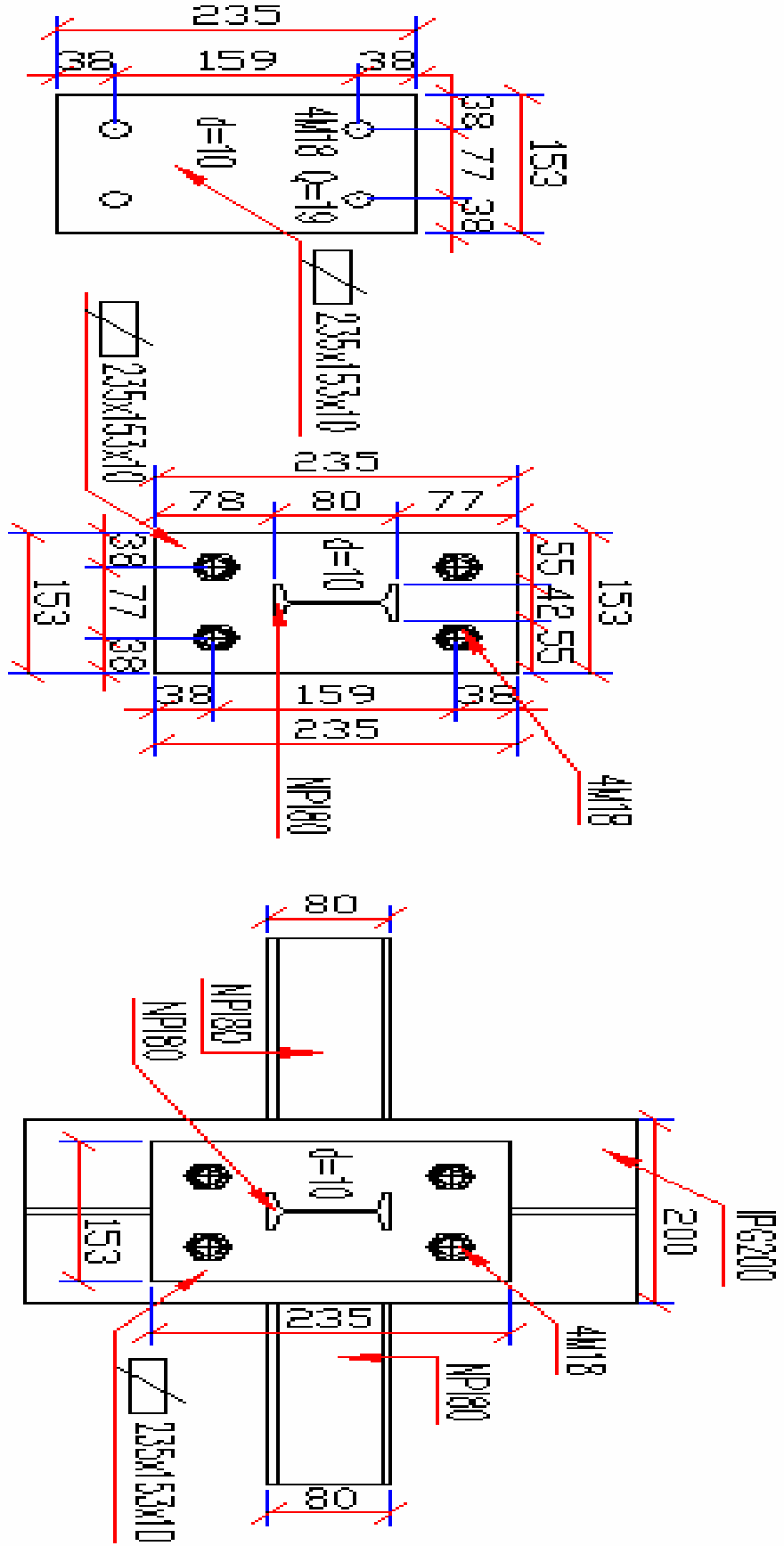


Şekil 3.7. Kolon ayağı detayı ve bağlantı levhaları

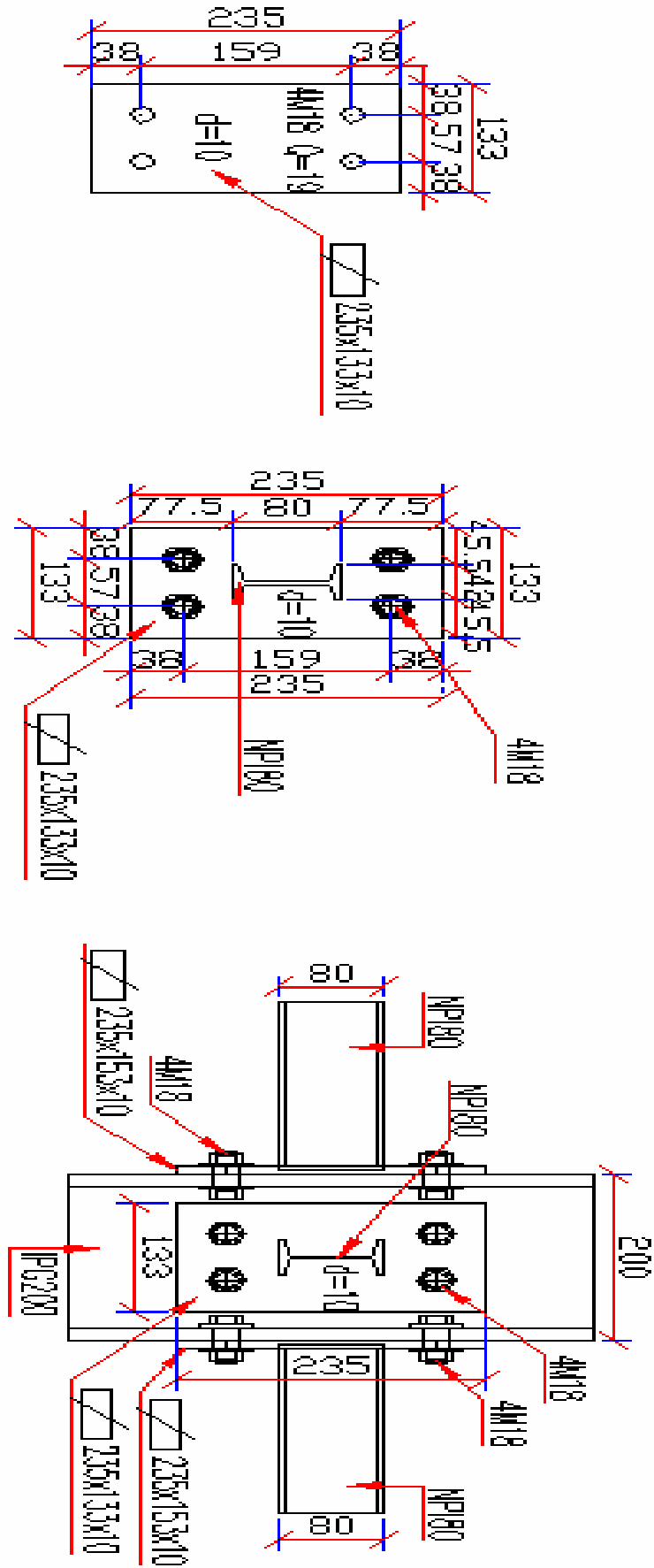
KOLON-KOLON BAĞLANTI DETAYLARI



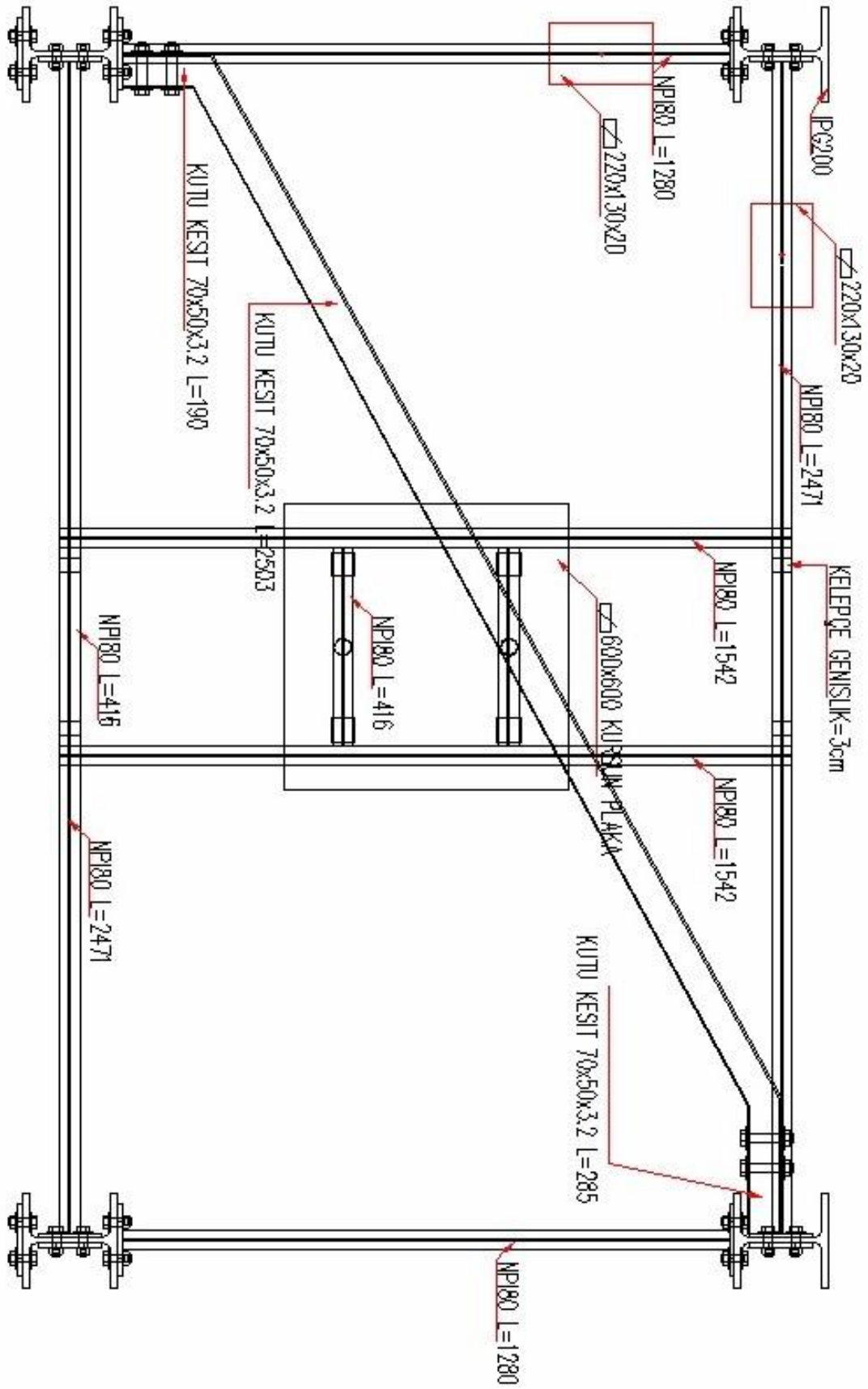
Şekil 3.8. Kolonlar arası bağlantı detayı ve bağlantı levhaları



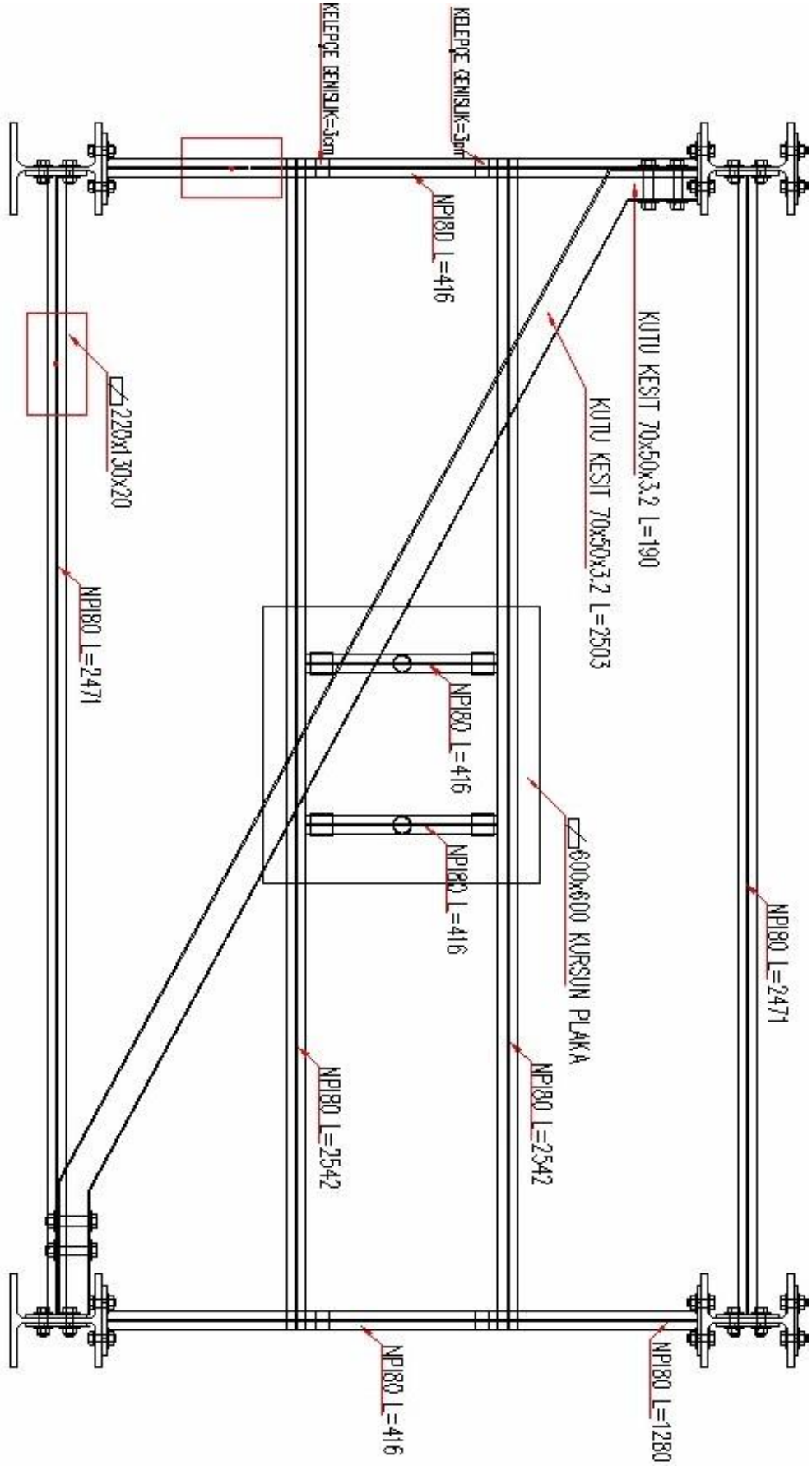
Şekil 3.9. Kolon başlığına bağlanmış kiriş detayı ve bağlantı levhaları



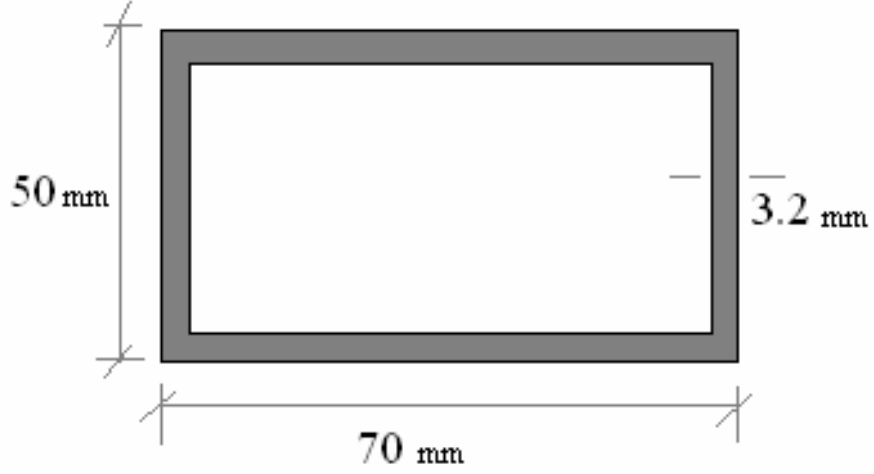
Şekil 3.10. Kolon gövdesine bağlanmış kiriş detayı ve bağlantı levhaları



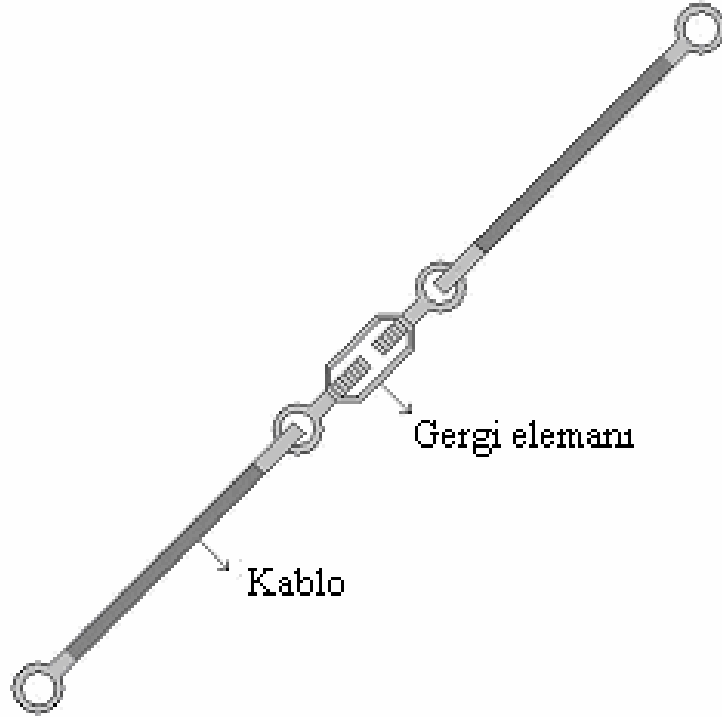
Şekil 3.11. X-X aksındaki kirişlere aktarılmış kütlelerin yerleşim düzeni



Şekil 3.12. Y-Y aksındaki kirişlere aktarılmış kütlelerin yerleşim düzeni



Şekil 3.13. Döşemede kullanılan çapraz eleman kesiti



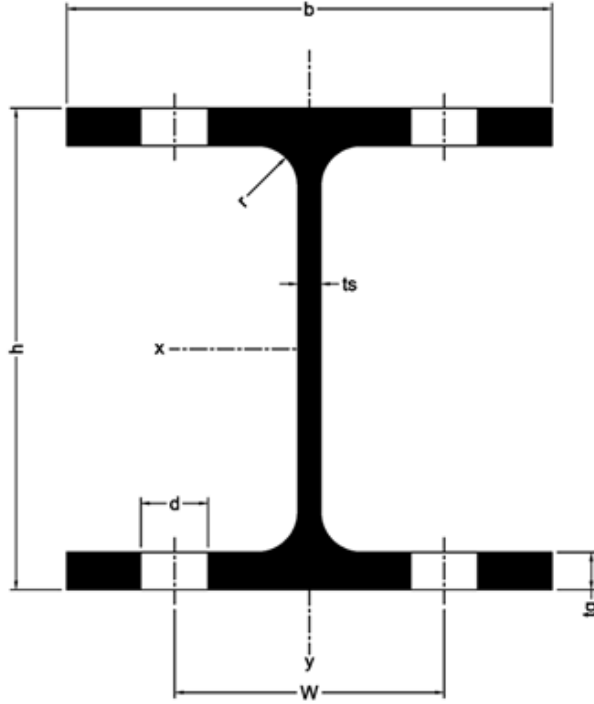
Şekil 3.14. Kablo eleman detayı

Taşıyıcı sistemde kullanılan profiller, bağlantı levhaları ve bulonlar genel olarak tanıtılarak parametreleri gösterilmiştir. Fakat teknik özelliklere ayrıca değinmek gerekmektedir. Bu gerekliliği nedeni yapılacak çalışmadaki detayların sonuca etkisinin yadsınamaz olduğudur. Özellikle ana taşıyıcı sistemi oluşturan profillerin teknik özellikleri atlanmaması gereken bir detay olmuştur. Üzerinde durulan her detay sonucun daha güvenilir olmasını amaçlamaktadır. Temel kirişlerinin, kirişleri ve

kolonların profil özelliklerine ayrı ayrı değinilerek gereken özellikler tablo ve şekiller halinde verilmiştir. Kablo elemanlara ise araştırma konusu ile direkt alakalı olduğundan ayrı bir başlık altında daha detaylı değinilmesi gerekmektedir.

IPG 260 profil özellikleri

IPG 260 profili çelik deney yapısında temel kirişlerinde kullanılan profil tipidir. Profile ait teknik özellikler Şekil 3.15 ve Tablo 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.15. IPG 260 profil kesiti

Tablo 3.2. IPG 260 profiline ait boyutlar

IPG	h	b	ts	tg	r	A	G	d	W	W1
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	mm	mm	mm
260	260	260	10	17,5	24	118	92,63	28	128	106

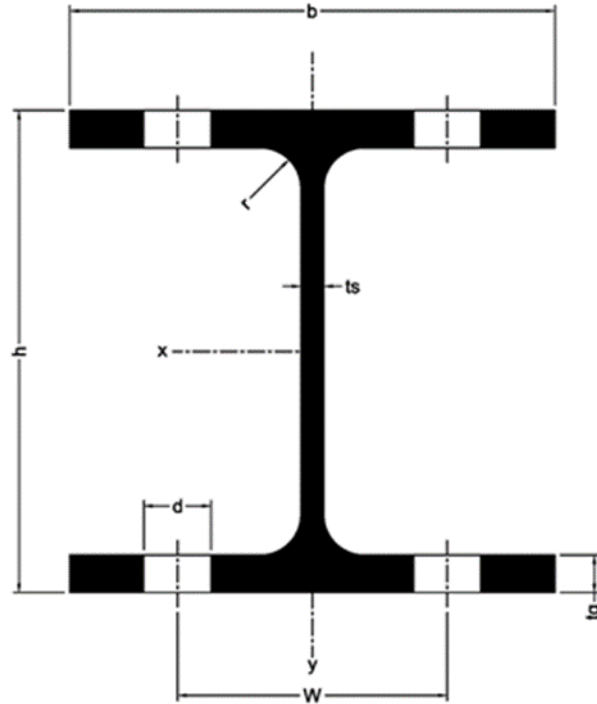
Tablo 3.3. IPG 260 profiline ait atalet ve dayanım momentleri

IPG	Atalet ve Dayanım Momenti			
	x - x		y - y	
	I _x	W _x	I _y	W _y
	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³
260	14920	1150	5130	395

Profile ait bu bilgiler DIN 1025-2 yönetmeliğinden alınmıştır.

IPG 200 profil özellikleri

IPG 200 profilini çelik deney yapısında kolonlarda kullanılan profil tipidir. Profile ait teknik özellikler Şekil 3.16 ve Tablo 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.16. IPG 200 profil kesiti

Tablo 3.4. IPG 200 profiline ait boyutlar

IPG	h	b	ts	tg	r	A	G	d	W	W1
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	mm	mm	mm
200	200	200	9	15	18	78,1	61,31	28	115	110

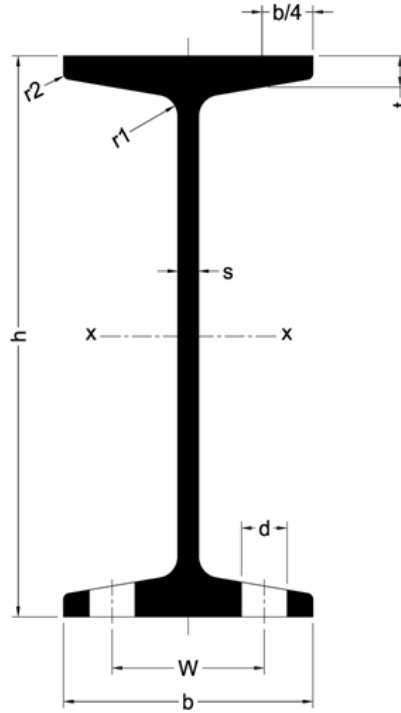
Tablo 3.5. IPG 200 profiline ait atalet ve dayanım momentleri

IPG	Atalet ve Dayanım Momenti			
	x - x		y - y	
	I _x	W _x	I _y	W _y
	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³
200	5700	570	2000	200

Profile ait bu bilgiler DIN 1025-2 yönetmeliğinden alınmıştır.

IPN 80 profil özellikleri

IPN 80 profili çelik deney yapısında ana kirişlerde ve kütlelerin üzerine yerleştirildiği kirişlerde kullanılan profil tipidir. Profile ait teknik özellikler Şekil 3.17 ve Tablo 3.6 ve 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.17. IPN 80 profil kesiti

Tablo 3.6. IPN 80 profiline ait boyutlar

IPN	h	b	t	s	r ₁	r ₂	A	G	d
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	mm
80	80	42	5,9	3,9	3,9	2,3	7,57	5,94	59

Tablo 3.7. IPG 80 profiline ait atalet ve dayanım momentleri

IPN	Atalet ve Dayanım Momenti			
	x - x		y - y	
	I _x	W _x	I _y	W _y
	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³
80	77,8	19,5	6,29	3,0

Profile ait bu bilgiler DIN 1025-2 yönetmeliğinden alınmıştır.

3.1.2. Kablo Elemanlar ve Kablo Elemanlarla Güçlendirme Hakkında Genel Bilgiler

Bir diğer popüler güçlendirme metodu olan Merkezi ve dış merkez çelik çaprazlarla güçlendirmelerde oluşan bir olumsuz durumda binanın etkin kütlelerinin artmasıdır. Her ne kadar dış merkez çelik çaprazlarla güçlendirme de süneklik sağlanması gerçekleşmekte bile olsa, yanal yer değiştirmeler istenilen düzeye getirilse de bunun bir bedeli olarak binanın kütlelerinin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca bağ kirişte oluşacak olan gerilmeler ve bağ kiriş boyutlandırılmasındaki olumsuzluklar bulunmaktadır. Bununla birlikte bağ kirişlerin düşey yük taşıma kapasitesinin azalması ve bağ kirişte oluşan plastik mafsallaşma tehlikesi bulunduğu da bilinmektedir. Bu riskler ile birlikte yapının maliyetinin de artması söz konusudur. Nitekim bina kütlelerinin artması ile birlikte ölü yüklerin artması söz konusudur. Bunun da düşey yükler altında yapı sisteminin daha da zorlanmasına ve gerilmelerin artmasına yol açacağı bilinmektedir. Ayrıca yine kütlelerin artması sebebi ile yapıya etkiyecek deprem kuvvetinin artması aşikardır. Yapı periyodun bu birleşenlere bağlı artıp frekansın da azalması mümkündür. Bu durumun yapının rezonansa girmesi açısından emniyetsiz olduğu kanıtlanmıştır.

Merkezi çelik çaprazlarla güçlendirilmiş çerçevelerde ise durum farklı olarak bu tip çerçevelerin aşırı rijit davranması bununda ani kırılmalara ve çökmelere yol açmasıdır. Zaten bu durumdan kaçınmak için dış merkezli çelik çaprazlarla güçlendirme yönteminin geliştirildiği belirtilmiştir.

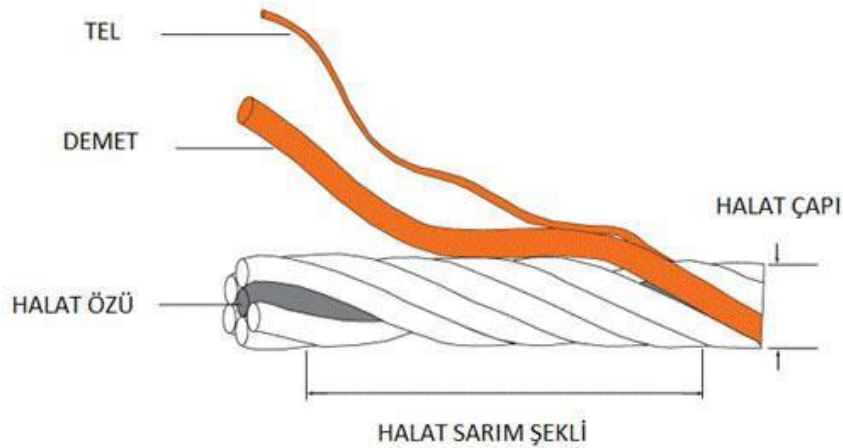
Sonuç itibarıyla yanal yer değiştirmelerin sınırlandırılması ve yapı periyodunu azaltmak istendiği durumlarda değişik çözümler ortaya atılmıştır. Yapılan analizler ile birlikte kütlelerine oranla daha dayanıklı kompozit malzemeler üretilmesi gerekliliği, farklı teknikler uygulanması gerektiği veya her iki durumun birlikte sağlanması gerekliliği açıktır.

Önerilen destek sistemini kullanan yenilenmiş çerçeve sünek davranış sergilemekte ve sismik enerji dağılım kapasitesini orijinal çıplak çerçeve ile aynı seviyeye getirmektedir (Hou ve Tagava, 2008).

Tüm bu gelişmeler ışığında ortaya daha hafif, yanal yer değiştirmeleri sınırlayıcı ve periyod üzerinde azaltıcı etkisi ile kablo elemanlarla güçlendirme yöntemi ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemin bir diğer olumlu yönü de yapı kütlelerine bindirmiş olduğu

ekstra kütlenin az olmasıdır. Uygulamaları çelik çaprazlar ile hemen hemen aynı olmak ile birlikte en önemli farkı sadece çekme dayanımına (basınç dayanımı yoktur) sahip olmasıdır. Ayrıca düşey yükler etkisinde her ne kadar hesaplamalarda ve tasarımlarda çaprazların yük taşıma kapasitesi yok sayılsa dahi gerçekte durumun farklı olduğu bilinmektedir. Bunun anlamı da çelik çaprazların basınç dayanımının olması ve hem basınca hem de çekmeye çalıştığı durumlardır. Fakat sorunun, yatay yer değiştirmelerin miktarı ve periyod olması sebebiyle ve zaten düşey yük etkisinin yok kabulü ile de bu durumun pekte olumsuz olmadığı söylenebilir. Aynı zamanda çubuklardaki burkulma sorununda kablo elemanlarda çok büyük sorun teşkil etmediği bilinmektedir. Ayrıca kablo elemanların uygulamadaki kolaylığı da tercih edilmelerinde büyük rol oynayabilir.

Kablo elemanlar isteğe ve özünde kullanılan malzeme cinsine göre ön gerilmeli ve ön gerilmemiş olarak da kullanıldığı çalışmalarda ve uygulamalarda görülmektedir. Fakat ön gerilmeli kullanım durumunda daha dikkatli olunması gerekmektedir. Çünkü ön gerilmeli kablo eleman büyük yatay kuvvetler etkisinde halatın aniden kopması olasıdır. Bu ani kopmalarla birlikte yapı sistemi olumsuz bir duruma düşmekte ve güçlendirmenin amacına ulaşmamasına neden olabilmekle beraber ani çökmelere de zemin hazırlamaktadır.



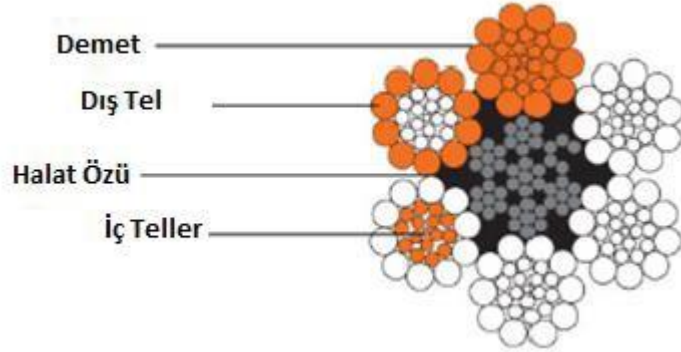
Şekil 3.18. Halatı (Kablo) oluşturan elemanlar

Halatlar Şekil 3.18' de de görüldüğü gibi teller ve bu tellerin paralel veya spiral şeklinde sarılmasıyla veya örülmesiyle demetleri oluşturmaktadırlar. Bu tellerde kullanılacak malzeme ve örüm şekilleri ile halatın akma-kopma mukavemetinin doğru orantılı olduğu bilinmektedir.

Oluşturulan demetler de farklı sarım şekilleriyle halat özünün etrafında örülerek halatı meydana getirmektedirler. Burada halatın akma-kopma mukavemetini etkileyen en önemli faktörler arasında halat özünün cinsi, demetlerin sarım türü ve demeti oluşturan tellerin sarım türleri ve de tellerin cinsi olduğu görülmektedir. Daha da önemlisi en temel yapı taşından en son haline kadar halatlarda sarım türünün etkisi gözler önüne serilmektedir. Burada özellikle akma-kopma mukavemetine dikkat edilmesindeki neden halatların çekme etkisinde çalışması ve gerilmeler oluşmasıdır. Tasarım ve uygulamalar yapılr iken en küçük akma mukavemetine bakılır ki halatın kopması durumunda güçlendirme anlamsız ve işe yaramaz hale gelmektedir.

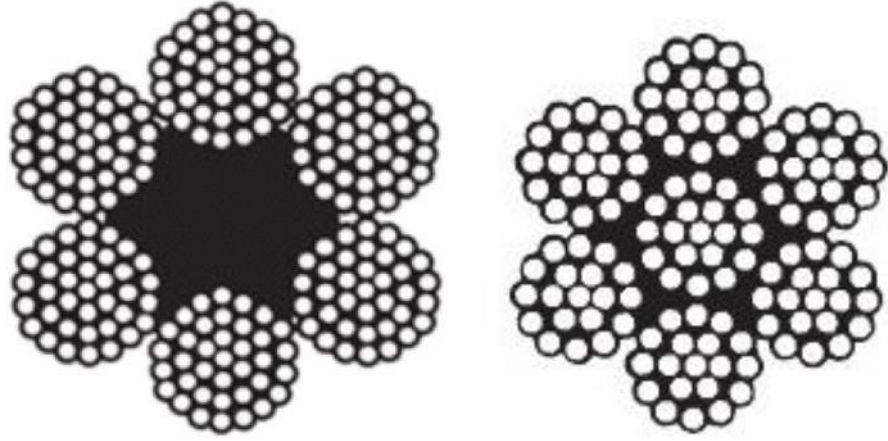
Tasarım ilkelerinde basınç etkisi göz ardı edildiği için halatların veya genel hatlarıyla kablo elemanların basınç dayanımları ve mukavemet şartları ön planda tutulmazlar.

Ayrıca tel ve demet sayıları ve halat çapı değiştirilmesi ile de yapı için istenilen güvenlik şartları (akma-kopma mukavemeti emniyeti) sağlanabilir.



Şekil 3.19. Halat (Kablo) en kesiti

Şekil 3.19 'da halatın en kesiti tel, demet ve halat özü görülmektedir. Bu şekilde göze çarpan detay iç ve dış teller olması ve farklı çaplarda olabilmesidir. Bu durum halat sarım şekli ve halat özü ile bağlantılıdır. Tel çapları Şekil 3.20' deki gibi eşit olabilmekle birlikte farklı da olabilmektedir. Tasarımdaki bu farklılığın sebebi ise belirtildiği gibi kütlenin sabit tutulmaya çalışılarak veya azaltılmaya çalışılarak gereken dayanım şartlarını sağlamak fikridir.



Şekil.3.20. Farklı özlerde halat (kablo) en kesitleri

Şekil 3.20’ de eşit çaplı tellerler sarılı farklı halat özüne ve farklı tel sayılarına sahip halat en kesit örnekleri verilmiştir. Demet sayıları aynı olmak ile birlikte farklı da olabilirler.

Çelik halat özleri ve halat sarım şekilleri

Halat özleri, halatların davranışlarına doğrudan ve önemli ölçüde etki eden, halatı oluşturan elemanlardandır. Halat özünün seçimi ile halatın akma-kopma mukavemeti ve esnekliği arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bu nedenle farklı performanslar için değişik türlerde halat özü kullanılmaktadır. Genellikle 3 ana grupta kullanılırlar. Bunlar Lif öz, demet veya damar öz ve bağımsız çelik öz olarak adlandırılırlar.



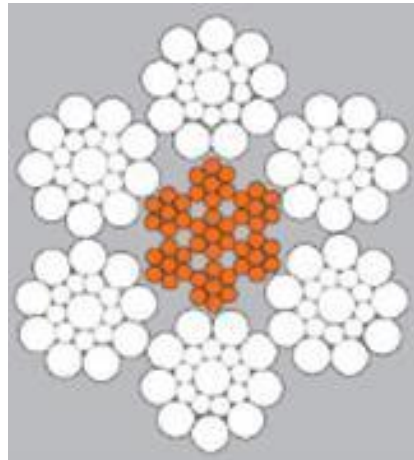
Şekil 3.21. Lif öz halat en kesiti

Lif öz halatlar, esnekliğin ön planda tutulduğu ve arandığı durumlarda kullanılırlar. Sızal veya propilen lif ürünlerden oluşmaktadırlar. Şekil 3.21’de görüldüğü gibi tel çapları farklı olabilmektedir.



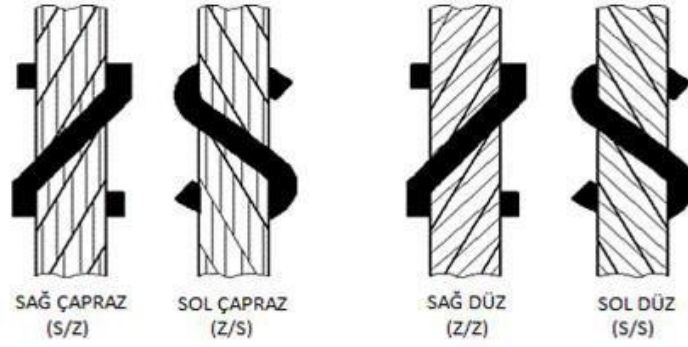
Şekil 3.22. Demet öz halat en kesiti

Demet öz halatlar, halat özü ile halatın aynı malzeme ile imal edilmesinden oluşurlar. Şekil 3.22’de görüldüğü gibi eşit çaplara sahip tellerden oluşurlar. Damar öz halatlar olarak da isimlendirilirler.



Şekil 3.23. Bağımsız çelik öz halat en kesiti

Bağımsız öz halatlar, yüksek mukavemet ve ısı performansının gerektiği durumlarda kalın halat olarak seçilip, kullanılırlar. Şekil 3.23’de görüldüğü gibi halat özününde demet öz halatlara benzediği görülmektedir. Bunun sebebinin diğer iki halat özü türünün yetersiz kaldığı durumlarda birleşimleriyle ortaya yeni bir tür olarak çıktığı düşünülmektedir.



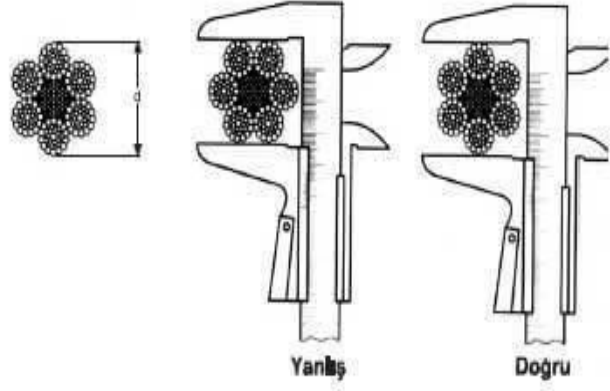
Şekil 3.24. Halat sarım şekilleri

Üretim sırasında tel ve demetlere şekil verilirken seçilen sarım şekilleri halatın sarım yönünü belirler. Damar sarım yönü ve tel sarım yönü aynı zıt olanlar çapraz sarım olarak adlandırılırken, aynı olanlar düz olarak adlandırılır. Genel kullanılan sarım yönleri Şekil 3.24'deki gibidir.

Çelik halatlarda çap ölçümü ve isimlendirilmesi

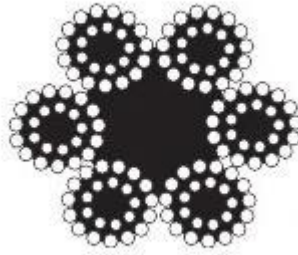
Halatların çaplarıyla akma-kopma mukavemetleri doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Halat çapı ölçümünde Şekil 3.25'de yaygın hata gösterilmekte bu hatalarda her ne kadar tasarım ve projelendirme aşamasında emniyetli durumda olan güçlendirme tekniğinin uygulama da hatalı sonuçlar vermesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda güçlendirilen çerçeveler emniyetsiz durumda kalmakta bu da yapının emniyetsiz hale gelmesine yol açmaktadır. Buradaki esas; ani yükler altından (deprem yükü vb. dinamik yükler) kablo elemanlarda meydana gelecek akma-kopmaların tüm sistemi etkileyerek güçlendirmeyi geçersiz kılmasıdır. Tüm bu sebeplerin varlığı ile özellikle uygulama da çap ölçümünün doğru bir şekilde yapılması hayati önem taşımaktadır. Ayrıca kablo elemanlarla güçlendirilmiş çelik deney yapısı deneye hazırlanırken projedeki kablo eleman çapına uygunlukta bu şekilde ölçülmüştür. Kullanılan kablo çapı 14 mm olduğu görülmüştür.

Çelik halat Ölçüm Yöntemi:



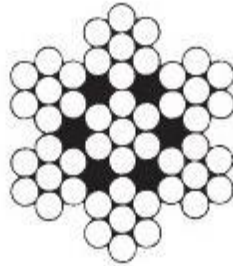
Şekil 3.25. Çelik halatlarda çap ölçümü ve yaygın hata

Halatların isimlendirilmesi ise demet sayısı çarpı bir demetteki tel sayısı ve en son olarak halat özünün adıyla anılırlar. Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de sırasıyla adlandırma görülmektedir.



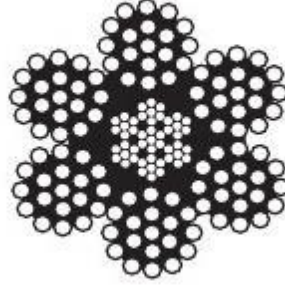
Şekil 3.26. 6x24 Lif öz çelik halat

Şekil 3.26'daki gibi demet sayısı 6 adettir ve bir demetteki tel sayısı da 24 adet olduğu görülmektedir. Halat özünün lif öz olduğu da şekilde görülmektedir.



Şekil 3.27. 7x7 demet(damar) çelik öz çelik halat

Şekil 3.27'deki gibi demet sayısı 7 adettir. Demet öz halatlarda özde bulunan demette demet sayısına katılmaktadır. Tel sayısı da 7 adettir. Halatın özü ise demet öz olduğu görülmektedir. Fakat bazen sadece dış demet sayısına göre adlandırılarak 6x7 şeklinde de kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 3.28. 6x19 bağımsız çelik öz çelik halat

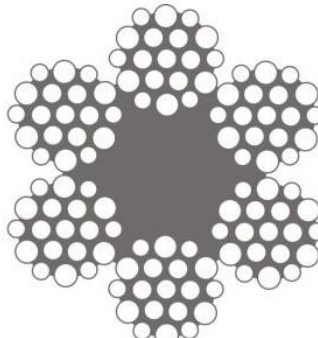
Şekil 3.28'deki gibi demet sayısı 6 adettir ve bir demetteki tel sayısı da 19 adet olduğu görülmektedir. Halat özünün bağımsız çelik öz olduğu da şekilde gözükmemektedir.

Bu çalışmada 14 mm çapında 6*19 Warrington halat kablo elemanda kullanılmıştır. İlgili teknik özellikleri ve halatın diğer kullanım alanları da Şekil 3.29'da açıkça verilmiştir.

6*19 WARRINGTON 6(1+6+(6+6))

Kendir Özlü Halat *Fiber Core*

6X19 WARRINGTON TS EN 12385-4				
Halat Anma Çapı <i>Diameter of Wire Rope</i>		LÖ Birim Ağırlık <i>FC Unit Weight</i>	En Küçük Kopma Kuvveti <i>Min. Breaking Load</i>	
mm	Tolerans (%)	kg/m	Lif Öz Tel Anma Dayanımı <i>(180 kgf/mm²) F_min kgf</i> <i>Tensile Strength</i>	Lif Öz Tel Anma Dayanımı <i>(200 kgf/mm²) F_min kgf</i> <i>Tensile Strength</i>
6		0.134	2150	2385
7		0.183	2920	3245
8		0.238	3815	4235
9		0.302	4830	5365
10		0.373	5960	6620
11		0.451	7210	8000
12		0.537	8580	9535
13		0.630	10070	11190
14		0.730	11700	12975
15	+5	0.838	13400	14895
16	-0	0.954	15250	16945
17		1.077	17220	19130
18		1.207	19310	21450
19		1.345	21510	23900
20		1.490	23850	26475
22		1.803	28850	32040
24		2.146	34320	38130
26		2.519	40280	44750
28		2.921	46710	51900
32		3.815	61000	67785
36		4.829	77200	85790



■ **Kullanım Yerleri** (*Application Area*) ■

- ◊ Madencilik (*Mining*)
- ◊ Balıkçılık (*Fishing*)
- ◊ Petrol Kuyuları (*Oil Well*)
- ◊ Telesiyej (*Chair Lift*)
- ◊ Genel Mühendislik (*General Engineering*)
- ◊ Asansör (*Elevator*)

Şekil 3.29. Çalışmada kullanılan halat(kablo) özellikleri

Kablo elemanlarda bağlantı elemanları ve uygulama örnekleri

Çelik çerçeveleri güçlendirmek amacıyla yapılan tasarım ve uygulamalarda önemli bir noktada bağlantı noktası dayanımıdır. Çelik yapılarda ve çelik yapıların çapraz elemanlarla güçlendirilmesinde de olduğu gibi bağlantı-birleşim noktalarının gereken önemin gösterilmesi gerekmektedir. Nitekim bağlantı kancalarında veya birleşim detaylarında oluşacak yırtılma, kopma ve deformasyon etkileri ile birlikte mevcut halatta yük aktarımı durmuş olmaktadır ve yapılan güçlendirme amacına ulaşmamakla birlikte füzuli bir ekonomik masrafın yanında düşeyde de halatın kendi kütlelerinden dolayı ölü yükler olarak ortaya çıkmaktadır. Zayıf kiriş güçlü kolon yapı tasarımı ilkesinin bir benzeri de burada görülmektedir. Nitekim istenilen çapta ve elastisiteye sahip halatları, zayıf kancalar veya zayıf birleşim noktasına bağlanmasıyla oluşacak yanal kuvvetler etkisinde, kancalar koparak veya birleşim bölgesi yırtılarak halatın yük aktarımındaki ve enerji yutma etkisi yok olmaktadır. Benzeri de kiriş-kolon ilişkisinde çökme yaşanan kolona bağlı kirişin, bağlı olduğu kolondan güçlü yani dayanımı yüksek dahi olsa kirişte kolona bağlı çökmekte ve daha da kötüsü yapı sistemi tamamen geri dönüşü olmayan hasarlar alabilmektedir.

Uygulama esnasında kullanılan halatlar da korozyon ve bağlantı noktalarında oluşacak aşınma etkilerine de dikkat etmek gerekmektedir. Korozyon etkisini en aza indirmek amacıyla halatlar krom kaplanmaktadır. Bağlantı noktalarında ise bağlantı elamanı ve kanca seçiminde bu durum göz önünde bulundurularak gereken imalat yapılmalıdır. Şekil 3.30, 3.31’de çelik halat bağlantı elemanları verilmiş, Şekil 3.32’de bu elemanların uygulama kullanılan mevcut durumu gösterilmiştir.



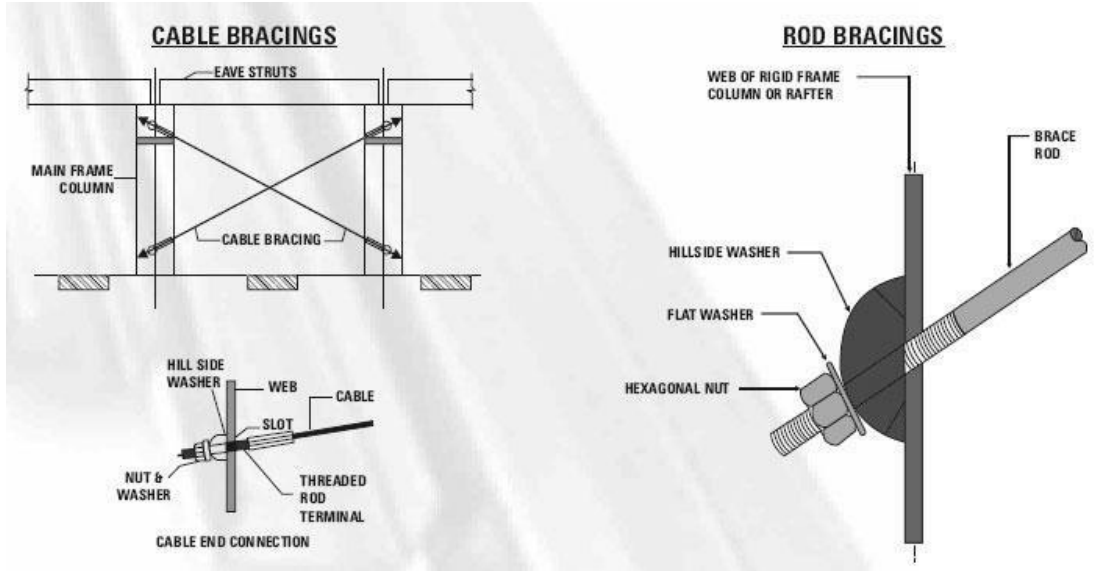
Şekil 3.30. Çelik sapan ve çelik gergi



Şekil 3.31. Yüksük ve radansa



Şekil 3.32. Çelik halat ekipmanların bağlanmış durum örneği

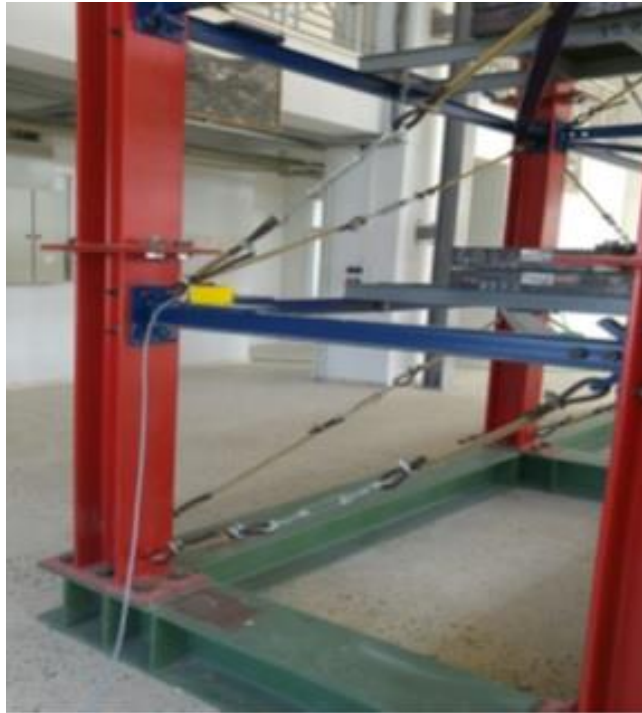


Şekil 3.33. Kablo elemanlarla güçlendirilmiş sistemin birleşim noktası detayı

Kablo elemanlar güçlendirme uygulamalarında merkezi çaprazlarla güçlendirme metoduyla benzer tip olmakla beraber en sık uygulanan tip X tipi ve diyagonal tip merkezi güçlendirmedir. Yapılan çalışmada diyagonal tip güçlendirme seçeneği seçilmiştir.

X tipi çapraz halatlarla güçlendirilme de 2 boyutlu bir çerçeve de yanal etki ne yönden gelirse gelsin, halatlardan birinin yer değiştirmeyi engellediği ve enerji emilimini sağladığı Şekil 3.33’de de görülmektedir. Yanal kuvvet ile birlikte çerçevelerde yer değiştirme oluşmaktadır. Bu durumda X tipi çapraz halatların gelen kuvvetin yönüne bağlı olarak biri gerilir iken diğeri basınç etkisine maruz kalmaktadır. Basınç etkisinde olan halatın basınç taşıma kapasitesi yok denecek kadar küçüktür. Fakat 2 çaprazın aynı anda gerilmesini sağlayacak çözümlerde özellikle Xingguo Hou ve Hiroshi Tagawa 2008 yılındaki “Displacement-restraint bracing for seismic retrofit of steel moment frames” adlı çalışmasında mevcuttur.

Diyagonal çelik kablo elemanlarla güçlendirme ise X tipi çapraz kablo elemanlarla güçlendirmede oluşan bu durum yapının simetrisine göre ayarlanabilmekte ve böylece hem ekonomik düşünülmüş hem de yapıya fazla ölü yük bindirilmemiş olunmaktadır. Çelik çaprazlar yerine kablo elemanlarla güçlendirme seçilmesinde de bu ekonomik şart ve emniyet şartları göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle çalışmada diyagonal çelik kablo elemanlarla güçlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Diyagonaller ardışık çerçevelerde simetrik olarak kullanılarak etki hangi yönde olursa olsun karşılamak üzere tasarlanmışlardır. Ardışık iki açıklıkta herhangi bir yönde etki oluştuğunda 2 kablodan birisi çekme diğeri ise basınç etkisi altında olması sağlanmıştır.



Şekil 3.34. Çalışmada kablo elemanların bağlanma örneği-1

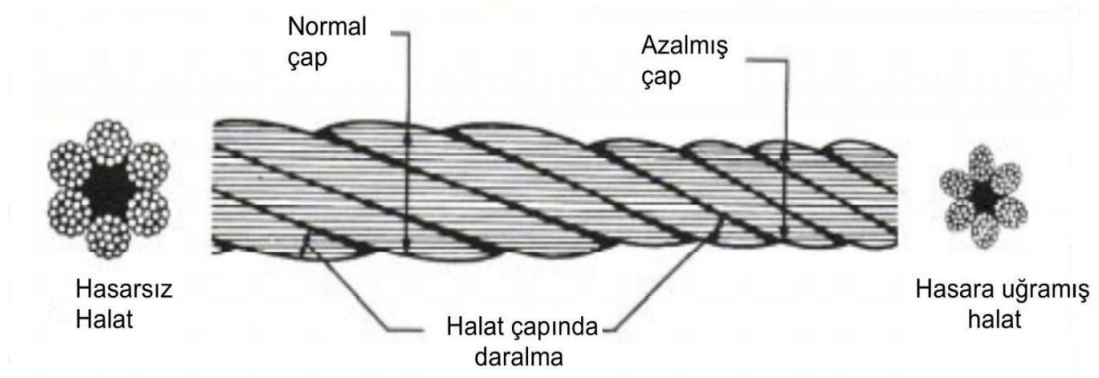


Şekil 3.35. Çalışmada kablo elemanların bağlanma örneği-2

Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’de uygulamaya yönelik örnekler olarak kablo elemanların mevcut yapıya uygulanma örnekleri verilmiştir. Verilen bu örnekte çelik deney yapısına kablo elemanların bağlanma noktaları, gergi elemanı, yüksük ve çelik sapan açıkça görülmektedir. Bulguların bulunması bölümünde uygulamaya daha detaylı değinilecektir. Burada amaçlanan sadece bağlantı noktalarını ve bağlantı elemanlarını uygulama üzerinde göstermektir.

Çelik halatlarda korozyon ve bozulma

Cisimlerin kuvvetler etkisi altında şekil değiştirdiği kanıtlanmış bir gerçektir. Fakat bu şekil değiştirmelerde ise en istenmeyen durum cisimin eski şekline geri dönememesi, elastikliğini kaybetmesidir. Bu durumdan mustarip olunmaması için her ne kadar dikkatli tasarım ve uygulamalar yapılsa da olumsuz durumlar oluşabilmektedir. Bu durum çelik halatlarda da görülmektedir. Gerilme etkisi altında Şekil 3.36’da ki gibi şekil değişikliklerine maruz kalmaktadırlar.



Şekil 3.36. Hasara uğramış halatta çap daralması

Halatın bu formu kopmadan önceki son formudur. Çekme gerilmesinin artmasıyla halat koparak, güçlendirmenin elverişsiz hale gelmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle halat çap ve tipinin seçiminde daha dikkatli davranılması, yatay yük ile oluşacak maksimum gerilmelerinde daha dikkatli hesaplanması gerekmektedir.

Bağlantı noktalarında oluşacak şekil değişiklikleri veya deformasyonlar ise gerdirmelerde ve sapanlarda çekme kuvveti etkisiyle oluşabilecek akmalar ve kopmalar, çerçeveye çapraz halatların birleşim noktalarında ise oluşabilecek kesme-kayma gerilmeleri etkisiyle oluşabilecek yırtılmalardır. Bağlantı ve birleşim noktalarındaki bu deformasyonların yapı sistemine etkisi ile halatın kendi yapısında oluşan deformasyonların yapı sistemine etkisi arasında hiçbir fark yoktur. Her iki durumun ortak özelliği yapı sistemine uygulanan güçlendirmeyi etkisiz kılarak yapıyı emniyetsiz duruma düşürmesidir.

Tüm durumlara ek olarak çelik halatlarda ve halatlardaki demetlerde örgü düzeninin bozulmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.37. Çelik halatlarda bağlantı noktasında oluşan korozyon

Bir diğerk çelik elamanların tümünde olduğu sorun korozyondur. Oluşacak korozyon ile birlikte kesitte kayıplar olduğu bilinmektedir. Bu kayıplar en kesitler incelediğinde daha net görülmektedir. Çelik kesiti oksitlenme ile kesit alanını kaybetmeye başlar. Bu da çelik halatlarda çapta azalma olması ile eş değerdir. Fakat bağlantı noktalarında da korozyon oluşmaktadır. Şekil 3.37 bu korozyonun bir örneğidir. Özellikle bağlantı elemanlarının özellikleri defalarca birçok çalışmada da vurgulanmıştır. Bağlantı ve birleşim noktalarında oluşan korozyonlarla birlikte kesit azalması olmakta ve bunun sonucunda yük iletimi sırasında kopma veya yırtılmalar meydana gelmektedir. Halat çapı azalmasında olduğu gibi bu durumda da güçlendirme elverişsiz kalmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında halatların korozyon koruyucu işlemlerden geçmiş olmasına, pas koruyucu veya krom kaplanmasına dikkat edilmelidir. Korozyon tespit edilen diğerk bir deyişle paslı elemanlar kesinlikle kullanılmamalıdır. Çelik halatların korozyon dayanımı her zaman göz onunda bulundurulmalı kullanılacak halat seçilirken kesinlikle bu duruma dikkat edilmelidir.

3.1.3. Deneysel Çalışma İçin Kullanılan Cihazlar Hakkında Genel Bilgiler

Yapıya etki eden titreşimler ve yapıdan çıkan tepkiler genel manasıyla tam olarak bilinmemektedir. Her ne kadar çeşitli yöntemlerde çeşitli varsayımlar yapılsa da bunların gerçek değerin yerini alması imkansızdır. Bu titreşimler çevresel etkilerden oluşmakta; titreşimlere verilen tepkiler zaman ve frekans ortamında işlenerek yapılara ait dinamik karakteristikler deneysel olarak belirlenebilmektedir. Bu deneysel yöntemin adına ise operasyonel modal analiz denilmektedir. Titreşimlerin çevresel kaynaklı olmasından dolayı birçok değişkene bağlıdır. Doğal titreşim kaynakları bazen trafik ya da yaya yükü olurken bazen yer sarsıntılar bazen ise rüzgâr kaynaklı olabilmektedirler. Titreşimler ise yapılarda olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu durumda titreşimlerden oluşan tepkilerin işleme yönteminin doğru seçilmesi ve bu olumsuzluğun seçilen yöntemle giderilmesi önem arz etmektedir.

Oluşan çevresel veya zorlanmış titreşimlerin deneysel olarak ölçülmesi cihazlarla mümkündür. Bu cihazlara örnek verilecek olursa örneğin sismometreler zemin seviyesinde titreşimleri ölçebilirler ve bir veri işleme ünitesi (datalogger) ile bu titreşimler zamana bağlı olarak kayıt altına alınabilir. Ya da risk faktörüne göre 24 saat izleme yapılması da günümüzde mümkün ve hatta birçok yönetmelikte ve ülkede bu uygulama yapılmaktadır. Deprem erken uyarı sisteminin temelini oluşturdukları

bilinir. Ayrıca bu izlemelerle bölgelerin sismik haritaları da çıkartılmaktadır. Bu cihazlar çeşitli farklı hassasiyet derecelerine sahiptirler. Veri işleme üniteleri (datalogger) ise veri işleme ve örnekleme derecelerine göre temel olarak birbirlerinden farklıdırlar.

Yapıların tepkisini ölçmek amacıyla ise en yaygını olan ivme ölçerler bulunmaktadır. İvme ölçerlerin yanında hız ölçerler, yer değiştirme ölçerler ve gerinim ölçerlerde (strain gauge) bulunmaktadır. Bu cihazların genel adı ise sensörlerdir. Örneklerin dışında da birçok alanda kullanılan birçok sensör bulunduğu bilinir. Tepki dönüştürücüler adıyla da mühendislik alanında kullanılırlar.

Bu tez çalışmasında deneysel çalışmada çıkış verisi almak ve bu verileri kaydetmek amacıyla temel olarak aşağıdaki aletler kullanılacaktır.

- 1) İvme ölçerler (Tepki dönüştürücüler)
- 2) Veri toplama ünitesi (Datalogger)
- 3) Bilgisayar ve gerekli yazılımlar (Testlab network, Artemis modal, Excel vb.)
- 4) Cihazlar arası bağlantı ve veri aktarımı için gerekli özel kablolar

İvme ölçerler (Tepki dönüştürücüler)

Yapı sisteminde meydana gelen yer değiştirme, hız, ivme gibi tepkileri sinyal işlemeye hazır bulunan bir veri alma ünitesine orantılı bir elektrik sinyali biçiminde aktaran aletlere dönüştürücü denmektedir.

Mühendislik yapı sistemlerinde yer değiştirme ölçümleri tüm algılayıcıların harici bir referans noktası ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir ve bu da çoğu kez maliyetli bir işlemdir. Bundan dolayı, doğru sonuçlar elde edilmesine imkân veren ve maliyeti nispeten daha düşük olan ivmeölçerler test ekipmanları olarak tercih edilirler. İvmeölçerlerden elde edilen değerler sayısal entegrasyon yoluyla hız ve Yer değiştirme değerlerine dönüştürülebilir.

Geniş frekans ve dinamik aralığa sahip olmaları ve nispeten küçük ve hafif olmaları gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen dönüştürücü çeşidi ivmeölçerlerdir. İvmeölçerler uygulanacakları yüzeye çeşitli yollarla sabitlenebilirler. Vida, çeşitli yapııştırıcılar, mıknatıslı sistemler ve balmumu gibi bağlantı çeşitleri kullanılabilir. Kullanılacakları yapı veya sisteme uygun olarak tek veya üç

eksenli ivmeölçerler mevcuttur. Şekil 3.37' de tek eksenli ve Şekil 3.38' de üç eksenli ivmeölçer örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.38. Tek eksenli ivme ölçer

Eksen sayısına göre SENSEBOX 7021/7022/7023+ ve 7031/7032/7033 şeklinde isimlendirilen bu ivmeölçerler, kuvvet/elektro-dinamik geri beslemeli, ultra düşük gürültülü sensörlerdir. Sismik Ölçümler, Kuvvetli Yer Hareketi Ölçümleri, Ortam Titreşimi ve Yapısal Sağlık Takibi uygulamaları için hem düşük maliyeti hem de yüksek performans açılarından ideal bir çözümdür. Şekil 3.38'de görülen ivme ölçer SENSEBOX 7021 dir. Eksen sayısını göre isminden sonra gelen numaranın son hanesi değişmektedir.



Şekil 3.39. Üç eksenli ivme ölçer

Şekil 3.39’da görülen ivme ölçer SENSEBOX 7023 dür. Bu ivmeölçerler, kuvvet/elektro-dinamik geri beslemeli, ultra düşük gürültülü sensörlerdir. Tek eksenli ve üç eksenli ivme ölçerlerin teknik özellikleri Tablo 3.8’de verilmektedir.

Tablo 3.8. İvme ölçerlerin teknik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER	SENSEBOX 7021/22/23+
Eksen Sayısı	1/2/3
Tipi	Kuvvet/elektro-dinamik geri besleme (FBA-Force Feedback)
Maksimum İvme Ölçüm Aralığı	± 3 g
Çıkış Gürültü Performansı	130 ng/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Frekans Aralığı	0,1-120 Hz
Hassasiyet	2400 mV/g
Şok Dayanımı	2000 g
Besleme Voltajı	+6 \pm 15VDC
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ~ +65°C

Veri toplama ünitesi (Datalogger)

Veri toplama sistemi, veri toplama ünitesi ve bilgisayardan meydana gelmektedir. Veri toplama ünitesi, ivmeölçerlerden gelen sinyalleri kaydedip ilgili bilgisayar programına aktarmak için kullanılmaktadır. Sinyallerin toplanmasında ve işlenmesinde gerekli ara yüzü sağlayan eleman olarak da bilgisayar programı kullanılmaktadır. Sinyal toplama ve işleme aşamaları özet olarak şu şekilde belirtilmektedir.

İvmeölçerler yapıdan gelen titreşimleri elektrik sinyalleri olarak doğrudan ya da çeşitli sinyal koşullama ünitelerinden geçirdikten sonra veri toplama sistemine aktarmaktadırlar. Bu kısımda sinyaller dinamik yapılarına uygun bir hızda ve çözünürlükte örneklendirilirler (sayısal forma dönüştürüldükten) ve daha sonra bilgisayar programında işlenirler veya saklanırlar.

İvmeölçerlerden veri toplama ünitesine genellikle ham sinyal olarak adlandırılan yapı titreşimleri ve ortamdaki gürültüler (rüzgâr sesi, insan sesi, kuş sesi, dere sesi vb.) aktarırlar. Ham sinyallerin kullanıldığı zaman yapı davranışının doğru belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bundan dolayı veri toplama sisteminin en önemli işlevleri arasında sinyal koşullama önemli yer kapsamaktadır. Bu işlem sonucunda ham sinyalleri istenen özelliklere getirilir. Bu işlemin temelinde düşük seviyeli bir sinyalin kalitesini artırmak, gürültü sinyallerinin etkisini azaltmak, istenmeyen sinyalleri filtrelemek, gerekli durumlarda ivmeölçerlerdeki elektrik gücünü ayarlamak veya ivmeölçerlerin davranışlarının kontrol etmek uygulanmaktadır.

Veri toplama sistemi içerisinde yer alan sinyal koşullandırıcılar vasıtasıyla bu işlemler gerçekleşmektedir. Bu işlemlerin en başta geleni istenmeyen sinyallerin filtrelenmesidir. İstenmeyen sinyaller, seçilen frekans ölçüm aralığı dışında kalan yüksek frekansa sahip sinyallerdir. Eğer sinyaller düşük bir hızda ölçülürse yüksek frekans içeriğine sahip sinyaller, düşük frekanslara sahipmiş gibi algılanır ve yapılan ölçüm hatalı yapılmış olur. Bu hata ölçme hızı, en büyük frekansın en az iki katı seçilerek engellenebilmektedir. Deneysel ölçümlerde kullanılan bir veri toplama ünitesi örneği Şekil 3.40' da teknik özellikleri ise Tablo 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.40. 4 Kanallı dinamik veri toplama cihazı ve ivme kayıt sistemi

Tablo 3.9. Veri toplama cihazı teknik özellikleri

ADC Çözünürlüğü	24 Bit
Senkronizasyon	Eş zamanlı örnekleme – kanal başına bağımsız ADC
Sensör Giriş Kanal Sayısı	Cihaz başına 4/8/16/20 /24 /32 kanal (daha fazla kanal sayısı GPS senkronizasyon ile olanaklıdır)
Dinamik Ölçüm Aralığı	138 dB
Örnekleme Hızı (Maks.)	4 Kanal versiyon 16 kHz'e kadar / kanal (standart-2 kHz)
Kanal Voltaj Giriş Aralığı (Programlanabilir)	$\pm 12V / \pm 8.8V / \pm 4.4V / \pm 2.2V / \pm 1.1V / \pm 550mV / \pm 275mV / \pm 137.5mV / \pm 68.75 mV / \pm 34.4 mV / \pm 17.2 mV$
Giriş Sinyal Tipi	Diferansiyel (en iyi performans) / single ended
Programlanabilir Kazanç Seçenekleri	1/8 – 1/4- 1/2 -1-2-4-8-16-32-64-128
Analog Filtre	Anti-aliasing / alçak geçirgen
DSP	Oversampling / downsampling / decimation / sayısal filtre
Sensör İkaz Seçenekleri	+5V, +12V, -12V (standart)
Bilgisayar Bağlantı Arayüzü	Ethernet
Depolama	USB – Flash memory
Sensör Konektör Yapısı	IP67, push-pull, yuvarlak, 9 pin
Sayısal G/Ç	4 Giriş / 4 çıkış
CPU	ARM-cortex / gömülü linux
Kutu/Çanta	Ex-Proof taşınabilir çanta tipi kutu (NATO cage code A7423)
Boyutlar	12" Ux 10.625" Gx 5.6875" Y – 4 kanal versiyon / 16.125" Ux 13.375" Gx 8.0625" Y - 8 ve 16 kanal versiyonlar
Çalışma Sıcaklığı	-20 °C ~ +55 °C
Güç Girişi	12 VDC / maks. 40 watt

Bu çalışmada 24 bit 4 Kanallı dinamik veri toplama ünitesi kullanılacaktır. Teknolojik ilerlemelere paralel olarak ölçüm aygıtları da gelişmiş olup genelde kablosuz veri transferi (wireless ile) yoluna gidildiği yönünde bir kanaat oluşmuştur. Bunun yanında bu yöntemin uygulaması her türde yapı ve yer için uygun sonuçlar vermemektedir. Kablolu aygıtlar ise gerek kullanımında daha az problem çıkarması gerekse maliyet açısından popüler olmaya devam etmektedir.

İvme ölçer ve veri ünitesi bağlantı kablolarında en önemli ayrıntı ise kablo tiplerinin farklı oluşudur. Tek eksenli ivmeölçerler direkt olarak veri işleme ünitesine bağlanabilir. Fakat üç eksenli ivme ölçerler çoklayıcı kullanılarak veri ünitesine bağlanırlar. Bu çoklayıcı ile üç eksenli ivmeölçer bağlantı kablosu tek eksenli ivme ölçer kablosundan teknik olarak farklıdır. Veri toplama ünitesine bağlantı için tek eksenli ivme ölçerler 3x2x0.22 kablo kullanırken, üç eksenli ivmeölçerler 5x2x0.22 kablo ve çoklayıcı kullanırlar.

Veri toplama ünitesinin bir diğer birleşeni ise GPS antenleridir. Cihazın kalibrasyon yapabilmesi ve uzay düzleminde yerini belirleyebilmesi için gereklidirler. Şekil 3.41’de GPS anteni görülmektedir. GPS antenleri üst yüzeyi gökyüzünü görecektür şekilde yerleştirilmelidir. GPS anteninin üst yüzeyini belirlemek amacıyla üzerinde Şekil 3.41’de ki gibi GPS yazmaktadır. GPS antenlerin alt yüzeyinde mıknatıslar bulunur bu mıknatıslar sayesinde kolaylıkla metal yüzeylere sabitlenebilirler. Kablolarının ucundaki pinler sayesinde GPS anteni bu kablolar uc uca eklenerek istenildiği uzaklıklara yerleştirilebilirler. Bu kablolarla ise veri toplama ünitesine bağlanırlar. GPS anteni çalışmadığı müddetçe ölçüm yapılabilmesi imkansızdır. Veri toplama üniteleri GPS anteninden sinyal almak zorundadır. Aksi takdirde ölçüm yapmazlar. Her veri toplama ünitesinin GPS anteni ayrı ve birer adettir.



Şekil 3.41. GPS anteni

Çalışmada kullanılan GPS anteninin özellikleri ise;

- 1 Mikro Saniyelik Doğrudan ADC Senkronizasyon
- Real-Time Clock Calender
- Kapalı Alanlarda Bile Çekimi Kolaylaştıran Hot-Start Modu
- 4 cm'lik Mini Anten/ Çatı Tipi Anten

Şeklindedir.

Veri toplama ünitesi ve bilgisayar arası bağlantı ise Ethernet ile sağlanmaktadır. CAT 6 kablo vasıtası ile veri toplama ünitesi bilgisayara bağlanır. Fakat veri toplama ünitesi 1'den fazla olduğu durumlarda Ethernet modem kullanmak gerekmektedir. Kullanılacak modemdeki Ethernet kanalı sayısı veri toplama ünitesi sayısından fazla veya en az eşit olmalıdır.

Veri toplama ünitesinin üzerinde ise Şekil 3.42'deki gibi ışıklar vardır. Bu ışıklar GPS anteni, güç, ready (ölçüme hazır) ve Record ışıklarıdır. Kayıt yapılmadan önce GPS anteni, güç ve ready (ölçüme hazır) ışıklarının görüldüğünden emin olunmalıdır.



Şekil 3.42. Veri toplama ünitesinin ölçüm uyarıcıları

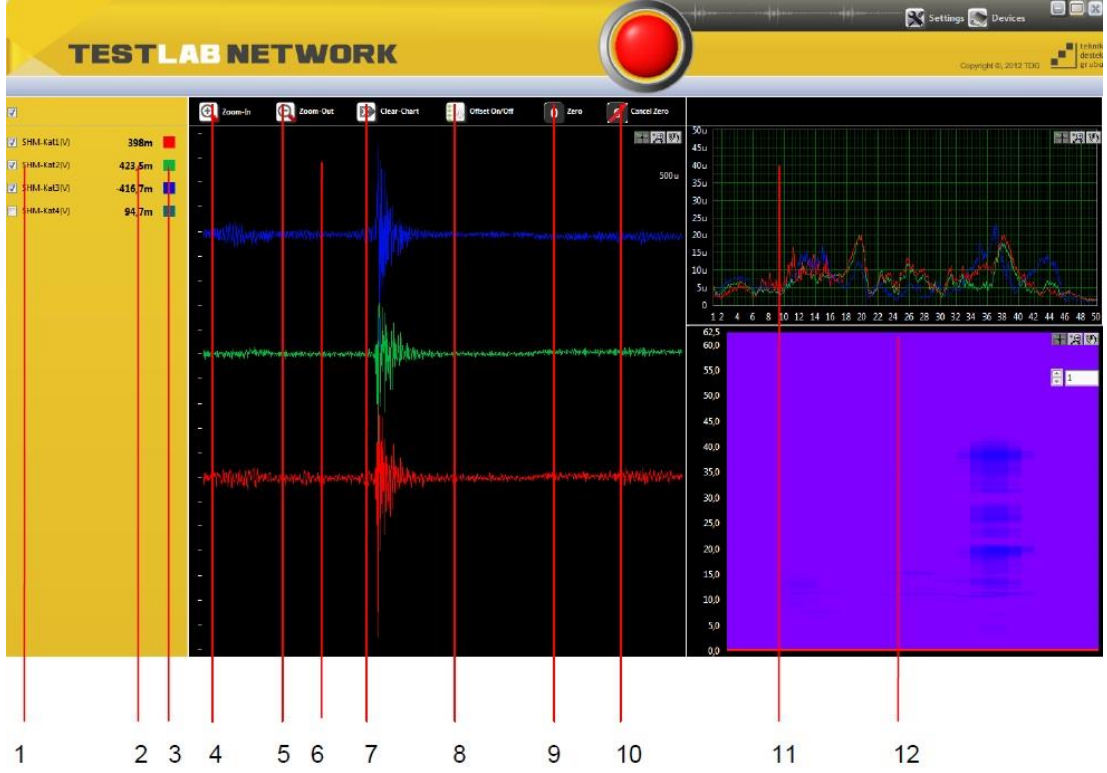
Veri toplama ünitesi şekil 3.42'deki gibi kayıt yapmaya hazır hale gelmiştir. Kayıt sırasında ise record ışığının yanması gerekmektedir. Kayıt istenirse REC tuşundan usb belleklere de yapılabilir. Fakat cihazın daha önceden testlab yazılımı ile her bir kanala bağlı olan ivmeölçerlerin kalibrasyonunun yapılmış olması gerekmektedir ve bunun yanında ölçüm süresi de ölçümü yapan kişi tarafından ayarlanmalıdır. Böyle bir ölçümün güvenilirliği sıkıntılı bir ölçüm olacağı aşıkardır.

Bu nedenle ölçümün diğer bir deyişle veri alma işleminin bilgisayar ve buna bağlı ilgili yazılımlarla alınması daha gerekli hale gelmiştir.

Bilgisayar ve gerekli yazılımlar

Bilgisayar, veri toplama ünitesinin Testlab network yazılımı ile ilgili ayarlamaların yapılabilmesi için ve elde edilen verilen Artemis modal yazılımı ile işlenmesi için gereken en temel cihazdır. Özellikle elde edilen verilerin işlenmesi sırasında ve kayıtlar yapılırken örnekleme aralığının artırılmasında bilgisayarın teknik özelliklerine dikkat etmek gerekir. RAM (bellek ve CPU'nun (işlemci)) bu işlemleri yapması için yeterli olması gerekir. Bu nedenle teknik özellikleri standart veya daha rahat işlem yapılabilmesi açısından standart üstü teknik özelliklere sahip bir bilgisayar gerekmektedir. Çok düşük ve düşük RAM (bellek) ve CPU (işlemci) gücüne sahip bilgisayarlar maalesef bu iş için uygun değildir. Veri toplama ünitesi kayıt ettiği ölçüm verilerini .tdms uzantılı halde veya .txt uzantılarıyla vermektedir. Tdms dosyaları bir excel eklentisi ile excel dosyasına dönüştürülebilirler. Ölçüm örnekleme aralığına göre satır sayısı artar veya azalır. Örneğin bu adım cihazın en üst örnekleme değeri olan 2 kHz değeri ile yapıldığında saniyede 2000 satır veri oluşmaktadır. 1000 saniyelik bir ölçümde bu değer 2000000 satırı bulmaktadır. Bu verileri işleyecek işlemcinin çok güçlü olması gerekmektedir. Zayıf işlemcili bilgisayarlarda denenerek bunun doğruluğu bir kez daha kanıtlanmıştır. Ayrıca işlemci gücü veri işleme süresini de direkt olarak etkilemektedir.

Testlab network yazılımı, veri toplama ünitesinin programlanmasını sağlayan labview ortamında geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım sayesinde veri toplama ünitesine komutlar verilir. Bu komutlar sayesinde ölçüm süresi, örnekleme aralığı, sensörlerin tipi ve kalibrasyonları, ölçüm zamanının belirlenebilmesi (ölçüm 10 dk sonra başlasın komutu gibi), verinin kaydedileceği dosya tipinin belirlenmesi ve daha birçok ayarın yapılması sağlanır. Veri toplama ünitesi verileri değerlendirirken fast fourier transform yöntemini kullanır. Her bir kanala diğer bir deyişle sensöre ayrı ayrı kalibrasyon yapılarak ve kontrol edilerek elde edilecek verinin güvenilir olması sağlanmalıdır. Testlab network yazılımının ara yüzü sayesinde bu işlemler çok daha hızlı yapılabilir. Şekil 3.43'de testlab network yazılımının ara yüzü verilmekte ve maddeler halinde ara yüzün bölümlerinin görevleri açıklanmaktadır.



Şekil 3.43. Testlab network yazılımı

- 1) Cihaz ve kanal adları birimleri ile listelenmektedir.
- 2) Kanalların Dc değerleri listelenmektedir.
- 3) Grafiklelenen dataların renkleri buradaki renk kutucuklarından seçilebilir.
- 4) Grafığe zoom-in yapmanızı sağlar.
- 5) Grafığe zoom-out yapmanızı sağlar.
- 6) Kanallara ait ivme datalarını grafikler.
- 7) Otomatik offsetlemeyi yeniler.
- 8) O anki kanal datasını sıfır kabul eder.
- 9) Tüm datayı sıfırlar.
- 10) Sıfırlamayı iptal eder.
- 11) Kanalların Fast Fourier Transformunu grafikler.
- 12) Seçili kanala ait Spectogramı içerir.

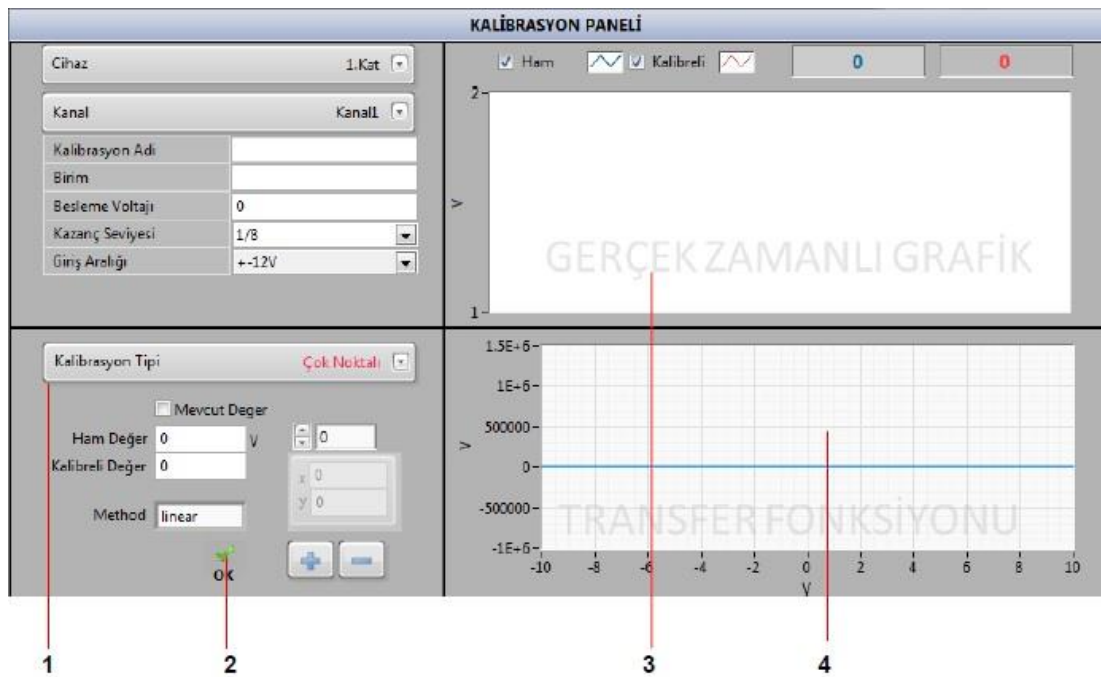
Şekil 3.44'de kalibrasyon paneli verilmektedir. Kalibrasyon yapılması sonuçların doğruluğu açısından hayati önem taşımaktadır. Yanlış kalibrasyon sonucu

yapılan deneysel çalışma güvenilir ve boş hale gelmektedir. Kalibrasyon paneli arayüzden settings seçeneği seçilerek buradan general config sekmesine ulaşılır. General config sekmesinden yapılabileceklere kısaca değinilirse;

- 1) Seçmiş olduğunuz cihazın ilgili kanalına ait parametreleri değiştirmenizi sağlar.
- 2) Seçilini kanalın $A(x)+B$ basit doğrusal kalibrasyon yapmasını sağlar.
- 3) Seçili kanala ait filtre atamasını sağlar.
- 4) Kalibrasyon paneline giriş sağlar. (Şekil 3.44)

Setting menüsünde diğer bir sekmede trigger settings sekmesidir. Trigger settings sekmesinden yapılabileceklere kısaca değinilirse;

- 1) Trigger Settings sekmesine tıkladığınızda seçili ön koşullar altında otomatik olarak data kaydı yapmasını sağlar.



Şekil 3.44. Kalibrasyon paneli

- 1) Seçili cihazın ilgili kanalına seçmiş olduğunuz kalibrasyon tipine göre kalibrasyon yapılmasını sağlar.
- 2) Yapmış olduğunuz kalibrasyonun uygulanmasını sağlar.
- 3) Seçili kanalın kalibrasyonlu ve kalibrasyonsuz durumlarını gerçek zamanlı olarak grafikler.
- 4) Uygulanmış olan kalibrasyonun transfer fonksiyonunu grafikler.

Tez çalışmasında bu kısım her bir kanal için ivme ölçer (accelometer) seçilmiştir. Ayrıca kullanılan ivmeölçerin teknik özelliklerine göre doldurulması gereken kısımlara ivmeölçer teknik özellikleri yazılarak doldurulmuştur. Veri toplama ünitelerinin manuel olarak tek tek kalibre edilmesi sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Tüm işlemler gerçekleştirildikten ve deney ölçüme hazır olduğunda arayüzden kayıt butonuna basılarak ölçüm süresi, dosyalanma tipi, sayısı ve dosyanın kaydedileceği yer ve ölçüm örnekleme adımı seçilerek kayıda başlanılır. İstenirse süre sonunda otomatik olarak kaydın durdurulma seçeneği de vardır veya trigger settingten ilgili ayarlar ile kaydın başlama zamanı ve bitiş zamanı da ayarlanabilmektedir.

Artemis modal pro yazılımı ise dinamik veri toplama ünitesinden elde edilen verilerin işlenerek dinamik parametrelerin elde edilmesini sağlar. Output only modal analiz yöntemini uygulayan bir yazılımdır. Bunun dışında deneysel modal analiz ve yapı sağlık izlemede de kullanılır. Canlı veriler ile birlikte o an ki dinamik parametreleri de elde edebilmektedir. Yöntemler olarak frekans tanım alanında ve zaman tanım alanında parametre tahmini yapabilmektedir. Verileri işlerken detrending, filtering ve projection kanal özelliklerini kullanabilir. Veri toplama ünitesinde zaten işlenmiş olan veriyi bir daha değerlendirmesi dolayısıyla sonuçları çok güvenilir hale getirmektedir. Şekil 3.45’de Artemis modal pro yazılımının arayüzü verilmiştir.



Şekil 3.45. Artemis modal pro yazılımı arayüzü

Şekil 3.45’de görüldüğü gibi 3 ana sekmesi bulunmaktadır. Bunlar Setup, Analysis ve Report sekmeleridir.

Setup sekmesinde;

İlk olarak prepare geometry seçeneği vardır. Buradan ölçüm yapılan yapının geometrisi girilir.

İkinci seçenek olarak manage measurements seçeneği bulunmaktadır. Bu kısımda dinamik veri toplama ünitesinden alınan veri dosyası tanıtılması sağlanır. Birçok formatta kayıt edilen verileri tanımlayabilmektedir. (Txt dosyası, excel dosyası, matlab dosyası vb.). Sol tarafta açılacak olan menüden yapılan ölçümle ilgili örnekleme adımı seçilir. Veriler aynı zamanda grafik olarakta çizdirilebilir. (Örneğin her kanaldan gelen ivme-zaman grafiği vb.).

Üçüncü seçenek ise assign dof information seçeneğidir. Bu seçenek ile ivme ölçerlerin konumu ve yönleri atanır. Referans ivme ölçer belirlenir.

Analysis sekmesinde;

İlk olarak prepare data seçeneği vardır. Buradan ölçüm verileri setup sekmesinde bulunan veriler ile birlikte işlenirler. Signal processing penceresinde sinyalin nasıl işleneceğine dair seçenekler bulunur. (Detrending, Filtering, Projection Channel,harmonic detection vb.). Tüm veriler işlenerek spektral yoğunluk matrisleri oluşturulur.

İkinci seçenek olarak estimation seçeneği bulunmaktadır. Bu kısımda modal parametrelerin çeşitli yöntemlere göre (FDD, EFDD, CFDD, SSI-PC, SSI-UPC, SSI-CVA) elde edilmesi sağlanmaktadır. Frekans ve sönüm tablo halinde, mod şekilleri ise arayüzün sağ tarafında geometry penceresi altında şekilsel olarak verilir.

Üçüncü seçenek ise validation seçeneğidir. Burada elde edilen dinamik geçerliliği modal güvence kriterine göre bir kez daha kontrol edilir.

Report sekmesinde;

İlk olarak Word seçeneği bulunmaktadır. Word dosyasını halinde rapor düzenlenmesini sağlar.

İkinci olarak Power point seçeneği bulunmaktadır. Power point sunum dosyası halinde rapor düzenlenmesini sağlar.

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında yöntem olarak sadece çıktı operasyonel modal analiz (output only modal analysis) yöntemi kullanılmıştır. Modal parametrelerin tahmininde ise zaman tanım alanında SSI-CVA (Stochastic subspace identification – canonical variate analysis) yöntemi kullanılmıştır. Sinyallerin dönüştürülmesinde ise fast fourier transform yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler ve Hareket Denklemleri

Gerçek sistemler çok serbestlik dereceli sistemlerdir. Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerde (ÇSDS) serbestlik derecesi, bir hareket denklemi ve doğal frekansa karşılık gelmektedir. Tek serbestlik dereceli sistemlerin titreşimindeki skaler değerlerin yerini, çok serbestlik dereceli sistemlerde vektörel ve matris büyüklükler alırlar.

Sistemin dinamik dengesine bakılarak hareket denklemi aşağıdaki düzenle oluşturulur (Kasımzade, 2002);

(3.1) no'lu denklem,

$$\{F_e\} + \{F_c\} + \{F_f\} = \{F(t)\}$$

Burada $\{F_e\}$ sisteme etkileyen elastik kuvvetler olup i . elemanı (yani k.s.d. doğrultusundaki u_i yer değişmesine sistemin tepkisi) süper pozisyonla 3.2 no'lu denklemdeki gibi bulunur;

(3.2) no'lu denklem,

$$\{F_{ei}\} = k_{i1}u_1 + k_{i2}u_2 + \dots + k_{ij}u_j + k_{in}u_n$$

k_{ij} j . kinematik serbestlik derecesi (k.s.d.) doğrultusunda birim yer değiştirmeden ($u_j = 1$) i . k.s.d.'si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir. $i=1, n$ k.s.d.'si için sisteme etkileyen elastik kuvvet 3.3 no'lu denklemdeki şekilde ifade edilebilir;

(3.3) no'lu denklem,

$$\{F_e\} = [k]\{u\}$$

Burada $[k]$ sistemin rijitlik matrisidir, simetrik matristir. Basit sistemler için yapı mekaniğinden belli direk dengeler (yer değiştirmeler yöntemi temelinde) yöntemi ile karmaşık sistemler için Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile kurulmaktadır.

$\{F_c\}$ Sisteme etkiyen sönüm kuvvetleridir. Titreşim sırasında sistemdeki enerji itkisi eşdeğer viskoz sönüm teorisine dayalı kabul edilerek, i . elemanı süperpozisyonla 3.4 no'lu denklemdeki gibi bulunur;

(3.4) no'lu denklem,

$$\{F_{ci}\} = c_{i1}\dot{u}_1 + c_{i2}\dot{u}_2 + \dots + c_{ij}\dot{u}_j + c_{in}\dot{u}_n$$

c_{ij} j . k.s.d.' si doğrultusunda birim hızdan $\dot{u}_j = 1$ i . k.s.d.' si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.

$i = 1, n$ k.s.d.' si için sisteme etkiyen sönüm kuvveti 3.5 no'lu denklemdeki gibi bulunur;

(3.5) no'lu denklem,

$$\{F_c\} = [c]\{\dot{u}\}$$

Burada $[c]$ sistemin sönüm matrisidir. Uygulamalarda daha önce de gösterildiği gibi sönüm matrisinin elemanları yani sönüm katsayıları c_{ij} , sonlu serbestlik dereceli sistemin sönüm oranlarına bağlı oluşturulur. Dolayısı ile sönüm (katsayıları) matrisi belli sönüm oranlarına dayanılarak bulunur. Sönüm oranları tek d.s.d. sistemlerde görüldüğü gibi deneylerle bulunur.

$\{F_I\}$ Sisteme etkiyen atalet kuvvetleridir ve elemanı (yani i . k.s.d. doğrultusunda \ddot{u}_i ivmesine sistemin tepkisi) süperpozisyonla 3.6 no'lu denklemdeki gibi bulunur;

(3.6) no'lu denklem,

$$\{F_{Ii}\} = m_{i1}\ddot{u}_1 + m_{i2}\ddot{u}_2 + \dots + m_{ij}\ddot{u}_j + m_{in}\ddot{u}_n$$

m_{ij} Kütle tesir katsayısı olup, j . k.s.d.' si doğrultusunda birim ivmeden ($\ddot{u}_j = 1$) i . k.s.d.' si doğrultusunda oluşmuş kuvvettir.

$i = 1, n$ k.s.d.' si için sisteme etkiyen atalet kuvveti 3.7 no'lu denklemdeki gibi bulunur;

(3.7) no'lu denklem,

$$\{F_I\} = [m]\{\ddot{u}\}$$

$[m]$ Kütle matrisidir (simetriktir $m_{ij} = m_{ji}$). Kütleler tekil kütleler halinde düğümlere dağıtılırsa ve düğüm ağırlık merkezi etrafında burulma ataletinin sistem dinamiğine etkisi ihmal edilirse, kütle matrisi köşegen olur (yani $i=j$ için $m_{ij} = 0$).

Dış dinamik kuvvetler sisteme sadece k.s.d.' si doğrultusunda uygulanmış dinamik yükler ise, 3.8 no'lu denklemde şöyle ifade edilir;

(3.8) no'lu denklem,

$$\{F(t)\} = \{e_o\}^T \{f(t)\}$$

Burada e_o tesir vektörü olup, k.s.d. doğrultusunda dinamik kuvvet varsa 1, yoksa 0 değerini içeren vektördür.

Dış dinamik kuvvetler sistem mesnedinin kinematik uyarılmasından oluşmuş yer ivmesi ($\ddot{\Delta}$) ise, dış kuvvet vektörü 3.9 no'lu denklemde şekilde oluşturulur;

(3.9) no'lu denklem,

$$\{F(t)\} = \{F(t)\}_{etk} = -[m]\{e_*\}\ddot{\Delta}(t)$$

Burada $\{e_*\}$ tesir vektörü olup, sistemin tabanının statik $\Delta=1$ yer değişmesinden kütlelerin k.s.d.' si doğrultusundaki yer değişmesidir. Sistem tabanının kinematik uyarılmasından sistemin k.s.d.' si doğrultusunda oluşmuş kuvvetlere etkin kuvvet denir.

Yer hareketinin burulma bileşenine ($\varphi(t)$) bakılacak olursa 3.10 no'lu denklemdeki şekilde ifade edilir;

(3.10) no'lu denklem,

$$\{F(t)\} = \{F(t)\}_{etk} = -[m]\{e_{**}\}\ddot{\varphi}(t)$$

Burada $\{e_{**}\}$ tesir vektörü elemanları sistem tabanının $I=\phi$ dönmesinden k.s.d.' si doğrultusundaki yer değişmeleridir.

(3.11) no'lu denklem,

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F(t)\}$$

Genel ifadesi elde edilir.

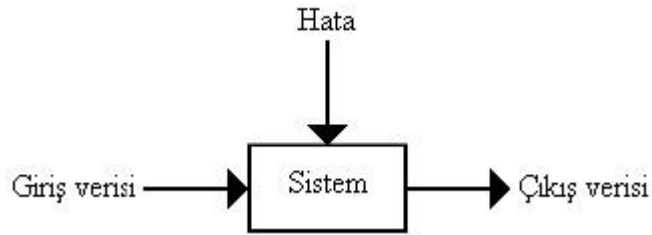
3.2.2. Sistem Tanımlama

Gerçek dünyadaki bir olayın, sürecin veya birimlerden oluşan ve birimleri arasındaki iç ilişkiler yanında çevre ile dış ilişkilere göre işleyen bir sistemin belli bir anlatımına model denir. Anlatım sözle, çizimle, belli bir ölçekte fiziki benzer oluşturmak veya başka bir şekilde yapılmakla birlikte en geçerli anlatım, bilimin ortak dili olan matematik ile yapılmaktadır. Sistemler gerek birimleri arasındaki ilişkiler gerekse çevre ile ilişkileri bakımından genellikle çok karmaşık yapıdadırlar. Bunlar, bazı basitleştirmeler (ihmalller) ve kabuller altında modellenmektedir. (Tuhta; 2010).

Bir sistemi incelemedeki amaç, sistemin davranışını öğrenmek, sistemi denetlemek, sistemi yenilemek veya korumak olabilir. Bazı durumlarda bilinen girdiler için sisteme bağlı olarak çıktıların ne olacağı hakkında veya girdi ve çıktılar gözlenerek (bilindiğinde) sistemin kendisi (sistem parametreleri) hakkında bilgi çıkarılması istenebilir.

Bazı sistemlerde istenilen çıktıları elde etmek için çıktılar üzerindeki gözlemlere bağlı olarak sisteme girdiler verilmektedir. Bu tür denetlemeye geri bildirim denmektedir. Gerçek dünyadaki bir olgunun modellenmesi sırasında, ilgilenilen özellikler (hız, ivme, vb) ile modeldeki karşılıkları olan kavramlar (vektör, türev, vb) arasındaki bağ kurulduktan sonra, olgunun ait olduğu bilim dalındaki ilkelere göre modelin yapısı oluşturulur. Birçok durumlarda ölçmenin nasıl yapılacağıının belirlenmesi, ölçü biriminin ve bazı durumlarda da ölçü aletinin (terazi, ölçek, metre, termometre, anket, test, vb) bulunması araştırmanın en zor aşamalarından birisidir.

Bir ölçme sonucu elde edilen değer, ölçülen özelliğin modeldeki karşılığı olan değişkenin aldığı değer olarak ele alınmaktadır. Ölçülen özellik rasgelelik içerdiğinde modelde karşılık gelen değişken de doğal olarak rasgele değişken olarak ele alınacaktır. Şekil 3.46' da sistem tanımlama genel şeması verilmektedir.



Şekil 3.46. Sistem tanımlama genel şeması

Sistem tanımlamada iki temel yaklaşım bulunmaktadır.

Gri Kutu: İncelenen sistemin yapısı hakkında bir önbilginin mevcut olması neticesinde kullanılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda içeriği hakkında bir önbilgiye sahip olduğumuz bir sisteme bilinçli girişler yapılarak ve bunun sonucunda çıkan çıkışları izleyerek bir model oluşturulur.

Kara Kutu: İncelenen sistemin yapısı hakkında hiçbir bilgiye sahip olunmadığında kullanılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, içeriğinden haberdar olmadığımız bir sisteme çeşitli girişler yapılarak ve bunun sonunda çıkan çıkışları da izleyerek bir model oluşturulur.

Sistem tanımlama yöntemleri, sistemin modal parametrelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Yapı mühendisliğinde bu dinamik parametreler, köprü, bina vb. diğer yapıların dinamik davranışını anlamaya yardımcı olmaktadır. Modal sistem tanımlama, yapısal tasarımın düzgün çalışıp çalışmadığının denetlenmesi, deprem, fırtına, patlama gibi ani ve dinamik yükler altında bulunan yapının güvenilirliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Yapı sağlığının gözlenmesinde (YSG) modal güncelleme tekniklerinden bahsedilmektedir. Bu yöntemler, girdi-çıkıtı ve sadece çıkıtı sistem tanımlama yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır (Moaveni, 2007).

Girdi-çıkıtı sistem tanımlama yöntemleri için hem sisteme uygulanan kuvvetin ölçülmesine hem de sistemin bu uygulanan kuvvet sonucu verdiği tepkinin (ivme, gerilme, deplasman vb.) ölçülmesine ihtiyaç vardır. Kısacası şekil 3.45'deki şema da ele alınırsa hem sisteme girişler ölçülüp hem de sistemin çıkıtları diğer bir değişle bu girişlere tepkisi ölçülerek aradaki farktan sistemin matematik modeli tanımlanmaya çalışılır.

Sadece-çıkıtı sistem tanımlama yönteminde ise, yapıya uygulanan girişlerin ölçülmesine gerek yoktur. Kısacası Şekil 3.46'daki şemada ele alınırsa sadece çıkıtı diğer bir değişle sistem tepkilerinden sistemin tanımlanması ve dinamik verilerin elde edilmesi amaçlanır. Dinamik tepkilerin elde edilmesi için sistemin geometrisine ihtiyaç duyulur ve tepki alınan noktalar doğrultularıyla birlikte belirtilmelidir.

Sistemin geçerli bir matematik modelinin elde edilmesi başından sonuna kadar dikkat ve titizlik gerektiren bir işlemdir. Sistem tanımlama işlemi, sistemi uyaracak uygun giriş sinyalinin seçimi ile başlar. Sistemden elde edilen tanımlamaya uygun veri

ile bir model belirlenir ve belirlenen bir yöntemle parametreler kestirilir (Kasımzade ve Tuhta, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, Peeters, 2000, Ljung, 1998).

Sistem tanımlamadaki matematiksel modeller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Lineer ve lineer olmayan modeller
- Sürekli-zaman ve kesikli-zaman modeller
- Stokastik ve deterministik matematiksel modeller
- Dinamik ve statik modeller

Sürekli Zaman lineer durum uzay modelleri

$A:_{n \times n}$, $B:_{n \times m}$, $C:_{r \times n}$, $D:_{r \times m}$, reel sayı elemanlı matrisler olmak üzere sürekli zaman deterministik lineer durum-uzay modeli;

(3.12) no'lu denklem,

$$\dot{\underline{x}}(t) = A\underline{x}(t) + B\underline{u}(t)$$

Durum denklemidir.

(3.13) no'lu denklem,

$$\underline{y}(t) = C\underline{x}(t) + D\underline{u}(t)$$

Uzay, çıktı denklemidir.

(3.14) no'lu denklem,

$$\underline{x}(t_0) = \underline{x}_0$$

Şeklindedir. Burada $\underline{x}(t)$ durum vektörünü, $\underline{u}(t)$ sistem girdi vektörünü, $\underline{y}(t)$ sistem çıktı ya da gözlem vektörünü göstermektedir. t_0 Anındaki $\underline{x}(t_0) = \underline{x}_0$ değerine bağlı olarak

$$\dot{\underline{x}}(t) = A\underline{x}(t) + B\underline{u}(t)$$

Denkleminin çözümü 3.15 no'lu denklemde verilmiştir.

(3.14) no'lu denklem,

$$\underline{x}(t) = e^{A(t-t_0)}\underline{x}_0 + \int_{t_0}^t e^{A(t-\tau)}B\underline{u}(\tau)d\tau$$

Şekildedir. Burada (3.15)

(3.15) no'lu denklem

$$e^{As} = I + \frac{s}{1!}A + \frac{s^2}{1!}A^2 + \frac{s^3}{1!}A^3 + \dots$$

Ve A matrisinin spektral ayrışımı

(3.16) no'lu denklem,

$$A = P\Lambda P^{-1} = P \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & d_n \end{bmatrix} P^{-1}$$

Olmak üzere

(3.17) no'lu denklem,

$$e^{As} = P e^{\Lambda s} P^{-1} = P \begin{bmatrix} e^{d_1 s} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{d_2 s} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & e^{d_n s} \end{bmatrix} P^{-1}$$

Şeklinde. Λ ile P matrisleri A 'nın özdeğer ve özvektörlerinin oluşturduğu matrislerdir.

Kesikli zaman lineer durum uzay modeli

(3.18) no'lu denklem,

$$\underline{x}(k+1) = A\underline{x}(k) + B\underline{u}(k)$$

(3.19) no'lu denklem,

$$\underline{y}(k) = C\underline{x}(k) + D\underline{u}(k)$$

(3.20) no'lu denklem,

$$\underline{x}(k_0) = \underline{x}_0$$

Olmak üzere, $\underline{x}(k_0) = \underline{x}_0$ başlangıç değerine bağlı olarak

$\underline{x}(k+1) = A\underline{x}(k) + B\underline{u}(k)$ indirgeme bağıntısının çözümü;

(3.20) no'lu denklem,

$$\underline{x}(k_0 + k) = A^k \underline{x}(k_0) + \sum_{j=1}^k A^{k-j} B \underline{u}(k_0 + j - 1)$$

Ve $k_0 = 0$ için

(3.21) no'lu denklem,

$$\underline{x}(k) = A^k \underline{x}_0 + \sum_{j=1}^k A^{k-j} B \underline{u}(j - 1)$$

Şeklindedir.

Verilen ardışıklıkta A , B , C , D matrisleri zaman parametresine bağlı olarak değiştiklerinde dinamik modeller söz konusudur. Bu durumda A , B , C , D matrisleri yerine sürekli-zaman modellerinde $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $D(t)$ ve kesikli zaman modellerinde $A(k)$, $B(k)$, $C(k)$, $D(k)$ matrisleri gelecektir.

Bazı sistemlerde istenilen çıktıları elde etmek için çıktılar üzerindeki gözlemlere bağlı olarak sisteme girdiler verilmektedir. Bu tür kontrole geri bildirim denmektedir. Kesikli zaman durum uzay modeli;

(3.22) no'lu denklem,

$$\underline{x}_{k+1} = A \underline{x}_k + B \underline{u}_k$$

$$\underline{y}_k = H \underline{x}_k$$

$$\underline{x}_{k_0} = \underline{x}_0$$

Olmak üzere 3.23 nolu denklemde

(3.23) no'lu denklem,

$$\underline{x}(k_0 + k) = A^k \underline{x}(k_0) + \sum_{j=1}^k A^{k-j} B \underline{u}(k_0 + j - 1)$$

Ve $k_0 = 0$ için

(3.24) no'lu denklem

$$\underline{x}(k) = A^k \underline{x}_0 + \sum_{j=1}^k A^{k-j} B \underline{u}(j - 1)$$

Şeklindedir. $\underline{x}(k)$ ile \underline{x}_k gösterimleri bir arada kullanılmıştır.

Başlangıçta $\underline{x}_0 = \underline{x}_a$ durumunda olan sistemi uygun girdiler girilerek j adım sonunda \underline{x}_b durumuna getirmek istenmektedir.

Kontrol edilebilme

Herhangi $\underline{x}_a, \underline{x}_b$ vektörleri için bir i pozitif tamsayısı ve $\underline{u}_0, \underline{u}_1, \underline{u}_2, \dots, \underline{u}_{i-1}$ girdileri için durum denklemi, $\underline{x}_{k+1} = A\underline{x}_k + B\underline{u}_k, \underline{x}_0 = \underline{x}_a$ olan sistem i . adımda $\underline{x}_i = \underline{x}_b$ durumuna gelebiliyorsa sisteme kontrol edilebilir denir.

Sistemin kontrol edilebilir olması sadece A, B matrislerine bağlıdır. Bu sebepten dolayı “sistem kontrol edilebilir” yerine “ A, B kontrol edilebilir” denir.

Kalman rank koşuluna göre;

$$A, B \text{ kontrol edilebilir} \Leftrightarrow \text{rank}[B : AB : A^2B : \dots : A^{n-1}B]_{n \times mn} = n$$

Şeklindedir.

Gözlemlenebilme

(3.25) no’lu denklem,

$$\underline{x}_{k+1} = A\underline{x}_k + B\underline{u}_k$$

$$\underline{y}_k = H\underline{x}_k$$

$$\underline{x}_{k_0} = \underline{x}_0$$

$$\underline{y}_k = H \left(A^k \underline{x}_0 + \sum_{j=1}^k A^{k-j} B \underline{u}_{j-1} \right)$$

Olmak üzere \underline{y}_k değeri \underline{x}_0 ile $\underline{u}_0, \underline{u}_1, \underline{u}_2, \dots, \underline{u}_{i-1}$ lerin bir fonksiyonu olma özelliği taşır. Girdiler (kontrol) sıfır olursa veya alınır, \underline{y}_k sadece \underline{x}_0 ’ın, $\underline{y}_k(\underline{x}_0)$ şeklinde bir fonksiyonu olur.

$\underline{y}_k(\underline{x}_0), \underline{x}_0$ başlangıç değeri ve sıfır kontrol için sistem denklemlerinin bir çözümü kabul edilirse,

İsteksel \underline{x}_0 vektörü için bir k adımı vardır. Tam olarak $\underline{y}_1(\underline{x}_0), \underline{y}_2(\underline{x}_0), \dots, \underline{y}_k(\underline{x}_0)$ çıktı değerlerinde \underline{x}_0 belirlenebiliyorsa sisteme gözlemlenebilir denir.

Sistemin gözlemlenebilir olması sadece A, H matrislerine bağlıdır. Bu sebepten dolayı “sistem gözlemlenebilir” yerine “ A, H gözlemlenebilir” denir.

Kalman rank koşuluna göre;

$$A, H \text{ gözlemlenebilir} \Leftrightarrow \text{rank} \begin{bmatrix} H \\ HA \\ HA^2 \\ \vdots \\ HA^{n-1} \end{bmatrix} = n$$

Şeklindedir.

Kararlı olabilme

Eğer $\underline{u}_k = f(\underline{x}_k)$ gibi \underline{x}_k 'nin bir fonksiyonu ise durum geri-beslemesi söz konusudur. Durum geri beslemesi $\underline{u}_k = K\underline{x}_k$ biçiminde ise durum denklemi, $\underline{x}_{k+1} = (A + BK)\underline{x}_k$ şeklindedir. Durum değerlerinin $\underline{x}_0, \underline{x}_1, \underline{x}_2, \dots, \underline{x}_k, \dots$, Dizisinin birçok özelliği $A + BK$ matrisinin öz değerleri ile ifade edilir. Buradaki sorun K geri besleme matrisinin uygun bir seçimiyle matrisinin $A + BK$ öz değerlerinin isteksel değerlere getirilebilir olup olmamasıdır. Bu özelliğe sahip sistemlere veya (A, B) matrislerine öz değer atanabilir denir. (A, B) öz değer atanabilir olması demek, her reel katsayılı $p(\lambda) = \lambda^n + a_{n-1}\lambda^{n-1} + a_{n-2}\lambda^{n-2} + \dots + a_1\lambda^1 + a_0$ polinomu için, karakteristik polinomu $p(\lambda)$ olacak şekilde $A + BK$, yani K matrisi vardır demektir.

Birçok modelde, \underline{x} durum vektöründeki bileşenler, sistemin arzu edilen durum değerlerinden sapmalarını ifade etmektedir. Bu sistem modellerinde, $\underline{x}_0, \underline{x}_1, \underline{x}_2, \dots$, sapmalarının uygun kontrol seçerek zaman içinde azalması amaçlanmaktadır. Böyle sistemlere veya (A, B) matrislerine kararlı olabilen denir. Bu durum $A + BK$ matrisinin kararlı matris olması durumunda söz konusudur. Bu durumda,

$$\underline{x}_k = (A + BK)^k \underline{x}_0 \xrightarrow{k \rightarrow \infty} 0$$

Şeklindedir. $A + BK$ matrisi kararlı olacak şekilde K matrisi varsa (A, B) 'ye kararlı olabilen (veya sisteme kararlı olabilen) denir.

Ortaya Çıkarılabilme, Teşhis Edilebilme

Sistem girişi bulunmayan durum için

(3.26) no'lu denklem,

$$\underline{x}_{k+1} = A\underline{x}_k$$

$$\underline{y}_k = H\underline{x}_k$$

Sistemi için \underline{x}_0 başlangıç değeri bilinmediği durumlarda, “Uygun seçilen” bir matrisi için durum vektörünün tahminleri olan,

(3.27) no’lu denklem

$$\begin{aligned}\hat{\underline{x}}_{k+1} &= A\hat{\underline{x}}_k + K(\underline{y}_k - H\hat{\underline{x}}_k) \\ \hat{\underline{x}}_0 &= 0\end{aligned}$$

Şeklinde kabul edilir. \underline{x}_k Durum vektörlerinin tahminleri olan $\hat{\underline{x}}_k$ ‘lara gözlemci denir. Gerçek \underline{x}_k durumu yerine $\hat{\underline{x}}_k$ durumu alındığında ortaya çıkan hata $\hat{\underline{e}}_k = \underline{x}_k - \hat{\underline{x}}_k$ ve $\hat{\underline{e}}_{k+1} = \underline{x}_{k+1} - \hat{\underline{x}}_{k+1}$

$$\begin{aligned}&= A\underline{x}_k - A\hat{\underline{x}}_k - K(\underline{y}_k - H\hat{\underline{x}}_k) \\ &= A\underline{x}_k - A\hat{\underline{x}}_k - K(H\underline{x}_k - H\hat{\underline{x}}_k)\end{aligned}$$

Olmak üzere

(3.28) no’lu denklem,

$$\begin{aligned}\hat{\underline{e}}_{k+1} &= (A - KH)\hat{\underline{e}}_k \\ \hat{\underline{e}}_0 &= \underline{x}_0, (\hat{\underline{x}} = 0)\end{aligned}$$

İndirgeme bağıntısı yazılabilir. İsteksiz \underline{x}_0 başlangıç değeri için hatanın sifıra gitmesi, $A-KH$ matrisi kararlı olacak şekilde K matrisinin seçilmesi demektir. Bu ise (H, A) ’nın ortaya çıkarılabilir olması demektir. Ortaya çıkarılabilme, durum vektörünün (\underline{x}_0) hatası sifıra giden uygun düzenlenmiş bir gözlemcinin çıktısı olarak ortaya çıkarılabilmesidir.

Kalman Filtresi

Bir sistemin durumu ile ilgili rasgele değişkenler bir \underline{X} rasgele vektörünün bileşenleri ve \underline{Y} sistem çıktısı olmak üzere k zaman indisine bağlı olarak,

(3.29) no’lu denklem

$$\begin{aligned}\underline{X}_{k+1} &= A(k)\underline{X}_k + C(k)\underline{W}_k \\ \underline{Y}_k &= H(k)\underline{X}_k + G(k)\underline{W}_k\end{aligned}$$

Şeklindedir.

Kesikli zaman lineer durum uzay modelinde, birinci denkleme durum denklemi ve ikinci denkleme çıktı veya konum denklemi denir. Bu durum uzay modelinde:

(\underline{X}_k) Dizisi $nx1$ boyutlu gözlenemeyen rasgele vektörlerin dizisi,

(\underline{Y}_k) Dizisi $rx1$ boyutlu gözlenebilen rasgele vektörlerin dizisi,

(\underline{W}_k) Dizisi $1x1$ boyutlu gözlenemeyen rasgele hata vektörlerinin dizisi

Ve $A(k):n \times n$, $H(k):r \times n$, $C(k):n \times 1$, $G(k):r \times 1$ ($l \geq r$) model parametrelerin matrisleri olmak üzere, bu matrisler zamana bağlı olduğunda modele dinamik model, aksi halde statik model denir.

Sistem girdisi bulunmayan, (3.29) durum uzay modelini göz önüne alarak, amacımız sistemin çıkış verisinin, $\underline{Y}_0, \underline{Y}_1, \dots, \underline{Y}_{k-1}$ gözlemlerine dayalı olarak \underline{X}_k durumunu tahmin etmektir. Belirli bir zamana kadar ki, gözlemlere dayalı olarak bir adım ilerisi için durum vektörünün alacağı değerin tahmini denklem 3.30 da gösterilmektedir.

(3.30) no'lu denklem

$$\underline{Y}^{k-1} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_1 \\ \underline{Y}_2 \\ \vdots \\ \underline{Y}_1 \end{bmatrix}$$

Gözlemlerinin $\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} = P_{L(\underline{Y}^{k-1})}(\underline{X}_k) = a' \underline{Y}^{k-1}$ lineer birleşimi olarak yapılır. Bu tahmin, $E[(\underline{X}_k - \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)})'(\hat{\underline{X}}_k - \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)})]$ nın minimum olması anlamında en iyi tahmindir. Kalman filtresi $\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)}$ 'nin tahmini için geliştirilmiş indirgemeli bir algoritmadır.

(3.31) no'lu denklem

$$\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} = P_{L(\underline{Y}^{k-1})}(\underline{X}_k)$$

$$\tilde{\underline{X}}_{k/(k-1)} = \underline{X}_k - \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)}$$

(3.32) no'lu denklem

$$\hat{\underline{Y}}_{k/(k-1)} = P_{L(\underline{Y}^{k-1})}(\underline{Y}_k) = H \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)}$$

$$\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)} = \underline{Y}_k - \hat{\underline{Y}}_{k/(k-1)} = \underline{Y}_k - H \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} + G \underline{W}_k$$

(3.33) no'lu denklem

$$P_{L(\underline{Y}^{k-1})} = (H\underline{X}_k + G\underline{W}_k) = HP_{L(\underline{Y}^{k-1})}(\underline{X}_k)$$

Olduğu göz önünde tutularak

(3.34) no'lu denklem

$$\begin{aligned}\hat{\underline{X}}_{k/k} &= P_{L(\underline{Y}^k)}(\underline{X}_k) = P_{L(\underline{Y}^{k-1})}(\underline{X}_k) + P_{L(\underline{Y}_{k/(k-1)})}(\underline{X}_k) \\ &= \hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} + E(\underline{X}_k(\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)})')(Cov(\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)}))^{-1}\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)}\end{aligned}$$

Şeklinde ifade edilir.

(3.35) no'lu denklem

$$\begin{aligned}\hat{\underline{X}}_{k+1/k} &= A[\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} + P(k)H'(HP(k)H' + GG')^{-1}\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)}] \\ &\quad + CG'[HP(k)H' + GG']^{-1}\tilde{\underline{Y}}_{k/(k-1)} \\ &= A\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} + (AP(k)H' + CG')(HP(k)H' + GG')^{-1}(\underline{Y}_k - H\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)})\end{aligned}$$

Elde edilir.

$K(k) = (AP(k)H' + CG')(HP(k)H' + GG')^{-1}$ ifadesi yerine konularak, (3.35) denklemi $\hat{\underline{X}}_{k+1/k} = A\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)} + K(k)(\underline{Y}_k - H\hat{\underline{X}}_{k/(k-1)})$ şeklinde yazılabilir.

Buradaki, $K(k)$ matrisi, Kalman kazanç matrisi olarak adlandırılır.

(3.36) no'lu denklem,

$$P(k+1) = AP(k)A' + CC' - [AP(k)H' + CG'] [HP(k)H' + GG']^{-1} [AP(k)H' + CG']$$

indirgeme bağıntısına Riccati denklemi denir.

Durum uzay modeli 3.37 nolu denklemdeki gibi olmak şartıyla

(3.37) no'lu denklem

$$\underline{X}_{k+1} = A\underline{X}_k + \underline{W}_k$$

$$\underline{Y}_k = H\underline{X}_k + \underline{W}_k$$

Şartıyla Kalman filtresi şu şekilde ifade edilir;

(3.38) no'lu denklem

$$\begin{aligned}P_{LY^k}(\underline{X}_{k+1}) &= AP_{LY^k}(\underline{X}_k)\underline{W}_k = A \left[P_{LY^{k-1}}(\underline{X}_k) + P_{LY_{k/k-1}}(\underline{X}_k) \right] + 0 \\ \hat{\underline{X}}_{k+1/k} &= A[\hat{\underline{X}}_{k/k-1} + E(\underline{X}_k\tilde{\underline{Y}}_{k/k-1})cov(\tilde{\underline{Y}}_{k/k-1})^{-1}\tilde{\underline{Y}}_{k/k-1}\end{aligned}$$

(3.39) no'lu denklem

$$\begin{aligned}\tilde{Y}_{k/k-1} &= \underline{Y}_k - \hat{Y}_{k/k-1} = \underline{Y}_k - P_{L(\underline{Y}^{k-1})}(H\underline{X}_k + \underline{V}_k) = H(\underline{X}_k - \hat{X}_{k/k-1}) + \underline{V}_k \\ \tilde{Y}_{k/k-1} &= H\tilde{X}_{k/k-1} + \underline{V}_k\end{aligned}$$

(3.40) no'lu denklem

$$\begin{aligned}Cov(\tilde{Y}_{k/k-1}) &= Cov(H\tilde{X}_{k/k-1} + \underline{V}_k) = HCov(\tilde{X}_{k/k-1})H' + Cov(\underline{V}_k) \\ Cov(\tilde{Y}_{k/k-1}) &= HP(k)H' + R_k\end{aligned}$$

(3.41) no'lu denklem

$$\begin{aligned}E(\underline{X}_k \tilde{Y}'_{k/k-1}) &= E(\underline{X}_k (H\underline{X}_k + \underline{V}_k)') = Cov(\tilde{X}_{k/k-1})H' \\ E(\underline{X}_k \tilde{Y}'_{k/k-1}) &= P(k)H'\end{aligned}$$

İfadeleri yerine konulursa,

(3.42) no'lu denklem

$$\begin{aligned}\hat{X}_{k+1/k} &= A[\hat{X}_{k/k-1} + P(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}\tilde{Y}_{k/k-1}] \\ &= A\hat{X}_{k/k-1} + AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}[H\tilde{X}_{k/k-1} + \underline{V}_k]\end{aligned}$$

$AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1} = K(k)$ matrisi olmak üzere

Elde edilir.

$AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1} = K(k)$ matrisinde bulunan $P(k)$ ' ları elde edebilmek için denklem 3.43 deki eşitlikleri taraf tarafa toplayarak,

(3.43) no'lu denklem

$$\begin{aligned}\underline{X} &= A\underline{X}_k + \underline{W}_k \\ -\hat{X}_{k+1/k} &= A\hat{X}_{k/k-1} - K(k)[H\tilde{X}_{k/k-1} + \underline{V}_k] \\ \tilde{X}_{k+1/k} &= A(\underline{X}_k - \hat{X}_{k/k-1}) + \underline{W}_k - K(k)H\tilde{X}_{k/k-1} - K(k)\underline{V}_k \\ &= (A - K(k)H)\hat{X}_{k/k-1} + \underline{W}_k - K(k)\underline{V}_k\end{aligned}$$

Elde edilir. Her iki tarafa kovaryans operatörünün uygulanması ile,

$P(k+1) = (A - K(k)H)P(k)(A - K(k)H)' + Q_k + K(k)R_kK(k)'$ olarak elde edilir. Bu indirgemeli denklemde $K(k)$ matrisi yerine $AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}$

konarak, $P(k+1) = AP(k)A' + Q_k - AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}HP(k)A'$ elde edilir. (P_k ve M simetrik matrislerdir) tüm bu denklemlere göre Kalman filtresi denklem 3.44 de verilmiştir.

(3.44) no'lu denklem

$$\hat{\underline{X}}_0 = m_0$$

$$P(0) = P_0$$

$$\hat{\underline{X}}_{k+1/k} = A\hat{\underline{X}}_{k/k-1} - K(k)[\underline{Y}_k - H\hat{\underline{X}}_{k/k-1}]$$

$$K(k) = AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}$$

$$P(k+1) = AP(k)A' + Q_k - AP(k)H'(HP(k)H' + R_k)^{-1}HP(k)A'$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

3.2.3. Operasyonel Modal Analiz

Yapının dinamik karakteristik özellikleri belirlemek amacıyla geçmişten günümüze birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu sistem tanımlama yöntemleri ihtiyaçlara göre şekillenmiştir. Yöntemlerin geliştirilmesi literatür özeti bölümünde kronolojik olarak yapılan çalışmaların içinde açıkça verilmiştir. Operasyonel modal analiz yöntemi ise bu yöntemlerden birisi olup son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda sıkça kullanıldığı görülmektedir. Operasyonel modal analiz tekniğinin temeli ise çevresel veya ortam titreşimlerinden yararlanılarak yapının dinamik parametrelerinin (doğal frekans, periyot, sönüm oranları ve mod şekilleri) tahmin edilmesi esasına dayanır. Deneysel modal analizin aksine Operasyonel modal analiz için zorlanmış titreşim gerekmez. Bu nedenle uygulanması çok daha kolay ve tahribatsız bir test olduğu bilinmektedir.

Operasyonel modal analiz gelişme aşamaları ve tarihi ise;

1990'ların başından beri Operasyonel modal analiz test tekniklerinde çok önemli ilerlemeler olmasına rağmen, 1930'lardan bu yana Operasyonel modal analizin farklı kullanımları hakkında bilgiler mevcuttur. Antik çağlarda bile yapıların neden ve nasıl titreştiğini daha iyi anlamak için Operasyonel modal analiz kavramlarının kullanıldığına dair kanıtlar vardır. Pisagor genellikle müzikal sesin kaynağını inceleyen ilk Yunan filozofu olarak kabul edilir. Galileo, 1638 yılında yazdığı "Discourses Concerning Two New Sciences" kitabı ile birlikte modern Fizik'in

kurucusu kabul edilir. Galileo, vücut titreşimiyle ilgili çok dikkat çekici bir tartışma ortaya koymuştur. Galileo ya göre bir vücutta oluşan titreşimler başka bir uzaklıkta titreşimler üretebilir tezini ortaya koymuştur. Ayrıca tellerin titreşimleri ve sarkaçları karşılaştırarak bazı seslerin kulağa hoş ve bazılarının ise kötü gelmesinin nedenlerini anlamaya çalışmıştır.

Daniel Bernoulli'nin 1755'te Berlin Akademisi'nde yayınladığı çalışmasında, aynı anda çok sayıda basit harmonik salınımın olacağı şekilde titretmek sonucunda bunların her biri, sonuçtaki titreşime bağımsız olarak katkıda bulunur. Herhangi bir anda dize, her düğümdeki her basit harmonik yer değiştirmelerin cebirsel toplamıdır. Buna "Coexistence" İlkesi denir. Bugün Süperpozisyon olarak bilinen yöntemin kökeni bu ilkedir. Günümüzde buna Modal Süperpozisyon olarak da değinilmektedir. Joseph Fourier 1822 de yayınladığı "Analytical Theory of Heat" çalışmasında bu teoremi geliştirerek sunmaktadır. Isaac Newton 1687 yılında ikinci kitabı olan "Principia" kitabında ilk kez dalga yayılım teorisi ciddi şekilde ele alınmıştır. John Strutt (1842) and 3rd Baron Rayleigh (1919) ses ve titreşim araştırmalarıyla modern yapı dinamiği ve kütle, rijitlik, sönüm arasındaki ilişkinin nasıl olduğunu ve yapı sistemlerinde dinamik parametrelerin belirlenmesinin temelini atmıştır.

Yirminci yüzyıl da titreşim ve şok etkisi hakkında inşaat mühendisliği alanında ilk çalışma 1930'ların başında binaların deprem sırasındaki davranışını iyileştirmek için gerçekleştirilmiştir. M.A. Biot, binaların depremlere tepkisini karakterize etmek için şok spektrumu kavramını ortaya koymuştur. G. Housner, bu kavramı, yer sarsıntısına maruz kalmış tek serbestlik dereceli lineer sistemde, şok tepki spektrumu (shock response spectrum (SRS)) olarak belirlemiştir. Kaliforniya da 1933 de oluşan Long Beach depremi sonrasında D.S. Carder 1935 yılında 200'den fazla binanın doğal titreşim modlarını belirlemek için ilkel operasyonel modal analiz tekniğini kullanarak bir dizi ortam titreşim testleri yapmıştır. Bu araştırmanın sonuçları, yeni binaların doğal frekanslarını tahmin etmek için tasarım kodlarında kullanılmıştır. M. Trifunac 1972'deki ortam titreşimleri ve zorlanmış titreşimler üzerindeki çalışmalarının da D.S. Carder ile benzer sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

1990 ların ortasından sonra ise gelişmeler International Modal Analysis Conference ve International Operational Modal Analysis Conference konferanslarında bilim insanlarınca tartışılarak yeni gelişmeler ortaya koyulmuştur. Operasyonel modal

analiz tekniklerinin günümüzde de geliştirilmesi için bilim insanları çalışmalarına devam etmektedir.

Birçok mevcut bilimsel çalışma, girdi-çıkı modal parametresi tahmini yöntemlerine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Operasyonel modal analizde ise girdiyi ölçme işlemini göz ardı ederek, girdilerin belirli bir bilgi içermediği veya başka bir deyişle ifade edildiğinde, girdinin seviyesi yaklaşık olarak beyaz gürültü (White noise) olduğu varsayımıyla gerçekleştirilir. Zorlama işlevi bilinmediğinden, kuvvet ve tepki sinyalleri arasındaki frekans tepkisi işlevleri hesaplanamaz. Bunun yerine, analiz korelasyon fonksiyonlarına ve operasyonel yanıtlardan hesaplanan spektral yoğunluk fonksiyonlarına dayanır. Ayrıca, OMA sensörleri ve kabloları pahalı olabileceğinden, sınırlı sayıda sensör kullanılır ve bu sensörlerin bazıları, birkaç veri seti elde etmek için yapı üzerine yerleştirilir. Farklı veri kümeleri tarafından tahmin edilen mod şeklinin parçalarını kullanarak mod şekillerini monte edebilmek için, yanıt sinyallerinden bazıları referans sinyalleri olarak bildirilir. Ölçüm sırasında referans sensörlerin yeri değiştirilmez, daima korunur. Diğer sensörler ise kademeli olarak yerleri değiştirilebilir (Ventura, 2015).

Operasyonel modal analiz yönteminin genel denklem ifadesi ise aşağıdaki ardışıklık ile verilmektedir.

(3.45) no'lu denklem

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \{F(t)\}$$

İfadesinde $\{F(t)\}$ zorlanmış titreşimleri ve kuvveti temsil etmektedir. Operasyonel modal analiz yönteminde ise çevresel titreşimler esas alınmaktadır. Bu nedenle $\{F(t)\} = 0$ zorlanmış titreşim değeri sıfır kabul edilir. İfade de M matrisi ise kütle matrisini, C matrisi sönüm matrisini ve K matrisi ise rijitlik matrisini temsil etmektedir. u ifadesi yer değiştirmeyi, \dot{u} ifadesi yer değiştirmenin zamana bağlı türevi diğer bir deyişle hızı, \ddot{u} hızın zamana bağlı türevi diğer bir deyişle ivme değerlerini temsil etmektedir. Denklem 3.45'in bu bilgilerle düzenlenmiş hali 3.46 no'lu denklemde verilmiştir.

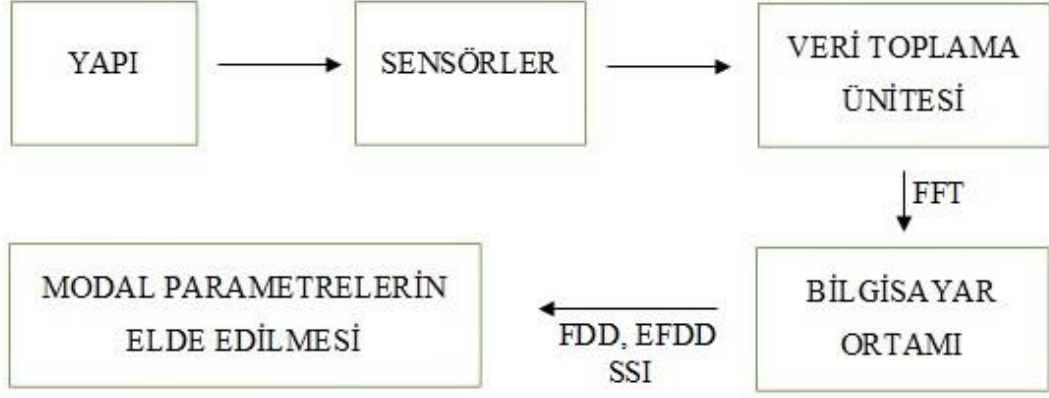
(3.46) no'lu denklem

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = 0$$

Şeklindedir.

Yapıların hasar tespit analizinde ihtiyaç duyulan dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılacak en önemli ve etkili yöntemlerden birisi operasyonel modal analiz yöntemidir. Bu yöntem yapılarda deprem, rüzgâr, trafik ve insan hareketleri gibi çevresel etkilerin yapı üzerinde oluşturduğu titreşimleri kullanarak yapıların dinamik özelliklerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Yapı üzerinde herhangi bir fiziksel müdahalesi gerektirmediğinden dolayı yapıların dinamik karakteristiklerini belirlemek için en uygun yöntemdir. Bu yöntemde yapıya ait dinamik parametreler bahsedilen çevresel etkilerden dolayı yapı üzerinde oluşacak tepki verilerinin zaman ve frekans tanım alanlarında işlenmesiyle belirlenebilmektedir. Bu yöntemde yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesini sırasındaki genel işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir;

- 1) Dinamik parametreleri belirlenecek yapının seçilmesi
- 2) Seçilen yapı üzerine yerleştirilecek sensör tipinin, eksen sayısı ve doğrultularının, yerleşim noktasının uygun olarak seçilmesi, Ölçümlerde kullanılacak ivmeölçerin seçimi ve kaç noktadan ölçüm alınacağı noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu konuda FemTools paket programından yararlanılabilir. Genellikle yer değiştirmelerin fazla olduğu noktalar seçilmektedir. Deneysel mod şekilleri ivmeölçer noktalarının modal yerdeğiştirmelerin birleştirilmesinden meydana geldiklerinden dolayı, yerleşimleri yapının mod şekillerini doğru bir şekilde elde edecek şekilde uygun sıklıkta olmalıdır. Bununla birlikte ölçümler esnasında ivmeölçerleri yapıya tam bağlayarak yapı ile ivmeölçer arasında gevşeklik olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. İvmeölçerlerin yağmurdan, manyetik alandan ve dış darbelerden korunması gerektiği de diğer önemli bir husustur.
- 3) Veri toplama ünitesinde verilerin işlenerek toplanması, Yapı üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerin veri toplama ünitesine tanıtılması gerekmektedir. Frekans aralığı ve ölçüm hızı istenmeyen ortam sinyallerin ve gürültü sinyallerinin etkisini azaltmak için gerekli olduğundan sinyaller toplanmaya başlamadan önce frekans aralığı ve ölçüm hızı belirlenmelidir.
- 4) Toplanan verilerin sağlıklı bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılması
- 5) Bilgisayar ortamına aktarılan verilerin ilgili paket programlarla işlenerek modal parametrelerin çıkartılması aşamalarından oluşmaktadır. Operasyonel modal analiz işlem şeması şekil 3.47’de genel hatlarıyla verilmiştir.



Şekil 3.47. Operasyonel modal analiz şeması

Sinyal işleme

Sinyal işleme yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenebilmesi için ivmeölçerlerden veri toplama ünitesine aktararak saklanan sinyallerin işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu kısım sinyallerin veri toplama ünitesinde sinyal koşullama işlemlerinden geçtikten sonra bilgisayar ortamına aktarılmasıyla gerçekleşmektedir. Sinyal işleme bilgisayarda geliştirilen özel yazılımlar kullanılarak yapılabilmektedir. Sinyaller bilgisayara zaman ortamında aktarılmasına rağmen gerek pratik sebeplerden gerekse hesaplama gereksinimlerinden dolayı frekans ortamında analizlerin yapılması tercih edilmektedir. Zaman ortamındaki sinyallerin frekans ortamına aktarılmasında Fourier serileri kullanılmaktadır. $x(t)$ ile gösterilen periyodik bir sinyal sonsuz Fourier serisine açıldığında,

(3.47) no'lu denklem

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n}{T}t\right) \right]$$

Şeklinde gösterilmektedir. Burada, a_0 , a_n , b_n sırasıyla şöyle ifade edilmektedir.

(3.48) no'lu denklem

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos\left(\frac{2\pi n}{T}t\right) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin\left(\frac{2\pi n}{T}t\right) dt \end{aligned} \right\}$$

Sonsuz Fourier serisine açılan sinyal, t_k ($k=1, 2, 3, \dots, N$) gibi sonlu bir zamana karşılık gelmektedir. Bu durumda sonlu sinyal Fourier serisine açıldığında,

(3.49) no'lu denklem

$$x(t) = x(t_k) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi n}{N} t_k\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n}{N} t_k\right) \right], k = 1, 2, \dots, N$$

ifadesi elde edilmektedir. Burada, a_0 , a_n , b_n sırasıyla şöyle ifade edilmektedir:

(3.50) no'lu denklem

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N x_k \\ a_n &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \\ b_n &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \end{aligned} \right\}$$

Sinyal işleme sırasında karşılaşılan problemlerin başında sinyal periyodunun tam katlı olmamasından yani sinyalin periyodik olmamasından kaynaklanan sızıntı hatası gelmektedir. Ölçüm süresinin uzun tutulmasıyla bu hata azaltılabilmektedir. Diğer bir çözüm ise sinyal periyodunu tam katlı hale getirerek sızıntı problemini ortadan kaldıran pencereleme yöntemleridir.

Modal parametrelerin elde edilmesi

Çevresel titreşimlerden faydalanarak gerçekleştirilen Operasyonel Modal Analiz yönteminde tepki bilinmemekte olup ölçüm de belirli noktalarda gerçekleşmektedir. Bu durumda, belirli noktalardan alınan titreşimlerin frekans ve zaman tanım alanında algoritmalara sahip yöntemlerde kullanılması ile dinamik parametreler bulunmaktadır. Bu iki yöntem birbirine karşı kesin üstünlüğe sahip değildir. Ancak bazı farklılıklar olabilmektedir. Örneğin, gürültü zaman tanım alanına dayalı yöntem çözümünde daha kolay fark edilmekte ve kolaylıkla filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Buna ilaveten sinyal işleme sırasında oluşan bazı kusurlarda kontrol edilebilmektedir. Ayrıca birbirine yakın frekans değerlerinin tespiti zaman tanım alanı yönteminin kullanılmasıyla daha kolay olmaktadır. Her iki yöntemde kullanım amacına göre sık sık kullanılmaktadır.

Frekans tanım alanında ayrıştırma yöntemi

Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma yöntemi frekans ortamına bağlı bir yöntemdir. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (FTAA) Yönteminin geliştirilmiş hali olup frekans ortamına dayalı bir yöntemdir. Bu durumda GFTAA yönteminin FTAA yöntemine göre bazı avantajları vardır. Örneğin; GFTAA metodunda doğal frekanslar ve mod şekillerine ilaveten modal sönüm oranları da belirlenebilmektedir. Ayrıca, piklerin seçilmesini gerektiren bir işlem olduğundan bazı dezavantajlar oluşmaktadır. Çünkü piklerin seçimi objektif olmayıp sübjektiftir ve bu nedenle sonuçların güvenilirliği azalmaktadır. Sönüm maksimum genliğe dayalı olarak hesaplandığından maksimum genliğin doğruluğu, belirlenecek sönümü de o derecede etkilemekte ve sönüm tahminlerinin güvenilirliği azalmaktadır. Her ne kadar avantajları ve dezavantajları olsa da GFTAA yöntemi modal analizin sinyal işleme aşamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin çevresel titreşim altında bilinmeyen etki kuvveti ve ölçülebilen tepki kuvveti yani davranış fonksiyonu altındaki teorik bağıntısı,

(3.51) no'lu denklem

$$G_{yy}(j\omega) = H(j\omega) * G_{xx}(j\omega) H(j\omega)^T$$

Şeklinde ifade edilir. Burada $G_{xx}(j\omega)$ etki sinyalinin Güç Spektral Yoğunluk (GSY) fonksiyonunu, $G_{yy}(j\omega)$ tepki sinyalinin Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonunu ve $H(j\omega)$ frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Denklem (3.51)'de * ve T sırasıyla ifadelerin karmaşık eşleniğini ve transpozisini göstermektedir. Matematiksel düzenlemelerden sonra tepki sinyaline ait Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda,

(3.52) no'lu denklem

$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*}$$

Şeklinde elde edilmektedir. Bu formülde n mod sayısını, λ_k , kutup fonksiyonunu ve R_k , artık değer fonksiyonunu belirtmektedir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra,

(3.53) no'lu denklem

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \sum_{x=1}^n \left[\frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \right] G_{xx}(j\omega) \left[\frac{R_s}{j\omega - \lambda_s} + \frac{R_s^*}{j\omega - \lambda_s^*} \right]^{\bar{H}}$$

Şeklinde elde edilir. Burada; s, tekil değerleri, H, kompleks eşleniği ve T transpozeyi belirtmektedir. Matematiksel ifadeler sadeleştirildiğinde tepki sinyaline ait GSY fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda,

(3.54) no'lu denklem

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{A_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} + \frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k} + \frac{B_k^*}{-j\omega - \lambda_k^*}$$

Şeklinde elde edilmektedir. Burada A_k , tepki sinyalinin GSY fonksiyonuna ait k artık değer matrisini göstermektedir. GFTAA metodunda ilk basamak GSY matrisini belirlemektir. Ayrık frekanslarda tepki sinyalinin GSY'nun tahmini $\omega = \omega_i$ olarak bilinmekte ve sonra tekil değer ayrıştırma matrisi alınarak ayrıştırılmaktadır. Buna göre;

(3.55) no'lu denklem

$$G_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^{\bar{H}}$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada u_{ij} tekil vektörleri, $U_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}]$ tekil vektörleri içeren bütün matrisi, s_{ij} skaler tekil değerleri ve $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}]$ skaler tekil değerleri içeren diyagonal matrisi göstermektedir. GSY fonksiyonunda, pik değer veren noktalar doğal frekanslara karşılık gelmektedir. Pik noktaları oluşturan tekil vektörler (u_{ij}) ise doğal mod şekillerine karşılık gelmektedir.

Zaman tanım alanında ayrıştırma yöntemi

Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yöntemi zaman tanım alanında doğrudan çalışıp veri veren ve bu durumda spektral dönüşüme veya korelasyona ihtiyaç duyulmayan bir yöntemdir. Bu yöntemde gürültüden oluşan olumsuz etkilere müdahale yapılabilir ve dinamik karakteristiklerin belirlenmesi için uygun ve kullanışlı bir yöntemdir. Bu yöntemde dikkate alınan formülasyon ve bağıntılar hareket denklemlerine bağlı olarak aşağıda verilmekte; yapı sisteminin dinamik davranışı lineer, sabit katsayılı ikinci derece diferansiyel denklem olarak görülmektedir.

(3.56) no'lu denklem

$$[M]\{\dot{U}(t)\} + [C]\{\dot{U}(t)\} + [K]\{U(t)\} = \{R(t)\} = [B]\{u(t)\}$$

Burada; $[M]$, $[C]$, $[K]$ sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $R(t)$ titreşim kuvvetini, $\{U(t)\}$, $\{\dot{U}(t)\}$, $\{\ddot{U}(t)\}$ ise zamana bağlı yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerini belirtmektedir. Burada, $\{R(t)\}$ kuvvet vektörü, ortamdaki verileri simgeleyen $[B]$ matrisi ve $\{u(t)\}$ vektörü cinsinden ifade edilebilmektedir. Dinamik denge denklemi, Denklem (3.56)'da titreşen yapının davranışını temsil etmesine rağmen bu yapıyla SAB yöntemine uygun değildir. Bu nedenle, Denklem (3.56) daha uygun bir form olan ayrık-zaman stokastik durum-uzayı modeline dönüştürülmektedir. Durum-Uzay modeli kontrol teorisinden üretilmekte olup, ancak bu model inşaat mühendisliğinde viskoz sönüme sahip yapıların dinamik karakteristiklerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Aşağıdaki tanımlamalar kullanılarak (3.56) denklemi,

(3.57) no'lu denklem

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= \begin{pmatrix} U(t) \\ \dot{U}(t) \end{pmatrix} \\ A_* &= \begin{pmatrix} 0 & I_{n_2} \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{pmatrix} \\ B_* &= \begin{pmatrix} 0 \\ M^{-1}B \end{pmatrix} \end{aligned} \right\}$$

(3.58) no'lu denklem

$$\dot{x}(t) = A_*x(t) + B_*u(t)$$

Şeklinde gösterilmektedir. Burada, A_* durum matrisini, B_* veri matrisini ve $x(t)$ durum vektörünü ifade etmektedir. Çevresel titreşim testlerinde, yapının bütün serbestliklerini ölçmek pek mümkün değildir. Bu nedenle, durum-uzay vektörünün eleman sayısı, sistemin durumunu tanımlayan bağımsız değişken sayısına eşittir ve gözlem denklemi,

(3.59) no'lu denklem

$$y(t) = C_*x(t) + D_*u(t)$$

Şeklinde gösterilmektedir. Burada, C_* sistem davranış matrisini, D_* doğrudan iletim matrisini ifade etmektedir. Denklem (3.58) ve (3.59) sürekli-zaman belirli durum-uzayı modelini oluşturmaktadır. Burada, "Sürekli Zaman" ile ifadelerin herhangi bir $t \in \mathbb{N}$ anında değerlendirilebileceği ifade edilmektedir. Fakat ölçümler $k\Delta t$ ($k \in \mathbb{N}$) gibi ayrık zamanlarda yapılmaktadır. Sinyal verilerini, örnekleme süresi ve ortamdaki gürültü her zaman için etkilemektedir. Örneklemeden sonra, durum-uzay modeli,

Şeklinde belirtilmektedir. Denklem (3.64), çevresel titreşimlerden dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde zaman tanım alanının temelini meydana getirmektedir.

Bu bölümde yapılan tez çalışması ile ilgili kullanılacak materyaller hakkında ve kullanılacak yöntemler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Verilen bilgilere ek olarak bulgu ve tartışma bölümünde bu bilgiler uygulama üzerinde tekrar detaylandırılacaktır. Ayrıca yöntemler ile ilgili bilgilere ve çalışmalara literatür özeti bölümünde genişçe yer verilmiştir. Kaynaklar bölümündeki ilgili kaynaklarda ise yöntem ile alakalı çok daha kapsamlı bilgiler mevcuttur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde MF-046 no' lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında yapılmış olan çelik deney yapısının mevcut durumda ve kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumunda dinamik parametrelerinin operasyonel modal analiz yöntemi ile elde edilmeleri ve elde edilen bulguların karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu dinamik parametreler ise sırasıyla;

- Doğal frekanslar
- Yapı periyotları
- Sönüm oranları
- Serbest titreşim mod şekilleri

Olmak üzere kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı modeli ve mevcut güçlendirilme yapılmamış çelik deney yapısı modeli için ayrı ayrı bu dinamik parametreler elde edilmiştir. Ek olarak her kattaki ölçülen düğüm noktalarına etki eden ivmelerde verilmiştir. Elde edilen veriler öncelikle her bir çelik deney yapısı modeli için ayrı ayrı değerlendirilmiş daha sonrasında ise kablo elemanlar ile güçlendirilmiş model ve mevcut güçlendirilme yapılmamış modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İki ayrı çelik deney yapısı modelinin karşılaştırılmasında amaçlanan diğer tüm parametrelerin sabit tutularak sadece ve sadece değişkenin kablo elemanlar olmasını sağlanmasıdır. Böylelikle kablo elemanların dinamik parametrelere etkisinin daha net olarak ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmaların laboratuvar ortamında titizlikle yürütülmesi sonuçların doğruluğu açısından çok büyük önem arz etmektedir. Özellikle sıcaklık etkisi çelik yapıların için önem taşıdığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda bu etken göz ardı edilmemiştir. Ölçümlerin benzer sıcaklıklarda yapılmasına özen gösterilmiştir.

Doğal frekans: Bir cismin sadece rijitliğine ve kütlesine bağlı olan ve cismin o frekansta uyarılırsa yüksek genlikle ve sürekli olarak titreşeceği frekansa “Doğal Frekans” denir. Cisim bu frekans değerleri ile bir kez uyarıldığında uyarı durdurulsa bile cisim titreşmeye devam eder. Doğal frekansın diğer bir özelliği de cisim doğal frekansında uyarıldığında uyarının şiddetine değil, sadece sistemde mevcut sönümlemeye bağlı olarak çok yüksek genliklerde titreşir. Bir cismin doğal frekansıyla çakışan bir frekansta uyarılması veya bir milin kritik hızında döndürülmesi sonucunda

ortaya çıkan fiziksel olaya “Rezonans” denir. Rezonansa girmiş bir cisim aşırı şekilde titreşir. Bu durum yapıları da olumsuz etkilemektedir. Özellikle dinamik kuvvetler (Deprem, rüzgâr, vb) etkisinde bu duruma çok daha dikkat edilmelidir. Yapının rezonansa girmesi ile birlikte göçme, yıkılma gibi istenmeyen durumlara sebebiyet vermektedir. Can ve mal kaybı oluşumuna da neden olması kaçınılmazdır. Rezonans halinde cisim üzerine etki eden atalet kuvvetiyle cismin rijitliğinden kaynaklanan yay kuvveti birbirine eşit; fakat ters işaretli olduğundan birbirini götürür. Geriye sadece sönümleme kuvveti kalır. Bu kuvvet de sönümleme katsayısına bağlı olarak cismin hangi genlikle titreşeceğine karar verir.

Yapı periyodu: Bir tam dalganın oluşması için geçen süreye periyot denir. Yapının bir tam titreşimin gerçekleşmesi için oluşan süreye ise yapı periyodu denir. Frekans ile arasında $periyot = 1/frekans$ şeklinde bir bağıntı vardır. Yapı periyodu arttıkça yapının rijitliği azalmaktadır. Yapılarda bu istenmeyen bir durumdur. Yapı periyodunu azaltmak için çeşitli inşaat mühendisliği uygulamaları ve tasarımları vardır.

Sönüm: Bir titreşim hareketinin zamanla genliğinin azalmasına sönümleme denir. Sönüm ise titreşimler altında bir malzeme veya sistemin enerjisi sönümleme özelliğidir. Mekanik bir sistemde sönümleme olmazsa, sistem bir kez harekete geçirildiğinde sonsuza dek hareket halinde kalacaktır. Sönümleme, sistemin zaman içinde yavaşça durmasına neden olur. Mekanik bir sistemde sönümleme ne kadar fazla olursa, hareketi durdurma süresi o kadar kısalmır. Bir yapıda rezonans noktasının olduğu tepe genişledikçe, sönüm artar. Sönümlemenin artması, yapıda meydana gelen herhangi bir titreşimin artan sönümleme nedeniyle daha hızlı durması anlamına gelir. Gerçek sönüm ise sadece deneysel olarak bulunabilmektedir. Sönümleme özelliğinin artması yapı sistemlerinde güvenliği artırdığı bilinmektedir.

Mod şekilleri: Bir yapının doğal frekansında titreşirken aldığı şekildir diğer bir deyişle yapıya ait periyotların deformasyon şekillerinin gösterilmesidir. Kısacası mod şekilleri yapının titreştiği frekans veya periyota ait deplasmanları ve hareketi göstermektedir. Bu nedenle her mod şeklinin periyodu ve frekansı ayrı olmalıdır. Tüm bu parametreler küçük bir örnekle açıklanırsa; yapının temelini elinizle tutup bir miktar çektikten sonra geri bıraktığınızda yapı salınımlar yapacaktır. Bu salınımlar zamanla sönüm oranına bağlı olarak azalacak ve sonunda duracaktır. Bu salınım çeşitlerinin her birine mod şekli denmektedir.

4.1. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının İncelenmesi

Bu bölümde mevcut çelik deney yapısının kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumu incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan kablo elemanlar, 14 mm çapında 6*19 Warrington halat şeklinde kullanılmıştır. Gergiler çelik ayarlanabilir kablo gergi elemanlarıdır. Gergi elemanlarının çapı ise 16 mm dir. Kullanılan bütün materyaller materyal ve yöntem bölümünde genel bilgiler başlığı altında ayrıntılı olarak sunulmuştur. Diyagonal olarak yerleştirilen kablo elemanlar ardışık çerçevelerde simetrik olarak kullanılarak etki hangi yönde olursa olsun karşılamak üzere tasarlanmıştır. Ardışık iki açıklıkta herhangi bir yönde etki oluştuğunda 2 kablodan birisi çekme diğeri ise basınç etkisi altında olması sağlanmıştır. Bunun nedeni kablo elemanların basınç etkisi altında çalışmamasıdır.

4.1.1. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Deneysel Ölçümlere Hazırlanması

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının deneysel ölçümlere geçilmeden önce titizlik ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Bulonların tek tek tork anahtarları ile kontrol edilerek projeye uygun olmayan durumların giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca kablo elemanların ön gerilme halinde olmaması sağlanmalıdır. Böylece sonuca etki eden parametrelerin kontrol altına alınması ve elde edilen verilerin güvenilirliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Tüm bu bilgiler ile birlikte çelik yapılar için ortam sıcaklığı da kontrol altına alınabilmesi amacıyla deney laboratuvar iç ortamında yapılmasına karar verilmiştir. GPS antenlerinin çalışma prensipleri nedeniyle bulutsuz açık havalarda ölçümler tercih edilmiştir. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş deney yapısının elemanlarının projesine uygunluğu tek tek kontrol edilmelidir. Tüm bu kontroller sırasıyla;

- Dikey profillerin (kolonlar) kontrolü
- Yatay profillerin (kirişler, temel kirişleri döşemede bulunan yatay çaprazlar ve kütle bağlantı profilleri) kontrolü
- Kat yüksekliği ve açıklıkların kontrolü
- Bağlantı elemanları ve bulonların kontrolü
- Kablo elemanların kontrolü

Dikey profillerin kontrolü

Dikey profiller içerisinde çelik deney yapısının kolonları bulunmaktadır. Kolon profili IPG200 olarak seçildiği projede görülmüştür. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de seçilen profiller IPG200 olduğu görülmüştür. Kolonlar incelendiğinde ise üzerlerinde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür.

Yatay profillerin kontrolü

Yatay profiller içerisinde kirişler, temel kirişleri döşemede bulunan yatay çaprazlar ve kütleler için bağlantı profilleri bulunmaktadır. Kiriş profili I80 olarak seçildiği projede görülmüştür. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de seçilen profiller I80 olduğu görülmüştür. Kirişler incelendiğinde ise üzerlerinde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür. Temel kiriş profili IPG260 olarak seçildiği projede görülmüştür. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de seçilen profiller IPG260 olduğu görülmüştür. Temel kirişleri incelendiğinde ise üzerlerinde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür. Döşeme çapraz elemanları kutu kesit 70x50x3.2 mm olarak boyutlandırılmıştır. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de seçilen profiller kutu kesit 70x50x3.2 mm olduğu görülmüştür. Döşeme çapraz elemanları incelendiğinde ise üzerlerinde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür. Kütle bağlantı kiriş profili I80 olarak seçildiği projede görülmüştür. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de seçilen profiller I80 olduğu görülmüştür. Kütle bağlantı kirişleri incelendiğinde ise üzerlerinde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür.

Kat yüksekliği ve açıklıkların kontrolü

Çelik deney yapısı 4 kattan oluşmaktadır. Kat yüksekliği ise 1.15 m dir. X ve Y doğrultusundan 2 açıklıktan oluşmaktadır. Her bir açıklık X doğrultusunda 2.5 m Y doğrultusunda 1.5 m olarak boyutlandırılmıştır. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde de bu boyutlandırmalar aynı şekilde ölçülmüştür.

Bağlantı noktalarının ve bulonların kontrol edilmesi

Çelik yapılarda bağlantı detayları son derece önem kazanmaktadır. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş deney yapısının elemanlarının projesine uygunluğu tek tek kontrol edildikten sonra bağlantı noktaları, birleşim detayları ve bulonlarında

uygunluğu kontrol edilmesi gerekmektedir. Bulonların çapları, uzaklıkları, boyları, gevşeklik ve sıklılıklarına bakılmalıdır. Yerinde yapılan ölçüm ve incelemelerde bulon çaplarının, adetinin, uzunluklarının ve birbiri arasındaki uzaklıkların birleşim detay projesine uygun olduğu görülmüştür. Bunun yanında gerekli oranda sıkılıp sıkılmadığı tork anahtarı ile tek tek kontrol edilmiştir. Tork anahtarı üzerindeki ayar mekanizması sayesinde bulon ve civataların doğru kuvvetle sıkılmamıza yarayan bir alettir. Şekil 4.1’de tork anahtarı verilmiştir. Çalışmada kullanılan tork anahtarının özellikleri ise Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan tork anahtarı

Tablo 4.1. Çelik deney yapısı kurşun kütleler ile birlikte yeni kütle dağılımı

INCH	1/2"
TORK	0-335 N.m
ÇALIŞMA KAPASİTESİ	3-14 Kg
IBF. FT	20-100 ıbf.ft
UZUNLUK	54.6 m

Bulonların metrik civataların gerilme yükü ve sıkma torku değerleri ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

Civata Mukavemet Sınıfı	4.8		5.8		8.8		10.9		12.9	
	kN	Nm	kN	Nm	kN	Nm	kN	Nm	kN	Nm
3 x 0.5	1.2	0.9	1.5	1.1	2.3	1.8	3.4	2.6	4.0	3.0
4 x 0.7	2.1	1.6	2.7	2.0	4.1	3.1	6.0	4.5	7.0	5.3
5 x 0.8	3.5	3.2	4.4	4.0	6.7	6.1	9.8	8.9	11.5	10.4
6 x 1	4.9	5.5	6.1	6.8	9.4	10.4	13.8	15.3	16.1	17.9
7 x 1	7.3	9.3	9.0	11.5	13.7	17.2	20.2	25	23.6	30
8 x 1	9.9	14.5	12.2	18.0	18.9	27	28	40	32	47
9 x 1.25	9.3	13.6	11.5	16.8	17.2	25	25	37	30	44
10 x 1.25	15.8	28.0	19.5	35	30	53	43	78	51	91
10 x 1.5	14.5	26.6	18	33	27	50	40	73	47	86
12 x 1.25	23.8	50	29	62	45	95	65	139	77	163
12 x 1.75	21.3	46	26	56	40	86	50	127	69	148
14 x 1.5	32	79	40	96	61	150	90	220	105	257
14 x 2	29	73	36	90	55	137	80	201	94	135
16 x 1.5	43	121	54	150	82	229	121	336	141	393
16 x 2	40	113	50	141	76	214	111	314	130	369
18 x 1.5	57	178	70	220	110	345	157	491	184	575
18 x 2.5	49	157	60	194	95	306	135	435	158	509
20 x 1.5	72	248	89	307	140	482	199	687	233	804
20 x 2.5	63	222	77	275	122	432	173	615	203	719
22 x 1.5	88	337	109	416	172	654	245	932	266	1090
22 x 2.5	78	305	97	376	152	502	216	843	253	987
24 x 2	101	420	125	519	196	814	280	1160	237	1360
24 x 3	90	383	112	474	175	744	250	1080	292	1240
27 x 2	131	615	162	760	225	1200	363	1700	425	1990
27 x 3	119	568	147	703	230	1100	328	1570	384	1840
30 x 2	165	850	204	1060	321	1670	457	2370	535	2380
30 x 3.5	144	772	178	995	280	1500	300	2130	467	2500

Şekil 4.2. Metrik civataların gerilme yükü ve sıkma torku değerleri

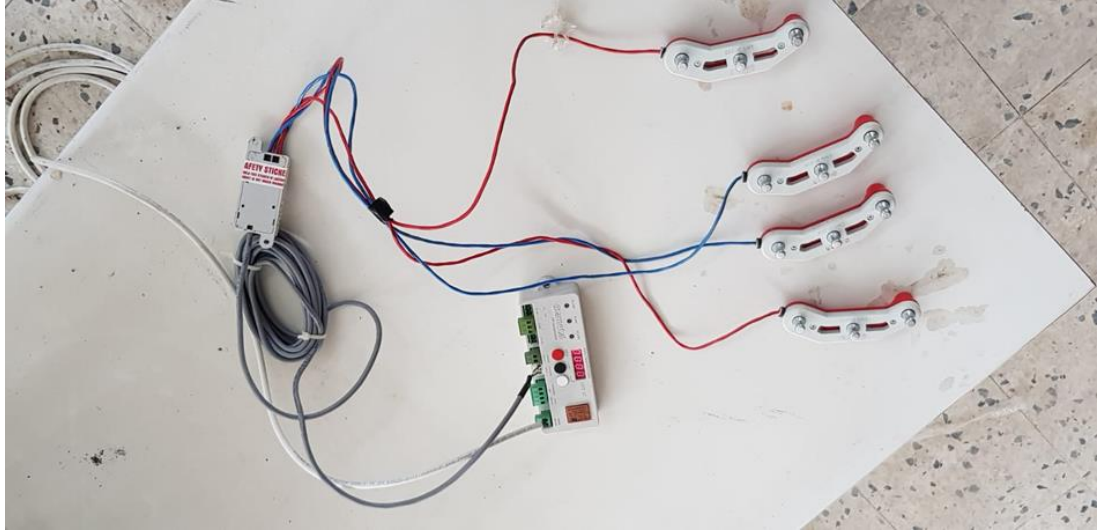
Her bir bulon çapı ve adım sayısı belirlenerek Şekil 4.2'deki tork değerlerinde sıkılmıştır. Yapılan bu işlem Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Çelik deney yapısı bağlantı elemanlarının tork anahtarları ile sıkılması ve kontrolü

Kablo elemanların kontrol edilmesi

Kablo elemanların kablo çapı 14 mm olarak gergi elemanlarının ise çapı ise 16 mm çelik gergi şeklinde boyutlandırılmıştır. Kablo ve gergilerin çapları kumpas ile ölçülerek boyutlandırıldığı şekilde olduğu görülmüştür. Kablo ve gergilerde herhangi bir deformasyon ve şekil değişikliği olmadığı görülmüştür. Kullanılan gergilerde ön gerilme miktarı ayarlanabilir şekildedir ve 0 olarak ayarlanmıştır. Çalışmanın doğruluğu açısından kablo elemanların ön gerilmeli olmaması gerekmektedir. Kablo elemanlarda oluşacak gerilmeler tek tek dikkatli bir şekilde ölçülmelidir. Germe işlemi yapılırken germe değeri görülür ve germe işlemi bu detaya göre yapılır. Gerilme değerlerinin 0'a gelmesine özen gösterilmelidir. Fakat ön gerilme durumunun sonuca etkisinin önemi nedeniyle ayrıyeten başka bir cihazla da ön gerilmeler kontrol edilmiştir. Tüm kablo elemanlarda gerilme ölçüm işlemleri LWS 3F 310 Elektronik Yük Ölçme Sistemi cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz Şekil 4.4'de, cihaz özellikleri ise Tablo 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4.4. LWS 3F 310 Elektronik Yük Ölçme Sistemi

Tablo 4.2. LWS 3F 310 Elektronik Yük Ölçme Sistemi Özellikleri

Çalışma Voltajı	220VAC 50Hz
Kontak Sayısı	3
Kontak Değerleri	10A 120VAC / 7A 240VAC
Kapasite	4000 Kg 1/1 Sistem – 8000 Kg 2/1 Sistem
Ağırlık	0,4 Kg/Sensör
Toplam Ağırlık	2.220 gr
Sensör Adedi	4 adet
Halat Çapı	12mm/ 14mm/ 16mm
Kablo Uzunluğu	4,5
Ortam Isısı	-5°C – 70°C

Ölçüm işlemi ise; halat aparatından geçirilerek gerilme değerleri ekrandan okunarak ve değer sıfırlanana kadar gevşetme işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlem Şekil 4.5’de de bir örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. Kablo eleman gerilme kontrolü

Şekil 4.5'deki kablo eleman gerilme kontrolü çelik deney yapısı üzerinde bulunan tüm kablo elemanlar için ayrı ayrı yapılarak kablo elemanda ön gerilme oluşmaması sağlanmıştır. Tüm bu çalışmalarla birlikte kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ölçümlere hazır hale gelmiştir.

4.1.2. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analiz Hazırlıkları

Bu bölümde kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analizi ile ilgili ön hazırlıklara değinilmiştir. Bu ön hazırlıklar operasyonel modal analiz için ihtiyaç olan cihazlara ve bu cihazların optimum olarak çalışmasına, kalibrasyonlarının yapılmasına ve operasyonel modal analizin gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Operasyonel modal analiz öncesi önemli hazırlıklar ise;

- Ölçümlerde kullanılacak ivmeölçerlerin seçimi ve kaç noktadan ve hangi noktalardan ölçüm alınacağı belirlenmesi
- Yapı üzerinde yerleştirilen ivmeölçerlerin veri toplama ünitesine tanıtılması gerekmektedir.
- Ölçümlere başlamadan önce yapıya yerleştirilen ivmeölçerlerin veri toplama ünitesine sinyal aktarıp aktarmadığı kontrol edilmelidir.
- Yapılan testlerde yeterli miktarda kaliteli sinyalin elde edilebilmesi için ölçüm süresinin doğru belirlenmesi

Şeklindedir.

Tüm bu yapının deneye hazırlanması çalışmaları sonrasında ise diğer önemli bir husus olan ölçüm cihazlarının hassasiyeti olduğu açıktır. Bu nedenle operasyonel modal analiz metodunu uygulanacağı cihazların önemi oldukça büyüktür. Bu cihazların, veri toplama ünitesi ve ona bağlı olan elemanlardan olan gps anteni, gerekli elektrik bağlantıları, ivmeölçerlerin girişleri ve kabloları ve ivmeölçerlerin kendisinin stabil çalışıp çalışmadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Gereken tespitler sonucunda oluşan aksaklıklar giderilmeli deney optimum düzeyde yapılabilecek hale getirilmelidir. Sonuçların doğruluğu açısından bu aşama hayati önem taşımaktadır. Tüm bunlardan ötürü ivmeölçerlerin tek tek hasarları ve çalışma durumları belirlenerek bir liste çıkartılmıştır. Ayrıca ara bağlantı olan kablolarında iletim düzeyleri incelenmiş kablolarda oluşabilecek sorunların önüne geçilmiş ve deneye ivmeölçerlerle birlikte hazır hale getirildiğinden emin olunmuştur. Veri toplama ünitelerinin stabilitesini kontrol etmek için gps antenleri ve gerekli elektrik bağlantı elemanları tek tek kontrol edilmiştir. Çıkan aksaklıklar düzeltilmiş cihazların gerekli bakımları teknik destek grubu tarafından da yapılmıştır. Bazı veri toplama ünitelerinde

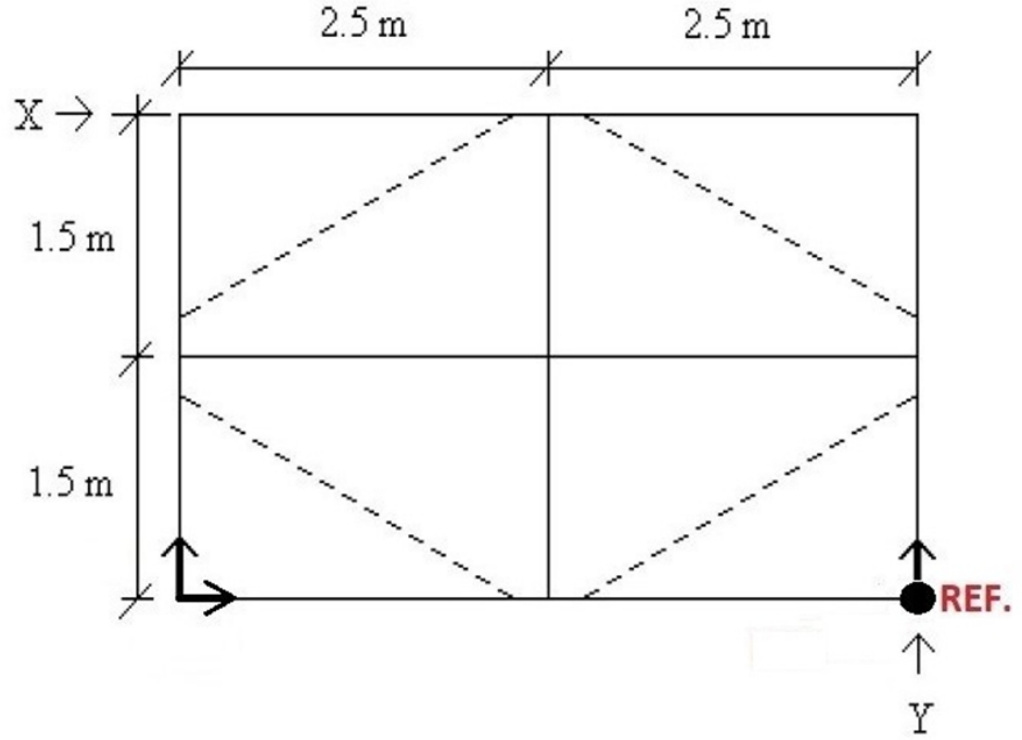
oluşan LAN bağlantısı sorunu ve LAN bağlantı kabloları olan CAT6 kablolar elden geçirilmiş ve stabil hale getirilmiştir. Tüm bu çalışmalar deney sonuçları için hayati önem taşımakta ve sonuçları %100 e yaklaştırmaktadır. Veri toplama üniteleri stabil hale getirildikten sonra bilgisayar yazılımı olan Testlab Network yazılımı incelenmiş olup herhangi bir aksaklık yaşatacak durumlar çözülmüştür. Örnek olarak IP çakışmaları yaşanmış bu nedenle veri alışı ve cihaza bağlantı sağlanamamıştır fakat bu sorun Teknik destek grubu ile görüşülerek cihazlara statik IP verilerek IP numarası 192.168.2.5 verilerek çözülmüştür. Bir diğer önemli hususta OMA yöntemlerinde bilindiği gibi ivmeölçerlerin kalibrasyonudur. Kalibrasyon ayarları Testlab Network yazılımından hassasiyet girilerek yapılmıştır. Bunun sebebi ivmeölçerlerin tipi ve türü ile alakalıdır. İvmeölçerlerin üretilişinde bu hassasiyet değerleri üretici firma tarafından belirlenmekte olup farklı tip ivmeölçerlerde bu değer farklı olmaktadır. Deneyde kullanılacak ivmeölçerlerin de aynı tip olmasına özen gösterilmelidir. Tüm cihazların ve deney yapısının deneye hazırlığı sağlandıktan sonra ön ölçümlere geçilerek bir aksaklık oluşmamasından emin olunmalıdır. Tüm bu aşama da yapılan işlemler zaman alan ve titizlik gerektiren bir süreçtir.

4 katlı çelik deney yapısında her kat için 1 adet veri toplama ünitesi kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca zeminde bulunan sismometre içinde ayrıca 1 adet veri toplama ünitesi kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak olan veri toplama üniteleri 4 kanallıdır. Veri toplama üniteleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler ise materyal ve yöntem bölümünde verilmiştir. Toplamda 5 adet veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Her kat için ise 1 adet Sensebox 7021 üç eksenli ve 1 adet Sensebox 7001 tek eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Toplamda 4 adet Sensebox 7021 üç eksenli ve 4 adet Sensebox 7001 tek eksenli ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerler ile ilgili ayrıntılı bilgiler ise materyal ve yöntem bölümünde verilmiştir. Üç eksenli ivmeölçerler ile veri ünitesi bağlantısı arasında çoklayıcı kullanılmalıdır. Kullanılacak olan ivmeölçerlere etiketler yapıştırılarak numaralandırılmalıdır. Veri ünitelerinin hangi kata ait verileri topladığı işaretler ve etiketler yardımıyla belirtilmelidir. Kablolar ise düzenli bir biçimde sıralanarak üzerlerinde etiket yardımıyla birbirlerinden ayrılmalıdır. Kablo- veri toplama ünitesi girişinde temsil edilen X, Y, Z yönleri etiket yardımıyla belirtilmelidir. Tüm bu etiketlere ek olarak tüm bağlantılar kâğıt üzerinde de not alınmalı olası bir karışıklığın önüne geçilmesi amaçlanmalıdır. Yapıda belirlenen düğüm noktalarına yerleştirilecek olan ivmeölçerleri düzgün bir

şekilde düğüm noktalarına sabitlenmesi sağlanmalıdır. Bu aşamaların sonrasında veri toplama üniteleri çalıştırılır ve GPS sinyalinin gelmesi beklenir. GPS sinyale gelmediği durumlarda GPS antenin yeri değiştirilmelidir. GPS sinyalinin gelmesi ile birlikte veri toplama üniteleri kayıta hazır hale gelmektedir. Kayıta geçilmeden önce bilgisayar ortamında Testlab Network programı üzerinde gelen sinyaller bir kez daha kontrol edilir, her kanal için tek tek kalibrasyon ayarları yapılarak yeni sinyal verileri kontrol edilerek doğruluğundan emin olunur. En son aşama olarak kayıt süresi ve adımı belirlenir. İstenilirse kaydın başlama ve bitiş süreleri saat olarak hesaplanarak belirtilebilir. Böylece deney yapılacak ortamdaki uzaklaşmak için ölçüm yapanlara ek bir süre tanınmış olur. Kayıt süresi tamamlandıktan sonrası bilgisayar ortamında kayıt öncesi seçime göre excel dosyası veya txt dosyası şeklinde kayıt edilmiş olur. Kaydedilen bu veriler Artemis Modal Pro programında işlenerek dinamik parametreler elde edilir. İşlenecek veriler bir kez de Artemis Modal Pro programında gözden geçirilir. İvme zaman grafiklerinde beyaz gürültü (White noise) tespit edilirse ölçümler tekrarlanmalıdır. Dinamik parametrelerin tespiti içinse tek bir ölçümden yararlanılmasında ziyade birçok kez ölçüm yapılarak benzer sonuçlar elde edildiğinde gerçek sonuca ulaşıldığı varsayılmalıdır. Tüm bu özetlenmiş deney öncesi ön hazırlık çalışmaları yapılan bu çalışmada titizlikle uygulanmıştır.

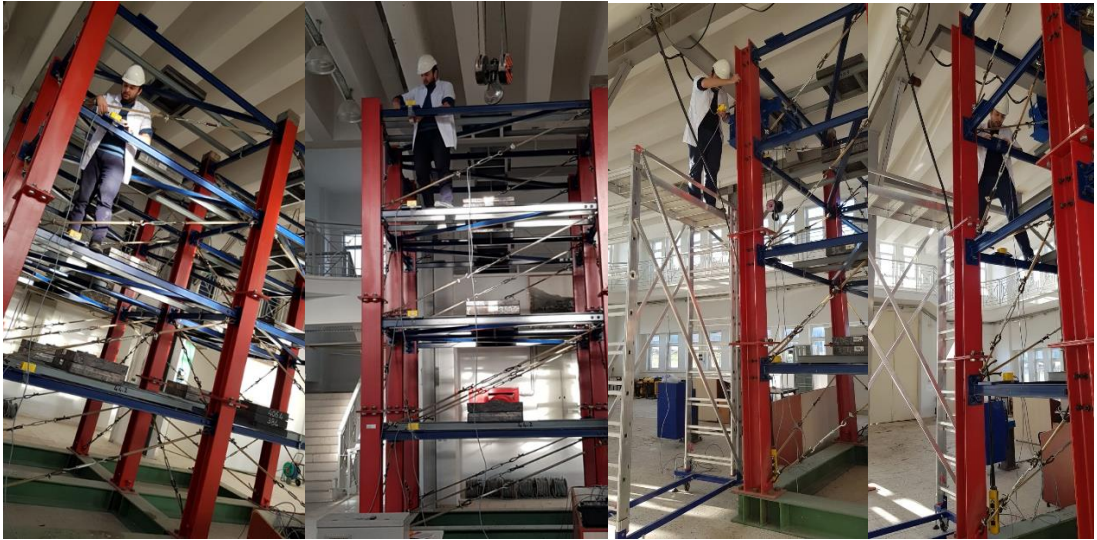
İvmeölçerlerin yerleştirilmesi

Çelik deney yapısının deneye hazırlanması aşaması sonrasında belirlenen ivmeölçerler belirlenen düğüm noktalarına yerleştirilmelidir. Her kata 1 si üç eksenli diğeri tek eksenli olmak üzere 2 adet ivmeölçer gereken düğümlere titizlikle sabitlenerek yerleştirilmiştir. İvmeölçerler yerleştirilirken su terazisi kullanılarak düğüm noktalarına milimetrik olarak doğrultularının yerleştirilmesi sağlanmıştır. Böylelikle oluşabilecek hataların minimize edilmesi sağlanmıştır. Yerleştirilen ivmeölçerler güçlü yapışkan bantlarla sabitlenerek herhangi bir olası kayma, yer değiştirmenin önüne geçmek amaçlanmıştır. İvmeölçerlerin yerleşim düzeni ve referans ivmeölçer şekillerde açıkça görülmektedir. Şekil 4.6'da ivmeölçer yerleşim planı verilmiştir.



Şekil 4.6. İvmeölçer yerleşim planı

Şekil 4.6'daki gibi sol düğüm noktasına X, Y doğrultularında ölçüm yapacak şekilde üç eksenli ivmeölçerler her kat (KAT1, KAT2, KAT3, KAT4) için yerleştirilmiştir. Sağ düğüm noktasında ise yalnızca Y eksenini doğrultusunda ölçüm yapacak şekilde tek eksenli ivmeölçerler her kat (KAT1, KAT2, KAT3, KAT4) için yerleştirilmiştir. Şekil 4.7 ve 4.8'de ivmeölçerlerin çelik deney yapısı üzerinde plana uygun şekilde yerleştirilme çalışmaları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. İvmeölçer yerleşim işlemleri -1



Şekil 4.8. İvmeölçer yerleşim işlemleri -2

Yerleştirilen ivmeölçerler silikonlar ve üzerine güçlü bantlar ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9’da ivmeölçerlerin yönleri ve düğüm noktalarına sabitlenmesi örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İvmeölçerin yönleri ve sabitlenmesi

Her ne kadar çalışma sadece çıktı modal analiz üzerine olsa da zeminden gelen titreşimleri görmek adına zemine sismometre yerleştirilmiştir. Böylece otokontrol sağlanması amaçlanmıştır. Şekil 4.10’da sismometrenin zemine yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Sismometrenin zemine yerleştirilmesi

Sismometre yerleştirilirken kutuplarına dikkat edilmelidir. Yön yerleştirildikten sonra üzerinde bulunan su terazisi yardımı ile sismometrenin ayakları ayarlanmalıdır. Yerleştirilen ivmeölçerler ve sismometre veri toplama ünitelerine Şekil 4.11'deki gibi bağlanmıştır.



Şekil 4.11. İvmeölçer ve sismometrenin veri toplama ünitelerine bağlanması

Çelik deney yapısının operasyonel modal analiz için ölçümlere bütünüyle hazır hale gelmiş durumu Şekil 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.12. Çelik deney yapısının ölçüme hazır hali

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı operasyonel modal analiz için hazırlanmıştır. Ölçüm süresi ve adımı belirlenerek operasyonel modal analiz işlemi gerçekleştirilir.

4.1.3. Kablo Elemanlar ile Güçlendirilmiş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analizi ile Elde Edilen Veriler

İvmeölçerlerden ve sismometreden gelen veriler anlık olarak Testlab Network yazılımında görülmektedir. Veriler ekranda izlenilerek herhangi bir sorun yok ise kayıt işlemine geçilebilir. Kayıt işlemi ölçüm adımı ve ölçüm süresi belirlenmelidir. Ölçüm adımı olarak daha önceki yapılmış çalışmalar referans alınarak 200 Hz seçilmiştir. Daha yüksek adım seçildiğinde örnekleme sayısı artmaktadır bu durumda satır sayısını ve kayıt verisi boyutunu artırarak veri işlenmesini çok daha zor hale sokmaktadır. Ölçüm süresinin hesaplanmasında ise Prof. Dr. Carlos Ventura'nın "Operasyonel Modal Analize Giriş" kitabı dikkate alınmıştır. Ölçüm süresi tablosu Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Minimum ölçüm süresi (Ventura 2015)

Damping (%)	Relative time series length $T_{tot} f_{min} = 10\xi S_n$
0.2	5000
0.5	2000
1	1000
2	500
5	200

Minimum ölçüm süresi için gerekli güncel tablo ve formül verilmiştir. Verilen bu verilere göre minimum ölçüm süresi;

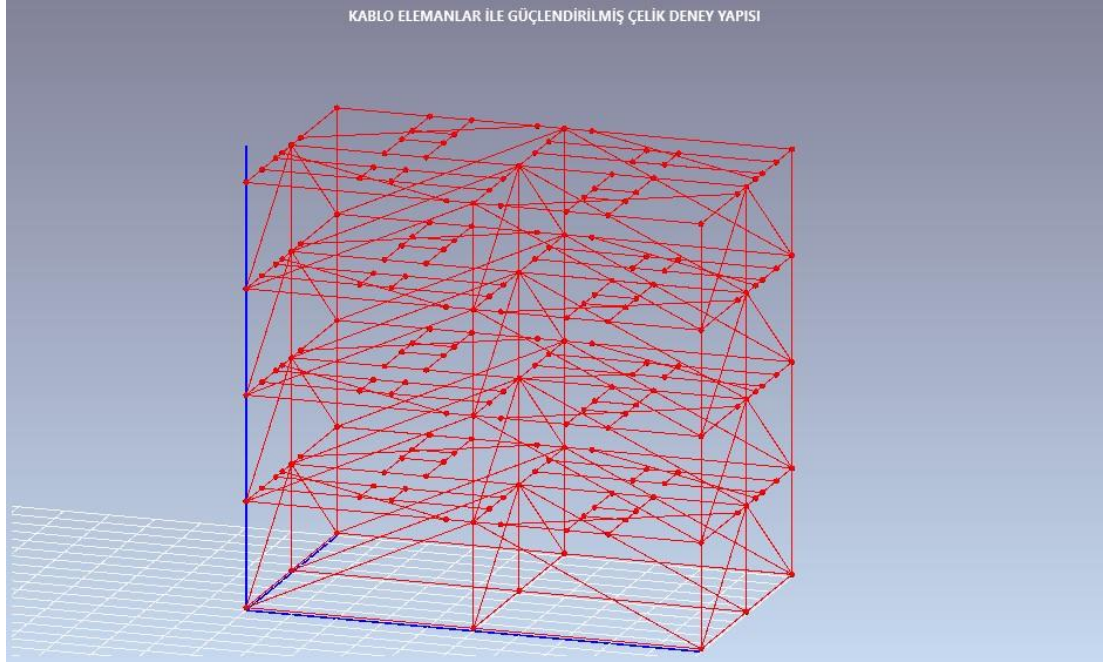
Minimum ölçüm süresi = $10/0.02 = 500$ saniye

Olduğu görülmektedir. Burada çelik yapılar için sönüm 0.02 alınmıştır. Yapılan çalışma da ise ölçüm süresi 600 saniye alınarak daha emniyetli bir ölçüm alınması hedeflenmiştir.

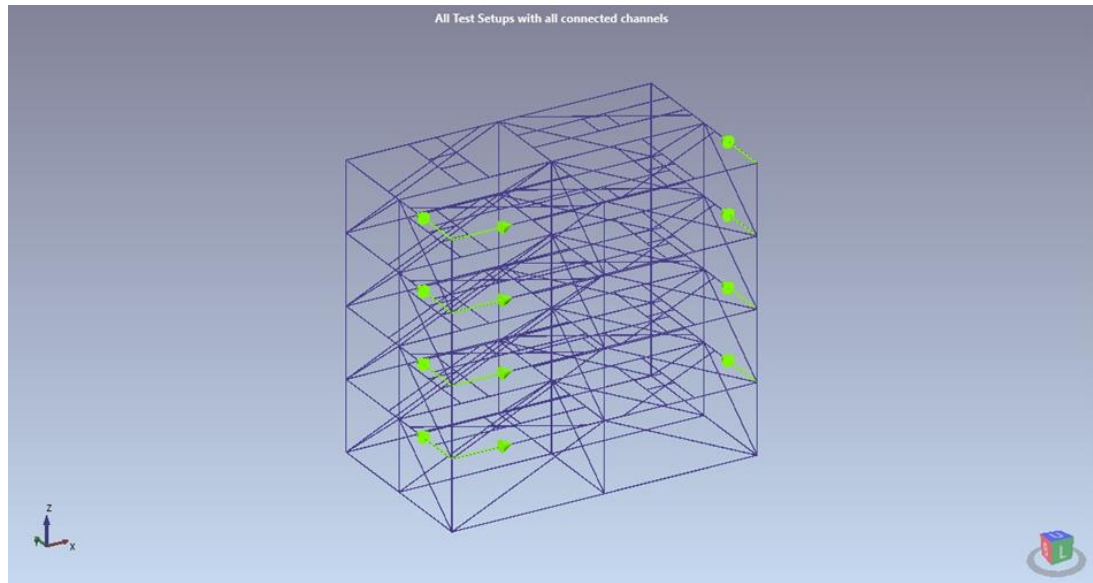
İvmeölçer yerleşim planında ivmeölçerlerin doğrultuları verilmiştir. Bu doğrultularda ve ölçüm süresinde elde edilen veriler her katta ve her kanalda ayrı olarak şekillerde sunulmuştur. Ölçümler yapılırken beyaz gürültü oluşmamasına dikkat edilmiş ve ölçüm esnasında ölçüm yapılan alanda hiçbir olumsuz etkenin olmamasına dikkat edilmiştir. Ölçüm başlamadan önce alanı terk etme süresi belirlenerek ölçüme başlanma komutu verilip ölçüm esnasında deney düzeneğinin etrafında bulunulmaması ve gürültü oluşturulmaması sağlanmıştır. Deney düzeneği şekillerde de görüldüğü gibi laboratuvar ortamındadır. Bu durum sayesinde daha ideal bir ölçüm sağlanması çabalanmıştır. Sadece ölçüm esnasında değil ölçüm sonrası elde

edilen verilerde gözden geçirilerek herhangi bir olumsuz durumda ölçümler yeniden tekrarlanarak güvenilir veriler elde edilmiştir. Veriler Artemis Modal Pro programında işlenmiştir.

Artemis Modal Pro paket programında kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının modellenmiş durumu Şekil 4.13 'de, ivmeölçerlerin yerleşim bilgisi Şekil 4.14'de verilmiştir.

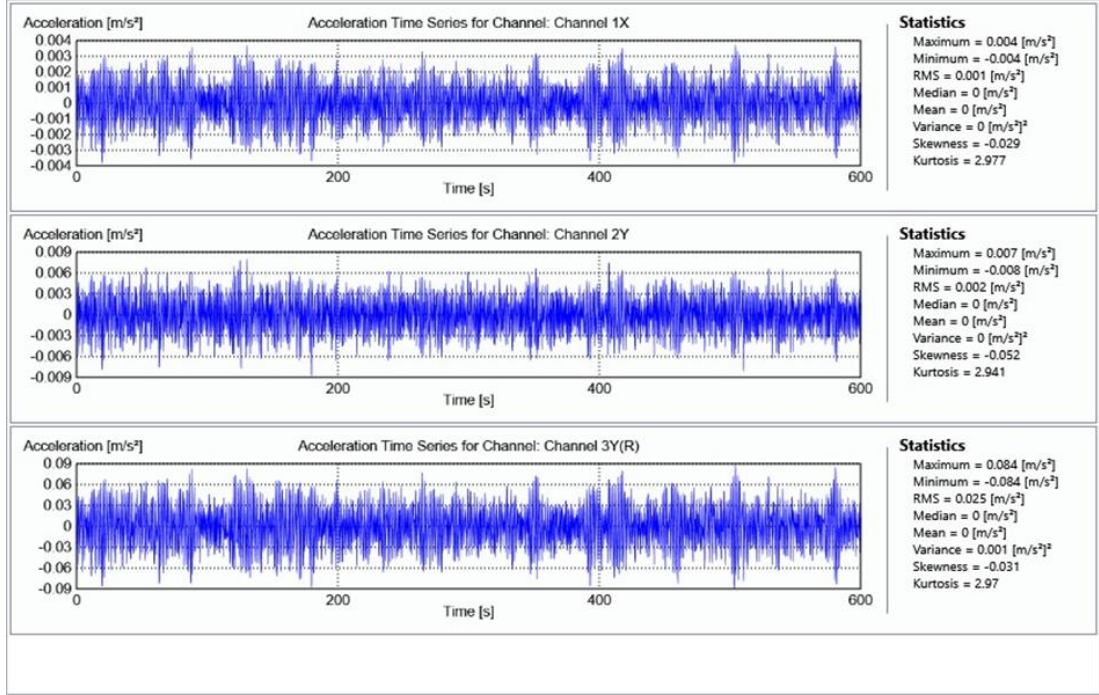


Şekil 4.13. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının modellenmesi

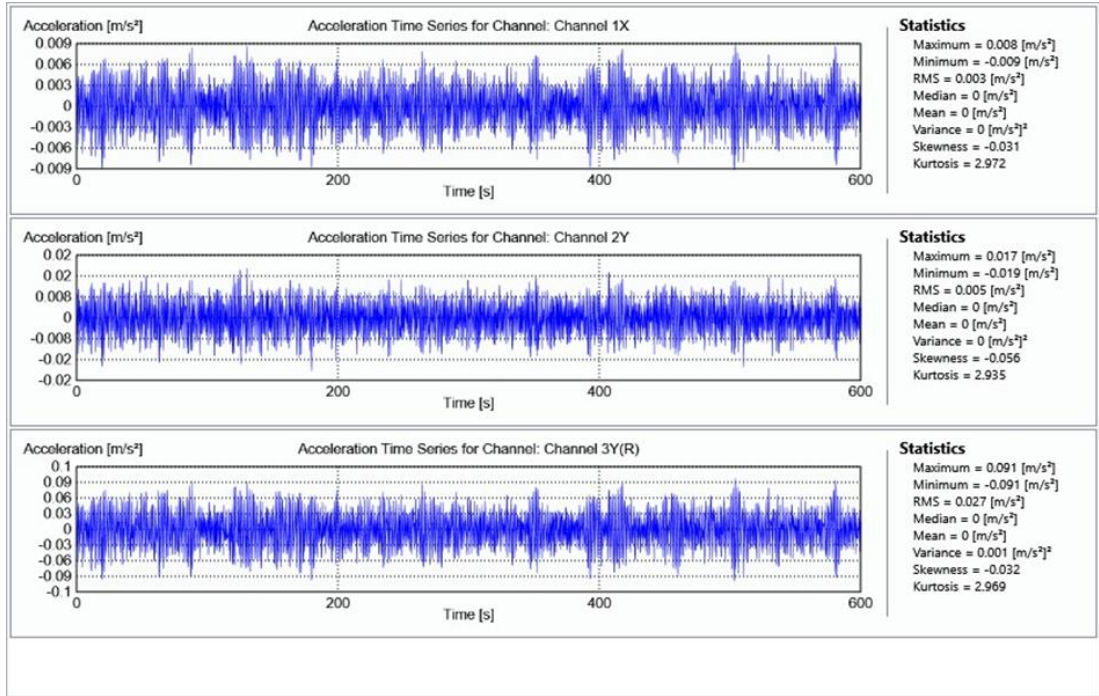


Şekil 4.14. İvmeölçerlerin yerleşim planı

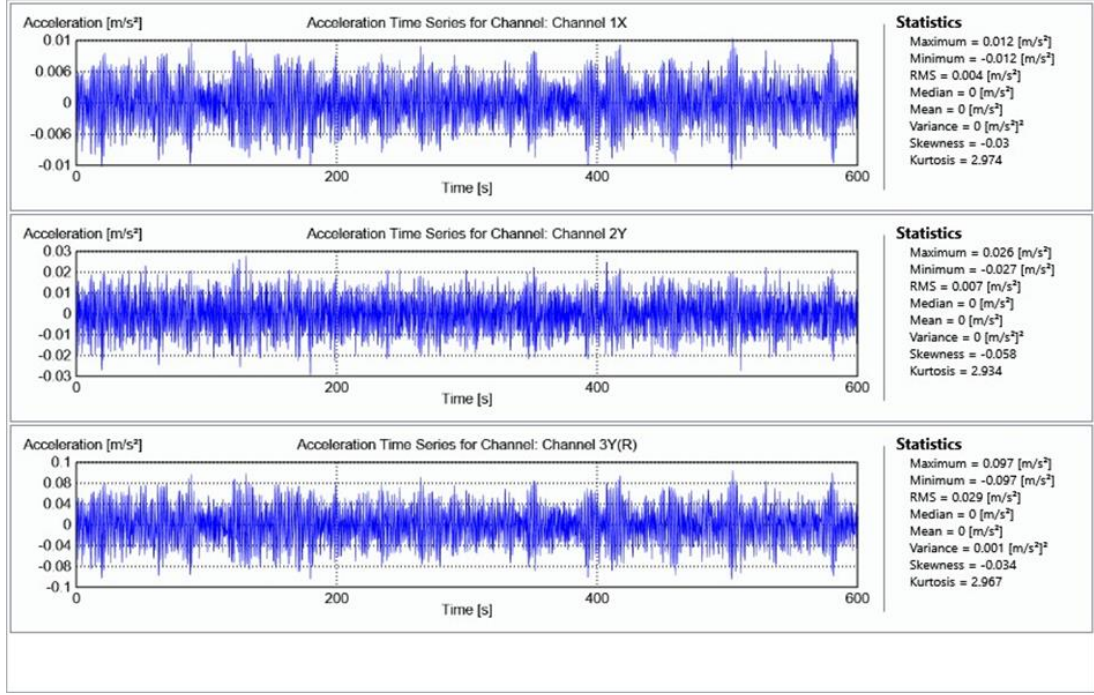
Katlardan alınan ivme değerleri ise Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18'de verilmiştir.



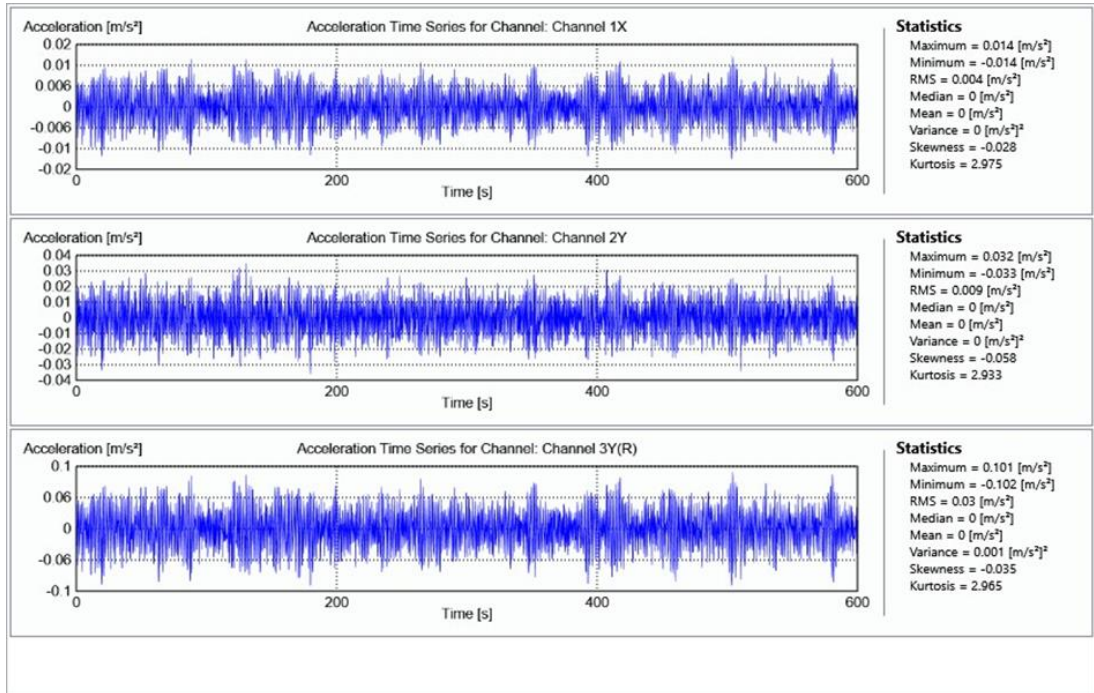
Şekil 4.15. 1. Kattan elde edilen ivme değerleri



Şekil 4.16. 2. Kattan elde edilen ivme değerleri



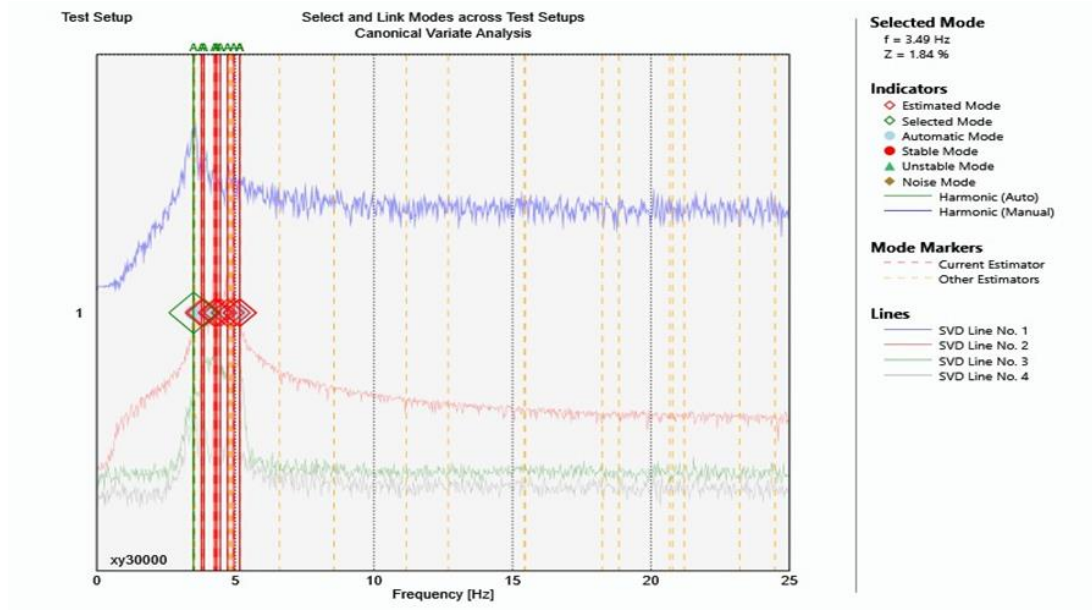
Şekil 4.17. 3. Kattan elde edilen ivme değerleri



Şekil 4.18. 4. Kattan elde edilen ivme değerleri

Veriler Artemis Modal Pro paket programında işlenmiştir. Parametrelerin elde edilmesinde zaman tanım alanında bir yöntem olan SSI-CVA yöntemi kullanılmıştır. Parametrelerde ilk 5 mod dikkate alınmıştır. Veri işlenmesinde Artemis Modal Pro default ayarları kullanılmıştır. Detrend ve filtering işlemi yapılmıştır. Verilerin toplanmasında ve işlenmesinde filtreleme olarak lowpass seçilmiştir.

Spektral yoğunluk grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



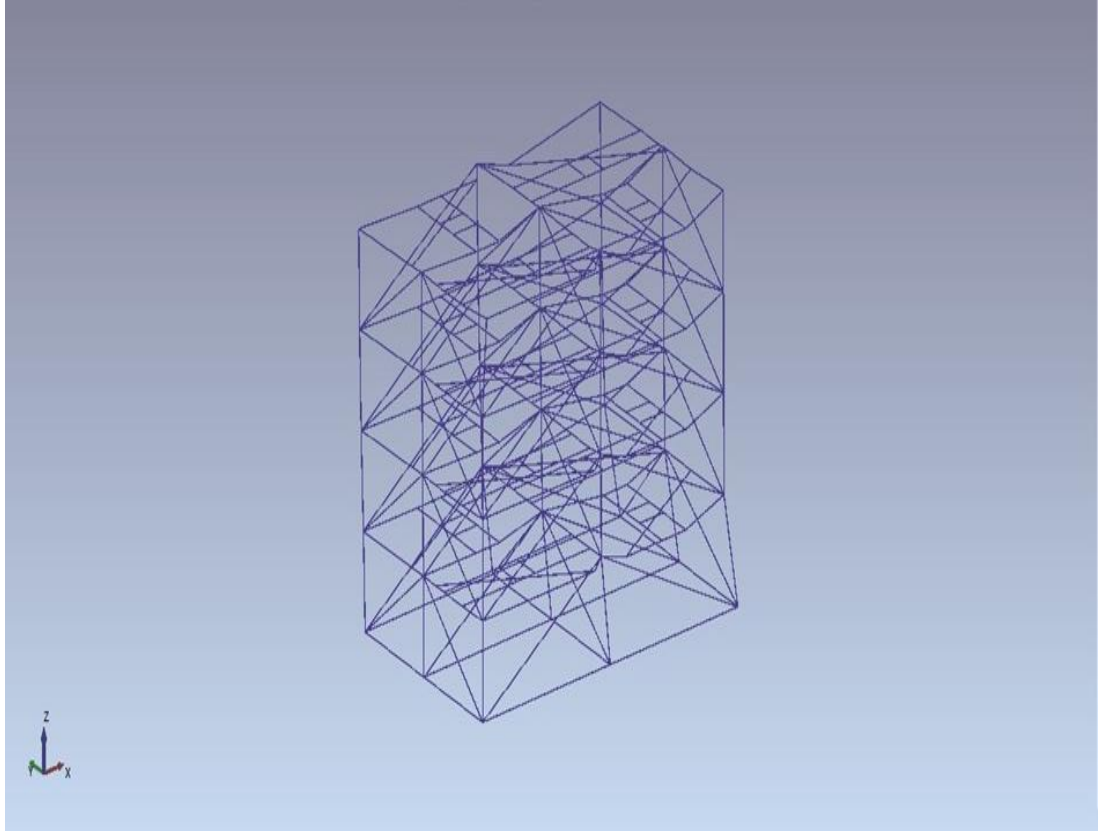
Şekil 4.19. SSI-CVA Spektral yoğunluk grafiği

Artemis Modal Pro paket programı aracılığıyla elde edilen ilk 5 moddaki frekans, periyot ve sönüm değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

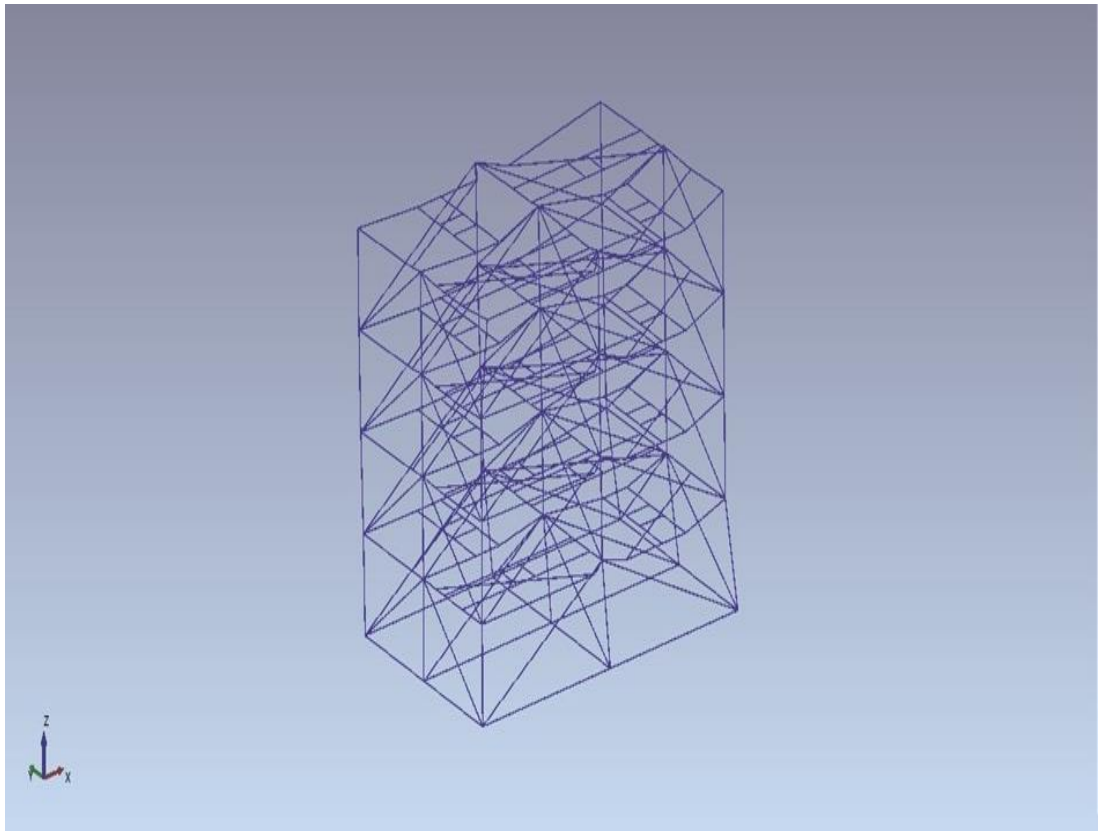
Tablo 4.4. Operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametreler

Mod	1	2	3	4	5
Frekans [Hz]	3.494	3.781	3.865	4.248	4.329
Periyot [s]	0.286	0.265	0.259	0.235	0.231
Sönüm [ξ]	0.01843	0.02812	0.01337	0.01083	0.01406

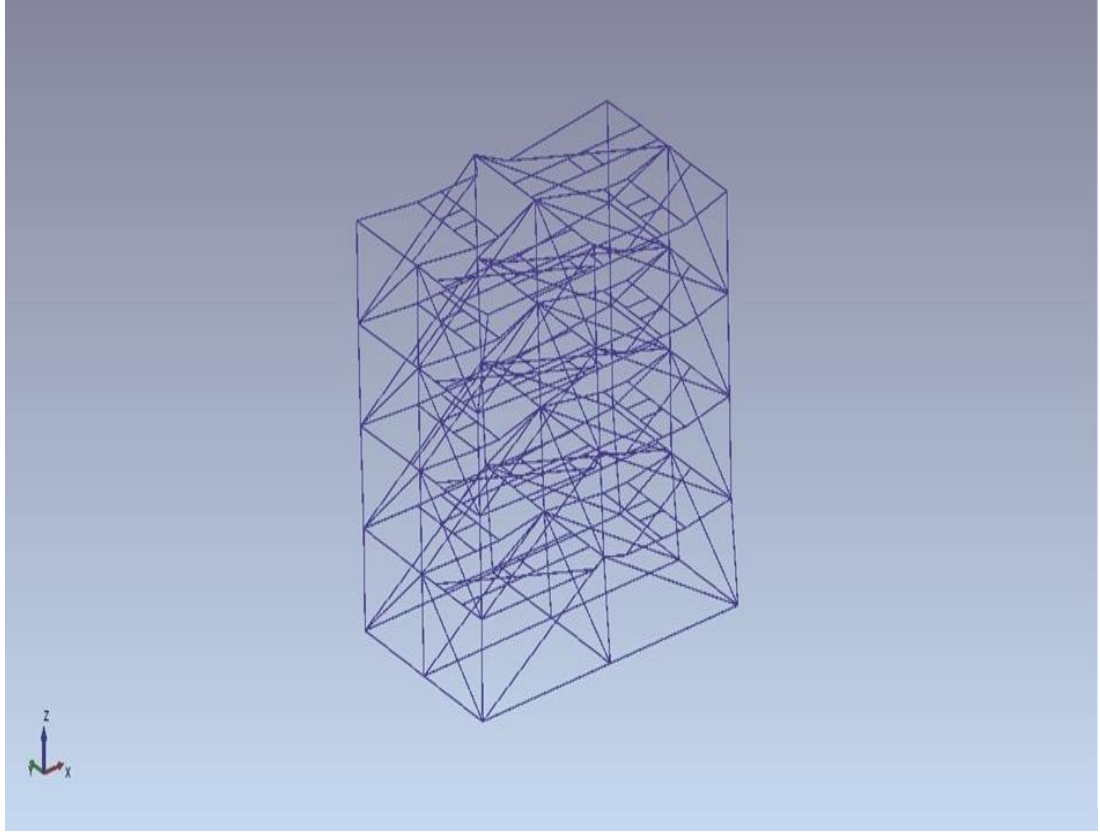
Artemis Modal Pro paket programı aracılığıyla elde edilen ilk 5 mod şekli Şekil 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24’de verilmiştir.



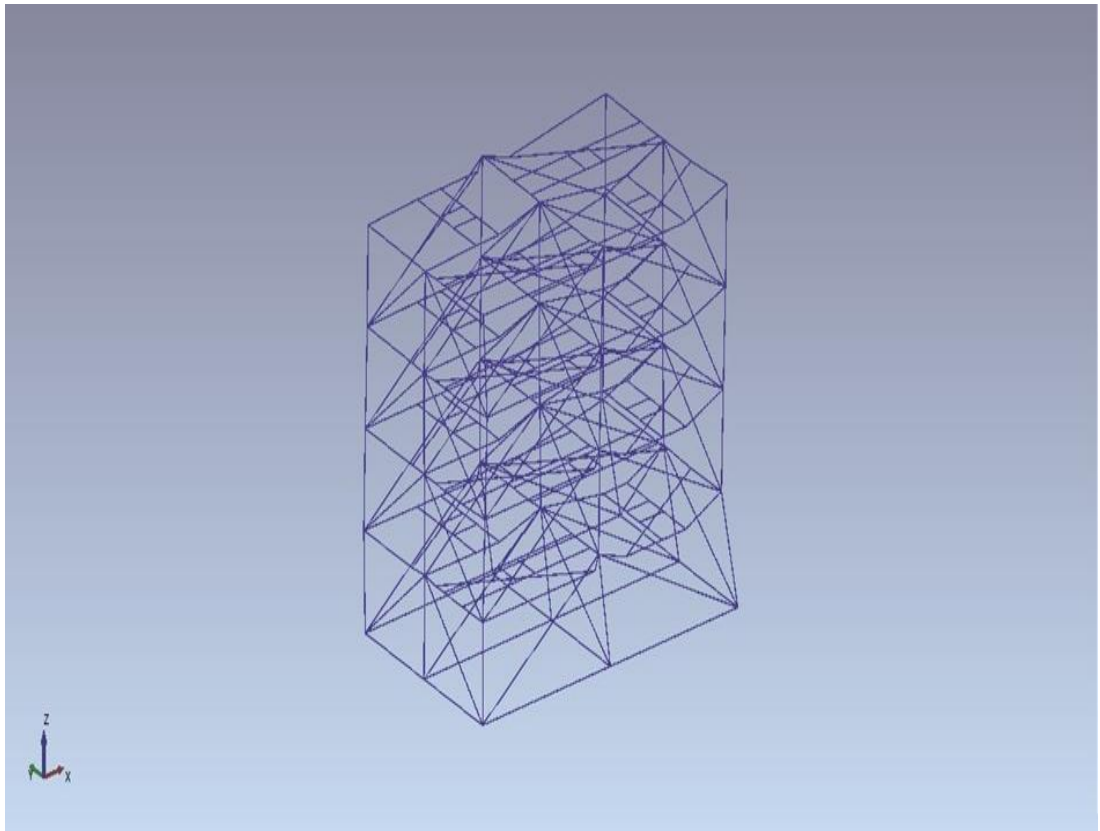
Şekil 4.20. OMA SSI-CVA 1.Mod ($f=3.494$ Hz, $T=0.286$ s, $\zeta =0.01843$)



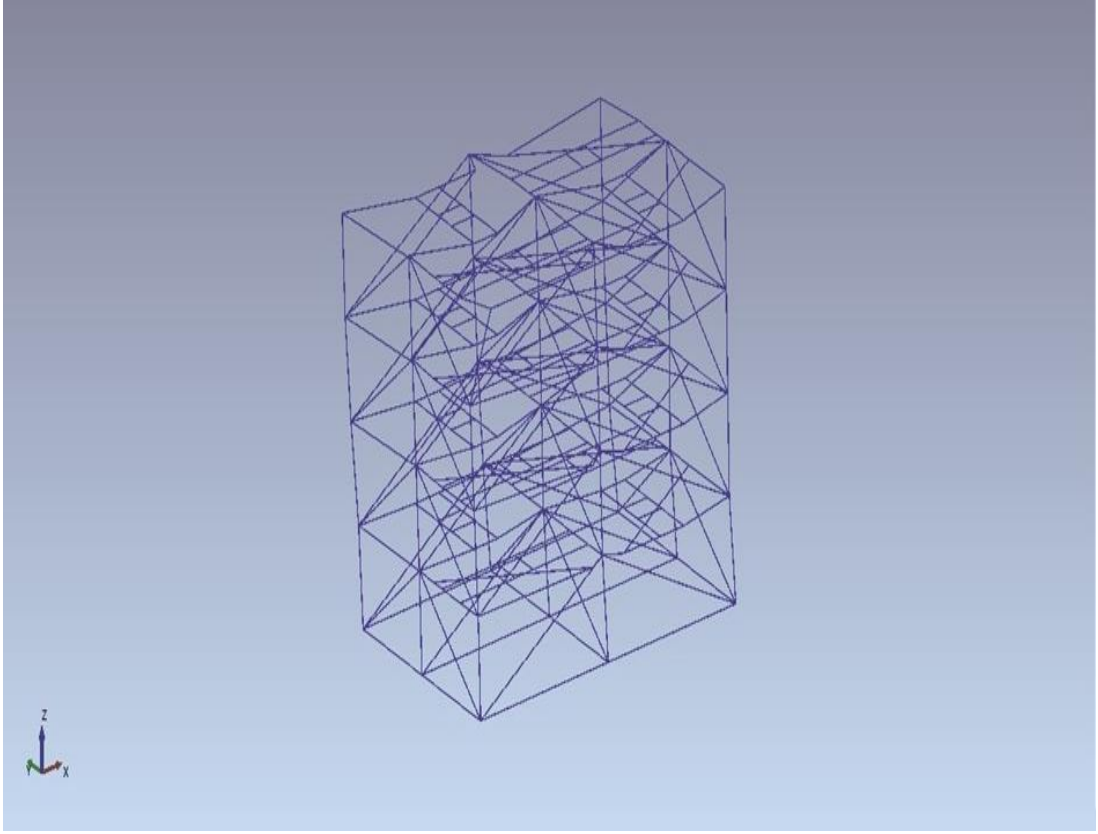
Şekil 4.21. OMA SSI-CVA 2.Mod ($f=3.781$ Hz, $T=0.265$ s, $\zeta =0.02812$)



Şekil 4.22. OMA SSI-CVA 3.Mod ($f=3.865$ Hz, $T=0.259$ s, $\zeta =0.01337$)



Şekil 4.23. OMA SSI-CVA 4.Mod ($f=4.248$ Hz, $T=0.235$ s, $\zeta =0.01083$)



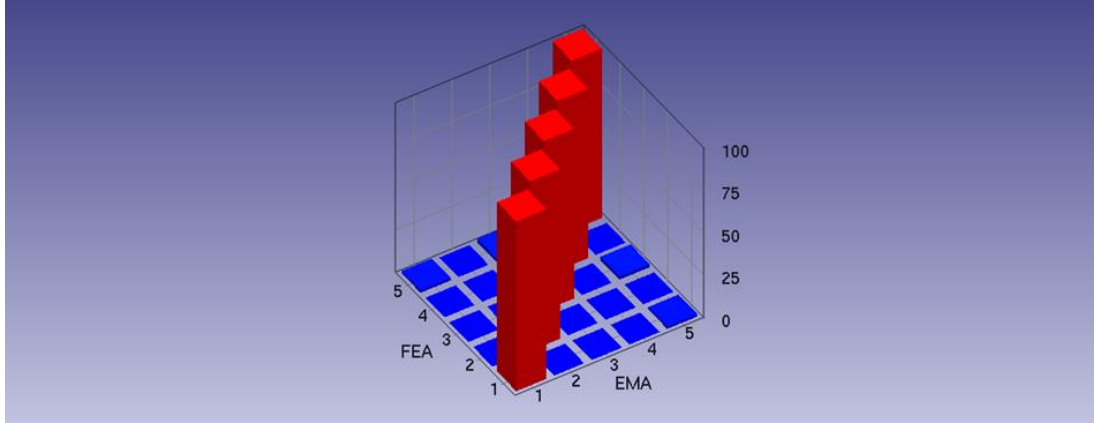
Şekil 4.24. OMA SSI-CVA 5.Mod ($f=4.329$ Hz, $T=0.231$ s, $\zeta=0.01406$)

Elde edilen verilerin geçerliliği ve güvenilirliğini saptamak amacıyla modal güvence kriterine bakılmalıdır. MGK da amaçlanan elde edilen deneysel verilerin geçerliliğinin sadece analitik frekans değerlerine bakılarak kıyaslanmasından ziyade analitik ve deneysel mod şekillerinin eşleşmesini ve aralarındaki uyumu göstermektedir. Modal güvence kriteri (MGK) iki mod şekli arasındaki açının karesel kosinüsünün bir ölçüsüdür. MGK matrisinin köşegen haricindeki elemanları, modlar arasındaki lineer bağımsızlığın kontrolünü sağlar. MGK değerleri 0 ile 1 arasındadır. MGK değerinin “1” olması iki mod şeklinin özdeş modlar (tam birleşim) olduğunu gösterir. Böylece elde edilen deneysel verilerin bir sağlamasının yapılması sağlanmaktadır. MGK değeri 0’a yaklaştıkça elde edilen verilerin güvenilirliğinden ve doğruluğundan şüphe edilmelidir. MGK değeri 1’e yakın değilse sonlu elemanlar modeli tekrar kontrol edilmeli, sonlu elemanlar modelinde bir sorun yok ise deneysel ölçümler ve verilerin işlenmesi MGK değeri 1 veya 1’e yaklaşıncaya kadar tekrar edilmelidir. MGK matrisinin denklemsel ifadesi denklem 4.1’de verilmiştir.

(4.1) no’lu denklem,

$$MGK(\psi_{SEM}, \psi_{DM}) = \frac{|\{\psi_{SEM}\}^T \{\psi_{DM}\}|^2}{(\{\psi_{SEM}\}^T \{\psi_{SEM}\})(\{\psi_{DM}\}^T \{\psi_{DM}\})}$$

Deneyel ve sonlu elemanlar mod şekillerinin eşleştirilmesi ve MGK matrisinin elde edilmesinde FEMtools programından yararlanılmıştır. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısına ait MGK köşegen matrisi Şekil 4.25’de verilmiştir.

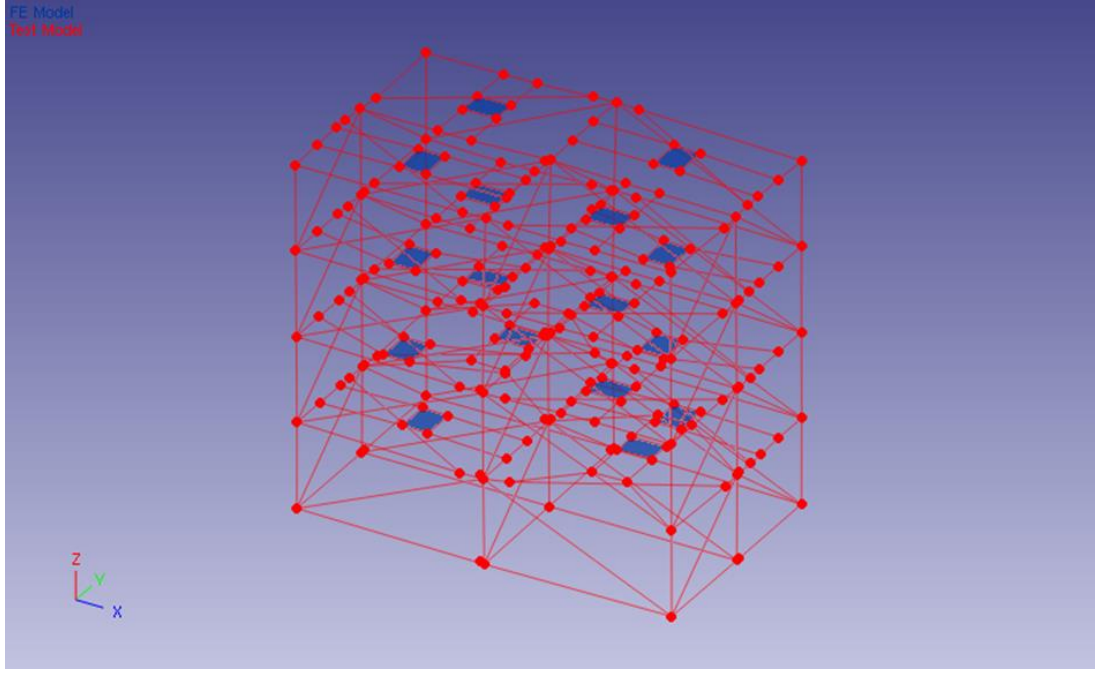


Şekil 4.25. MGK matrisi

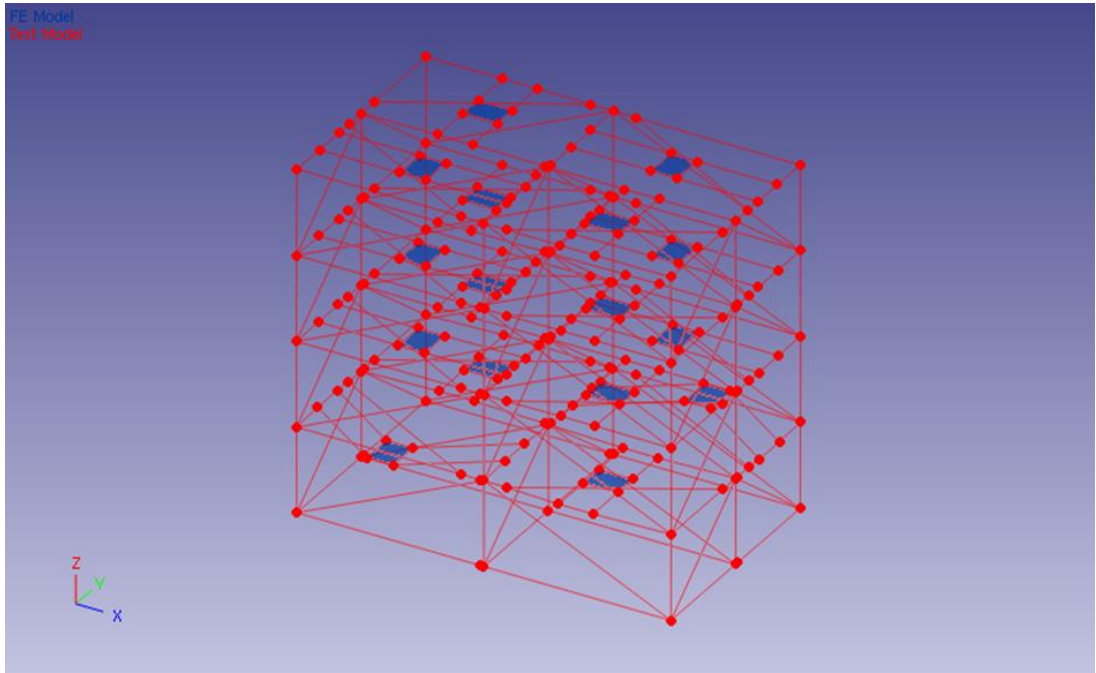
MGK matrisinin sayısal verileri ise;

$$MGK \text{ matrisi; } \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.112 & 0 & 0.001 \\ 0 & 1 & 0 & 0.001 & 0 \\ 0.112 & 0 & 1 & 0 & 0.008 \\ 0 & 0.001 & 0 & 1 & 0 \\ 0.001 & 0 & 0.008 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ şeklindedir.}$$

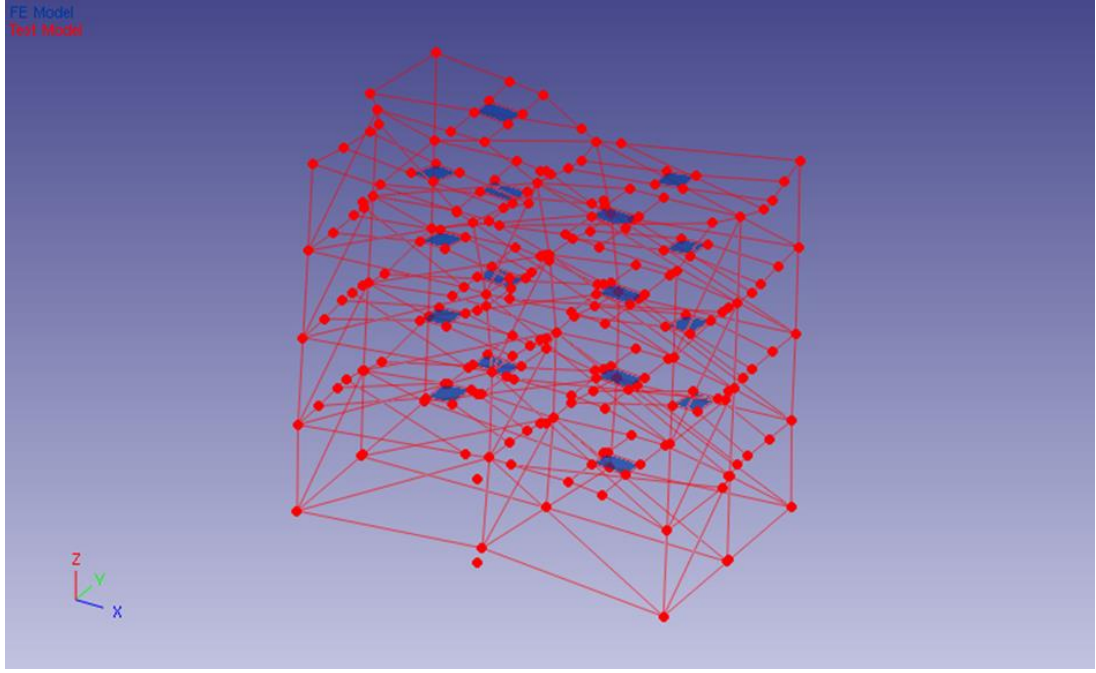
Deneyel mod şekilleri ile sonlu elemanlar mod şekillerinin 1’ e 1 çakıştığı Şekil 4.25’ de ve MGK matrisinde köşegenlerin 1 olması dolayısıyla görülmektedir. MGK matrisinin bu şekilde çıkmasında ölçümlerin laboratuvar ortamında olmasının ve çelik deney yapısının projesine uygun olarak güçlendirilmiş olmasının ve tekrar tekrar kontrol edilmesinin etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Buradan sonuçla kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analizinin güvenilir bir biçimde gerçekleştirildiği ve sonuçların geçerliliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca ilk 5 moda ait deneyel ve sonlu elemanlar mod şekillerinin eşleştirilmesi frekans, periyot ve sönüm oranları ile birlikte Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30’da açık bir şekilde görülmektedir.



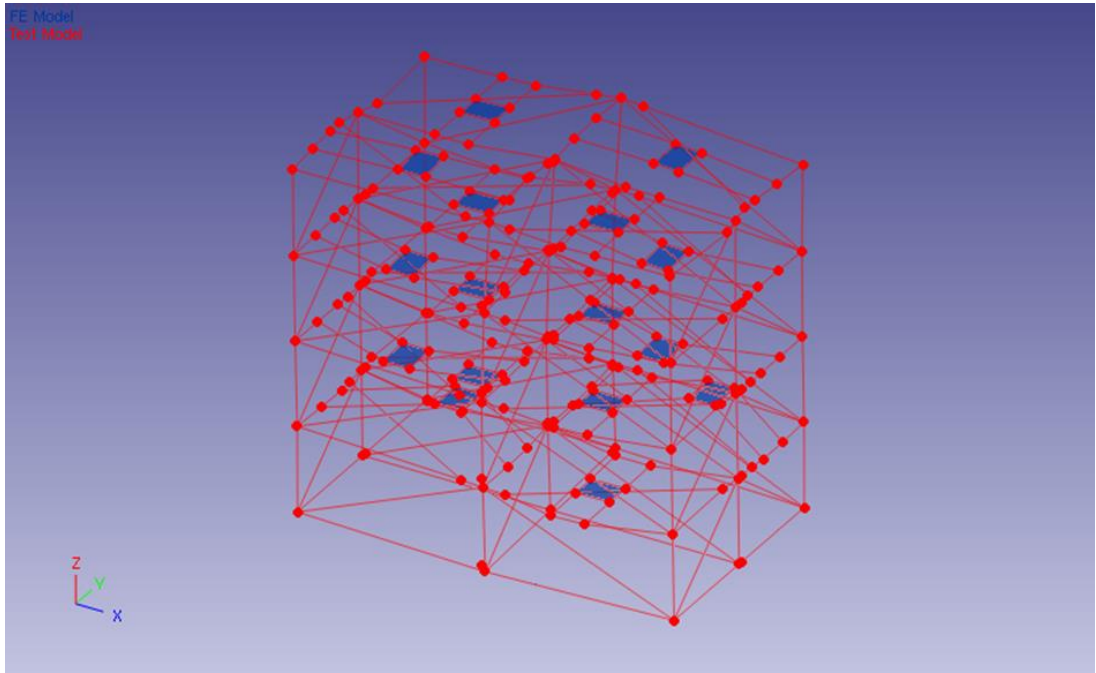
Şekil 4.26. SEM 1.Mod ($f=3.490$ Hz, $T=0.287$ s) - SSI-CVA 1.Mod ($f=3.494$ Hz, $T=0.286$ s, $\zeta=0.01843$)



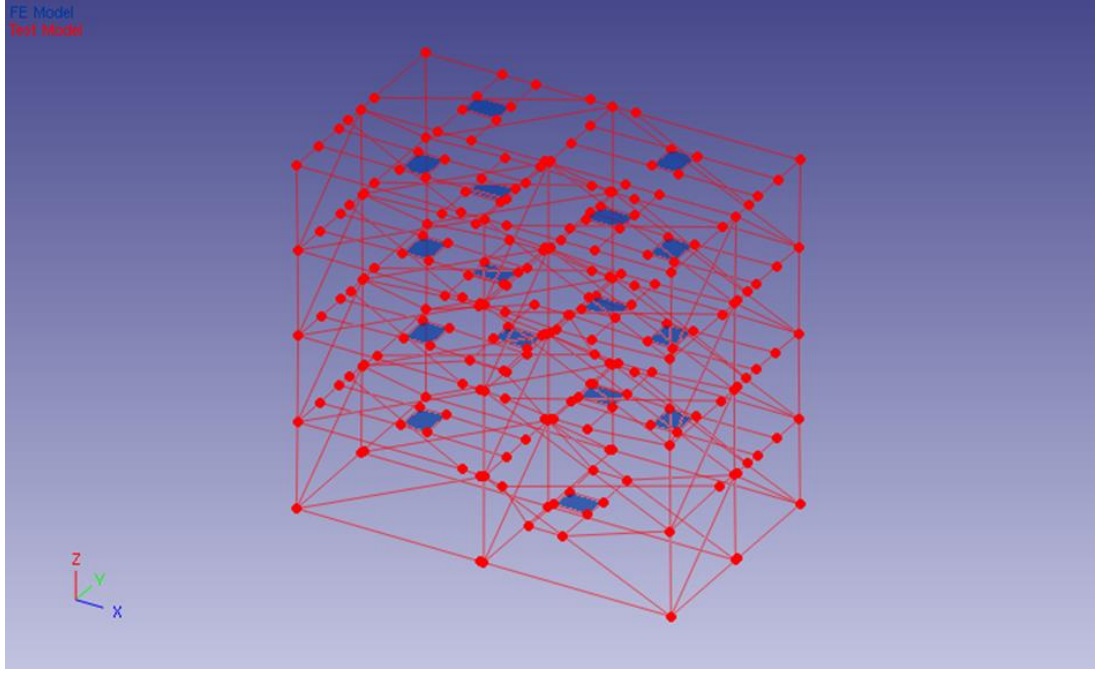
Şekil 4.27. SEM 2.Mod ($f=3.761$ Hz, $T=0.266$ s) - SSI-CVA 2.Mod ($f=3.781$ Hz, $T=0.265$ s, $\zeta=0.02812$)



Şekil 4.28. SEM 3.Mod ($f=3.915$ Hz, $T= 0.255$ s) - SSI-CVA 3.Mod ($f=3.865$ Hz, $T=0.259$ s, $\zeta =0.01337$)



Şekil 4.29. SEM 4.Mod ($f= 4.242$ Hz, $T= 0.236$ s) - SSI-CVA 4.Mod ($f=4.248$ Hz, $T=0.235$ s, $\zeta =0.01083$)



Şekil 4.30. SEM 5.Mod ($f=4.288$ Hz, $T= 0.233$ s) - SSI-CVA 5.Mod ($f=4.329$ Hz, $T=0.231$ s, $\zeta =0.01406$)

4.2. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının İncelenmesi

Kablo elemanların dinamik parametrelere etkisi gözlemlenebilmek amacıyla dikkatli bir şekilde söküm işlemine geçilmelidir. Tüm bu söküm veya iptal edilme işlemi sırasında ivmeölçerler birinci durumda ki (kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumda) gibi sabit bırakılmalıdır. Ortamın kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumda yapılan ölçüm ile aynı olması gerekmekte ve dinamik parametrelere etki edecek farkların sadece kablo elemanlardan oluşması amaçlanmaktadır. Bu nedenle sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik yapının deney ve ölçüm aşamaları benzer şekilde tekrarlanmıştır.

4.2.1. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Deneysel Ölçümlere Hazırlanması

Kablo elemanların sayısı tek tek belirlenerek söküm işlemi diğer elemanlara zarar vermeden yapılmalıdır. Kablo elemanlar gergiler sökülerek iptal edilmelidir. Gergiler birbirine geçmeli olduğundan gres yağı kullanılması parçaların aşınmalarını azaltmak ile birlikte söküm kolaylığı da sağlamaktadır. Söküm işlemleri sırasında herhangi bir kaza yaşanmaması için yapının etrafında güvenlik çemberi oluşturulmalıdır. Söküm yapacak kişi ve kişiler ise son derece dikkatli olmalı ve

güvenlik önlemlerini almalıdır. Tüm bu kablo elemanların sökülmesi işlemi belirtilen kurallara göre yapılmıştır. Kablo elemanların sökülmesi Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Kablo elemanların sökülmesi

Çelik deney yapısı üzerinde 48 adet kablo eleman bulunmaktadır. Kablo elemanlar söküldükten sonra çelik deney yapısı kontrol edilerek diğer taşıyıcı elemanlarla ilgili herhangi bir olumsuz duruma rastlanmamıştır. Bulonlar herhangi bir gevşemeye karşı tork anahtarı ile tekrar kontrol edilmiştir.

4.2.2. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analiz Hazırlıkları

İvmeölçerin yerlerinin ve sismometrenin sabit kaldığından emin olunmuştur. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumdaki aynı düzen ve ortam koşullarında ölçüm işlemi için hazırlıklar tamamlanmıştır. Şekil 4.32’da operasyonel modal analiz için hazırlıkları tamamlanmış çelik deney yapısı verilmiştir.



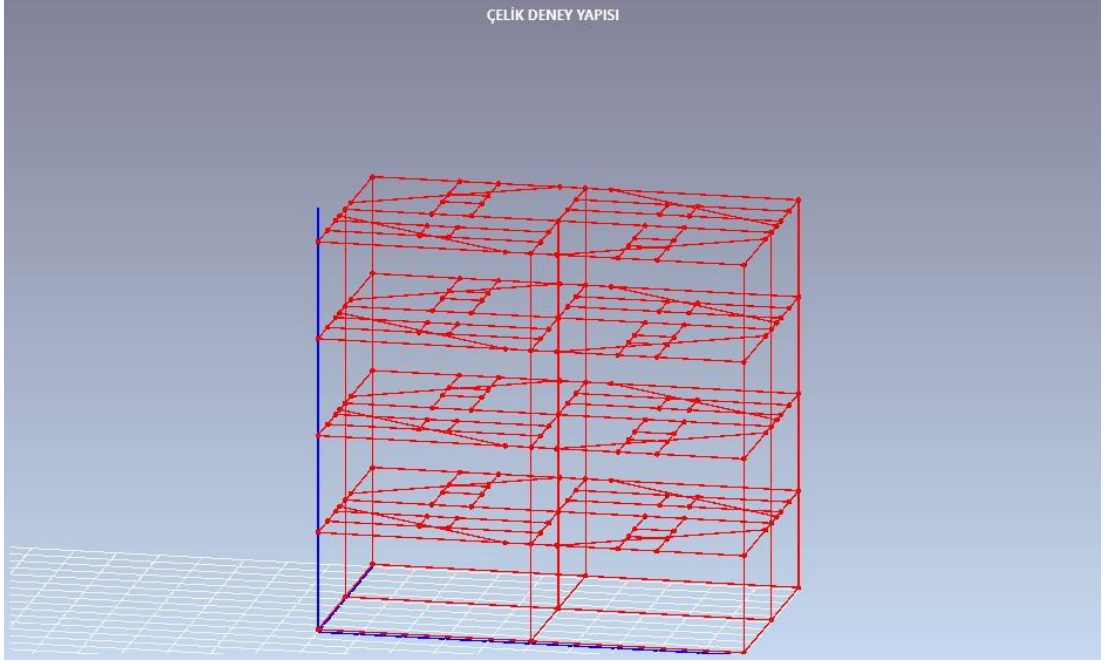
Şekil 4.32. Çelik deney yapısının ölçüme hazır hali

4.2.3. Kablo Elemanlar Sökülmüş Çelik Deney Yapısının Operasyonel Modal Analizi ile Elde Edilen Veriler

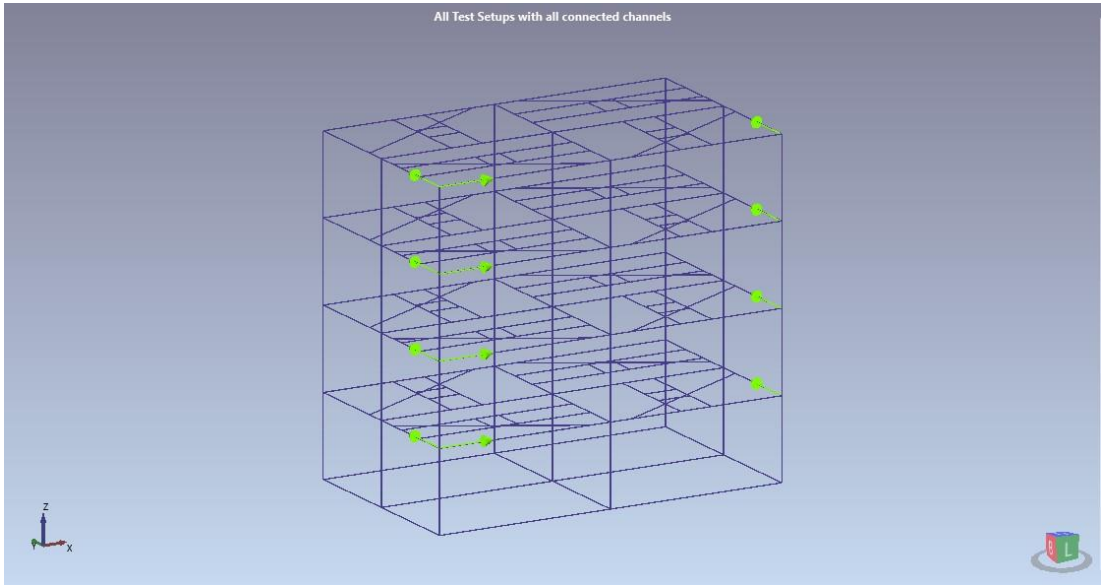
Ölçüm süresi ve ölçüm adımı belirlenirken kablo elemanlar ile güçlendirilmiş durumdaki ölçüm süresi ve ölçüm adımı aynı şekilde olmak üzere ölçüm süresi 600 saniye ve ölçüm adımı 200 Hz kabul edilmiştir.

İvmeölçer yerleşim planında ivmeölçerlerin doğrultuları verilmiştir. Bu doğrultularda ve ölçüm süresinde elde edilen veriler her katta ve her kanalda ayrı olarak şekillerde sunulmuştur. Ölçümler yapılırken beyaz gürültü oluşmamasına dikkat edilmiş ve ölçüm esnasında ölçüm yapılan alanda hiçbir olumsuz etkenin olmamasına dikkat edilmiştir. Ölçüm başlamadan önce alanı terk etme süresi belirlenerek ölçüme başlanma komutu verilip ölçüm esnasında deney düzeneğinin etrafında bulunulmaması ve gürültü oluşturulmaması sağlanmıştır. Deney düzeneği şekillerde de görüldüğü gibi laboratuvar ortamındadır. Bu durum sayesinde daha ideal bir ölçüm sağlanması çabalanmıştır. Sadece ölçüm esnasında değil ölçüm sonrası elde edilen verilerde gözden geçirilerek herhangi bir olumsuz durumda ölçümler yeniden tekrarlanarak güvenilir veriler elde edilmiştir. Veriler Artemis Modal Pro programında işlenmiştir.

Artemis Modal Pro paket programında kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının modellenmiş durumu Şekil 4.33'de, ivmeölçerlerin yerleşim bilgisi Şekil 4.34'de verilmiştir.

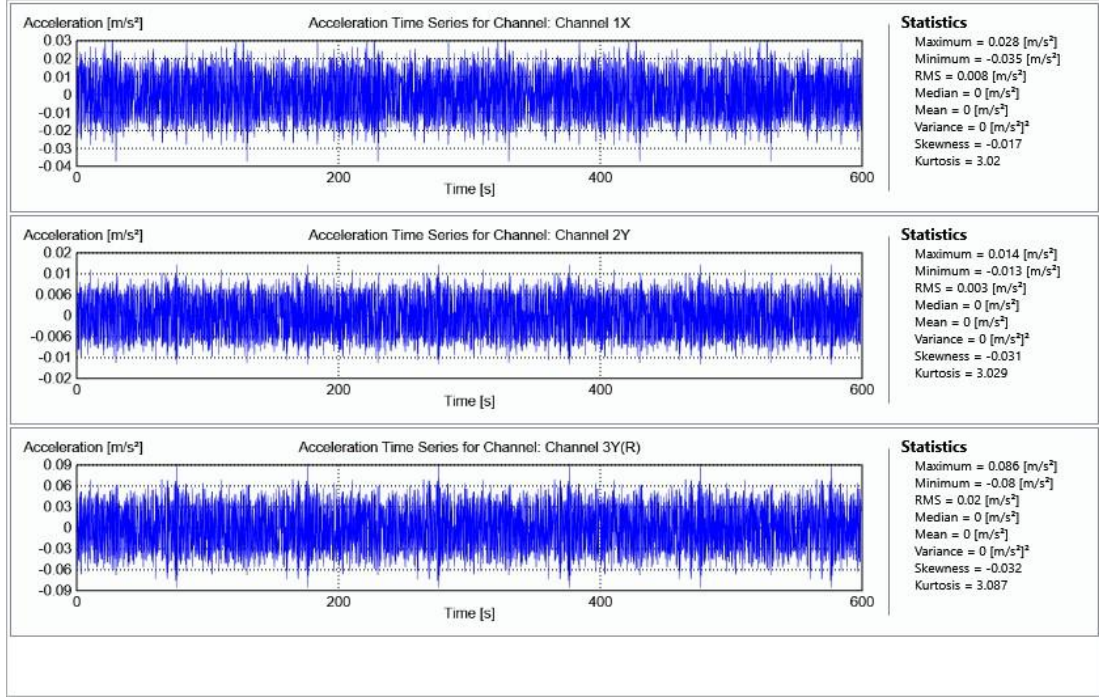


Şekil 4.33. Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının modellenmesi

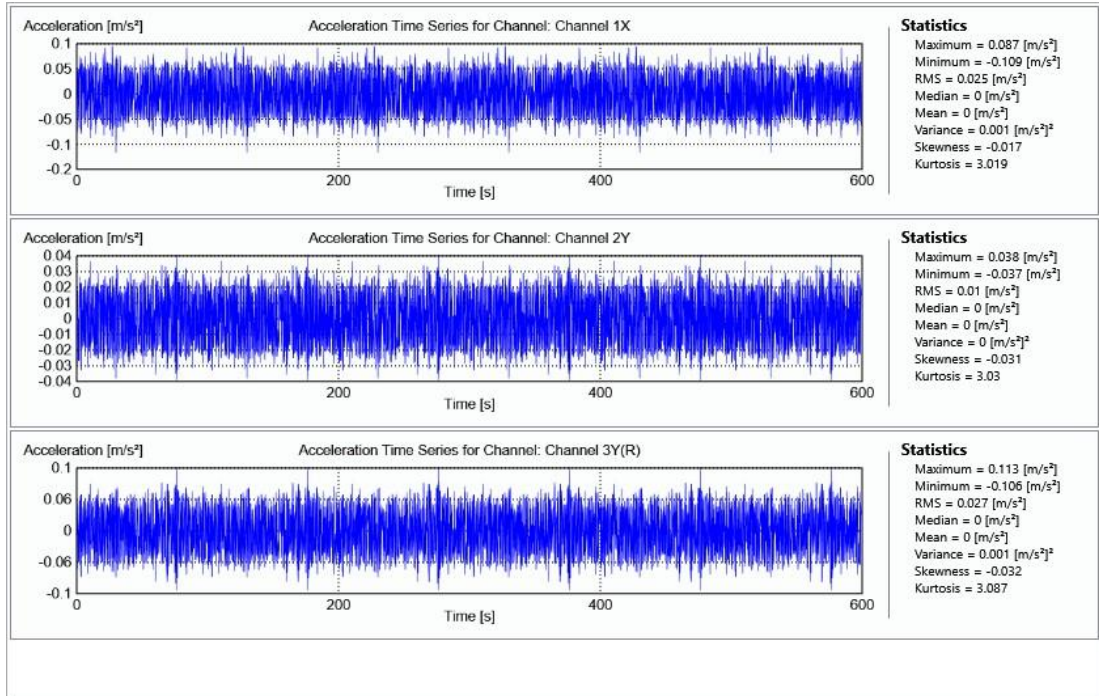


Şekil 4.34. İvmeölçerlerin yerleşim planı

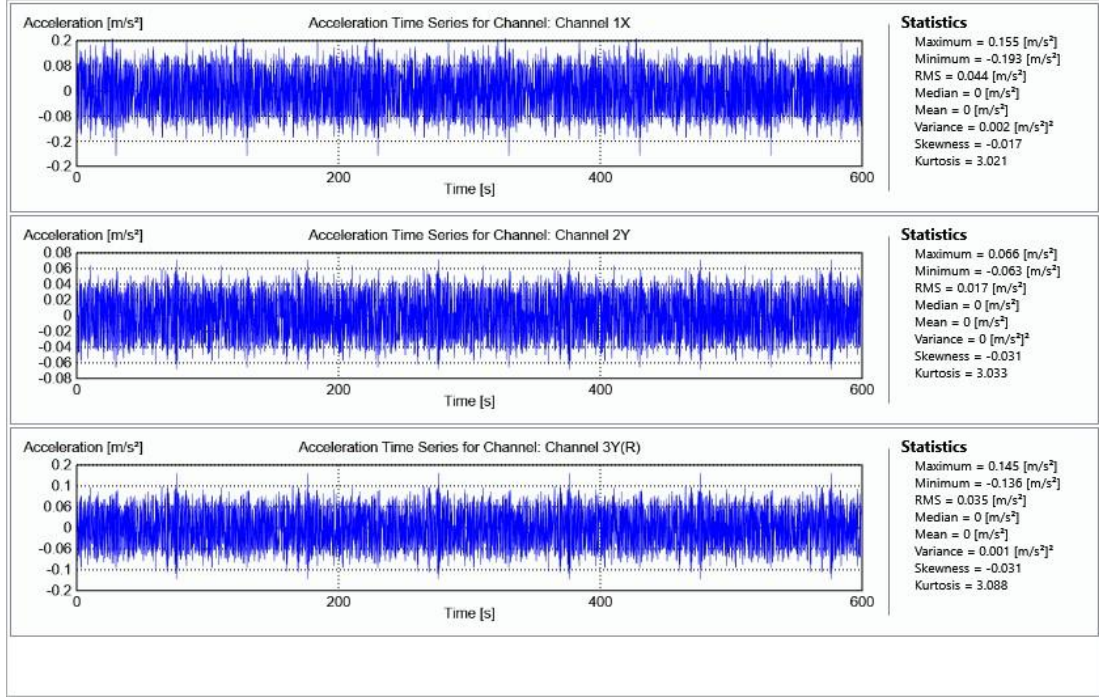
Katlardan alınan ivme değerleri ise Şekil 4.35, 4.36, 4.37, 4.38’de verilmiştir.



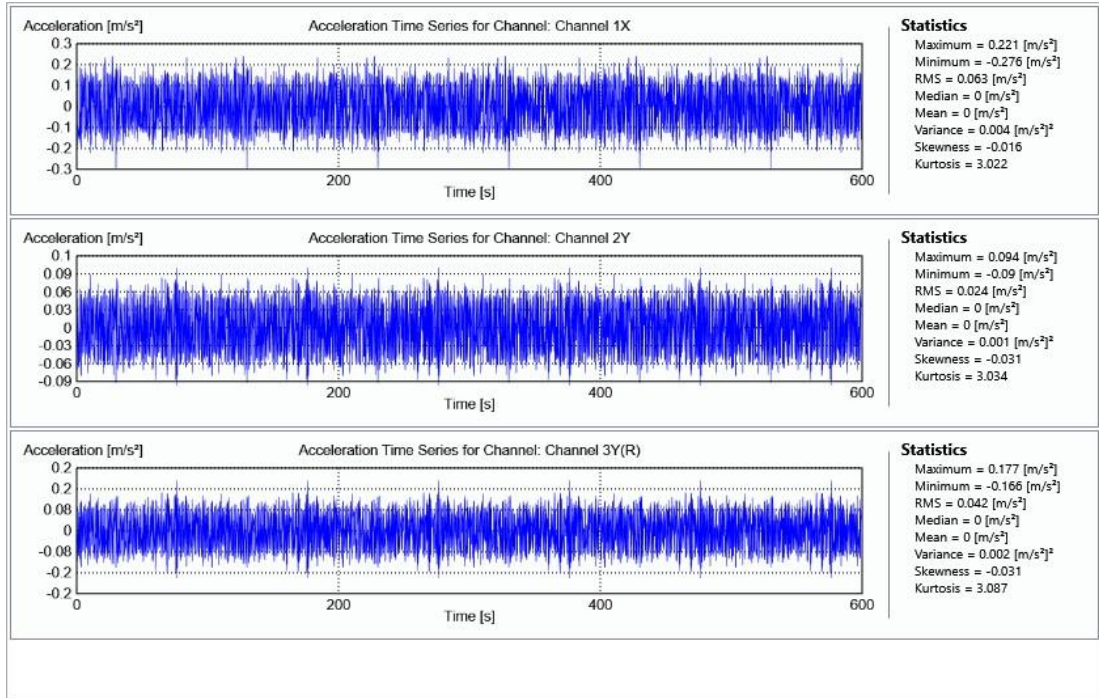
Şekil 4.35. 1. Kattan elde edilen ivme değerleri



Şekil 4.36. 2. Kattan elde edilen ivme değerleri



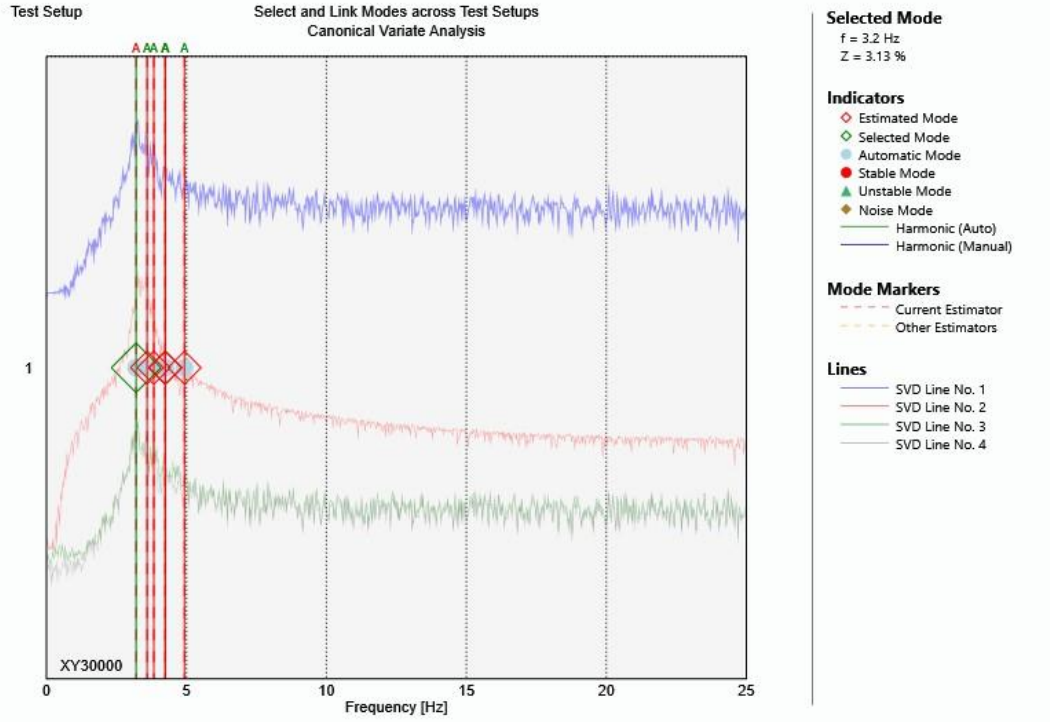
Şekil 4.37. 3. Kattan elde edilen ivme değerleri



Şekil 4.38. 4. Kattan elde edilen ivme değerleri

Veriler Artemis Modal Pro paket programında işlenmiştir. Parametrelerin elde edilmesinde zaman tanım alanında bir yöntem olan SSI-CVA yöntemi kullanılmıştır. Parametrelerde ilk 5 mod dikkate alınmıştır. Veri işlenmesinde Artemis Modal Pro default ayarları kullanılmıştır. Detrend ve filtering işlemi yapılmıştır. Verilerin toplanmasında ve işlenmesinde filtreleme olarak lowpass seçilmiştir.

Spektral yoğunluk grafiği Şekil 4.39’de verilmiştir.



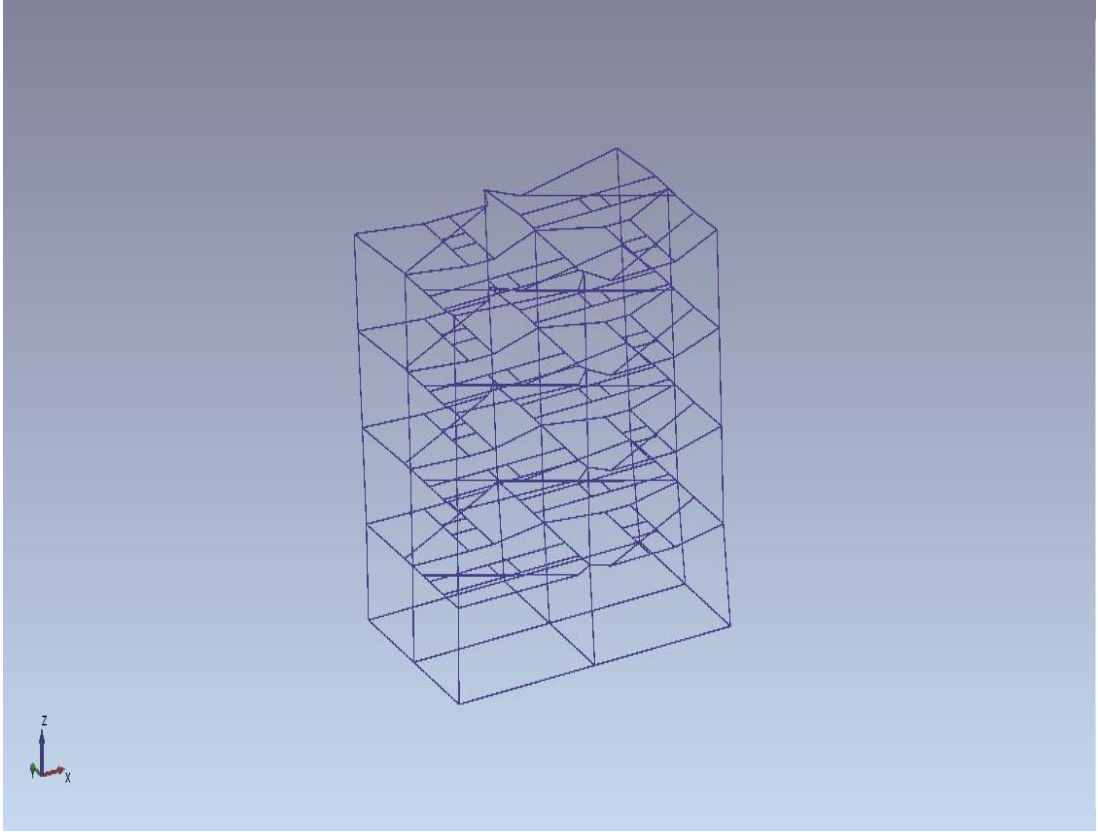
Şekil 4.39. SSI-CVA Spektral yoğunluk grafiği

Artemis Modal Pro paket programı aracılığıyla elde edilen ilk 5 moddaki frekans, periyot ve sönüm değerleri Tablo 4.5’de verilmiştir.

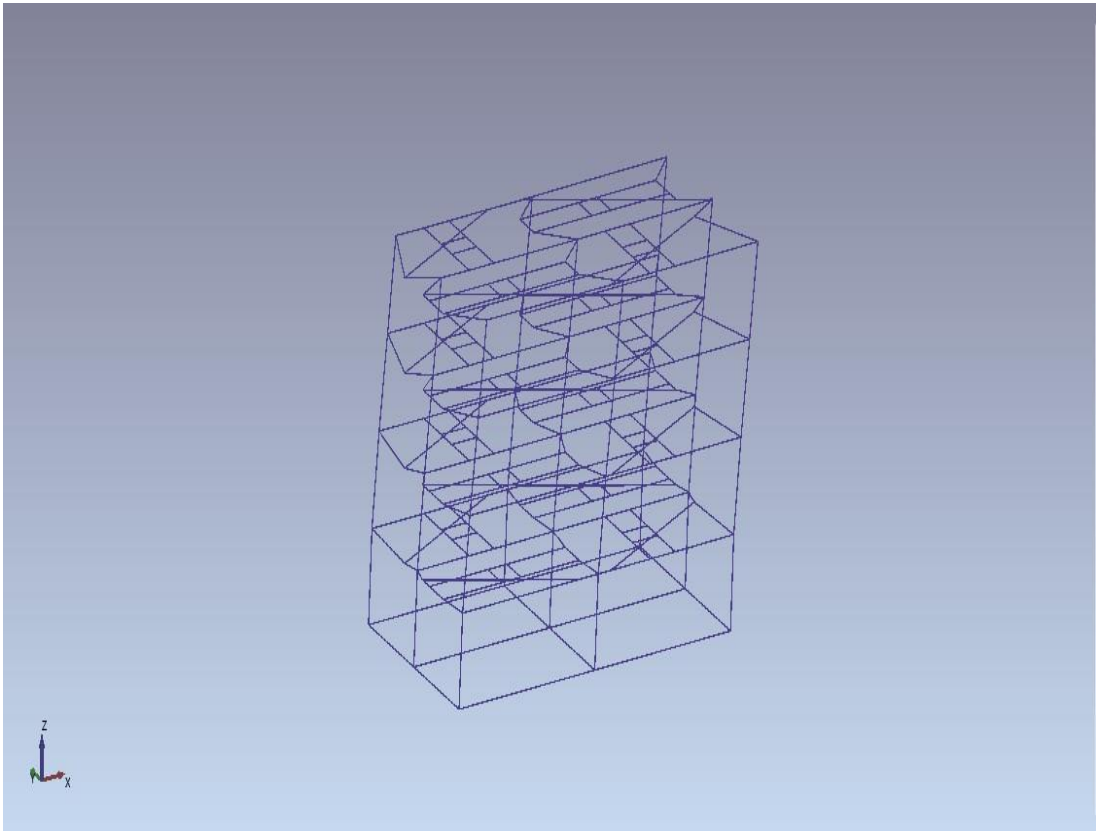
Tablo 4.5. Operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametreler

Mod	1	2	3	4	5
Frekans [Hz]	3.199	3.591	3.831	4.238	4.248
Periyot [s]	0.312	0.279	0.261	0.236	0.235
Sönüm [ξ]	0.03131	0.03188	0.01112	0.01686	0.01735

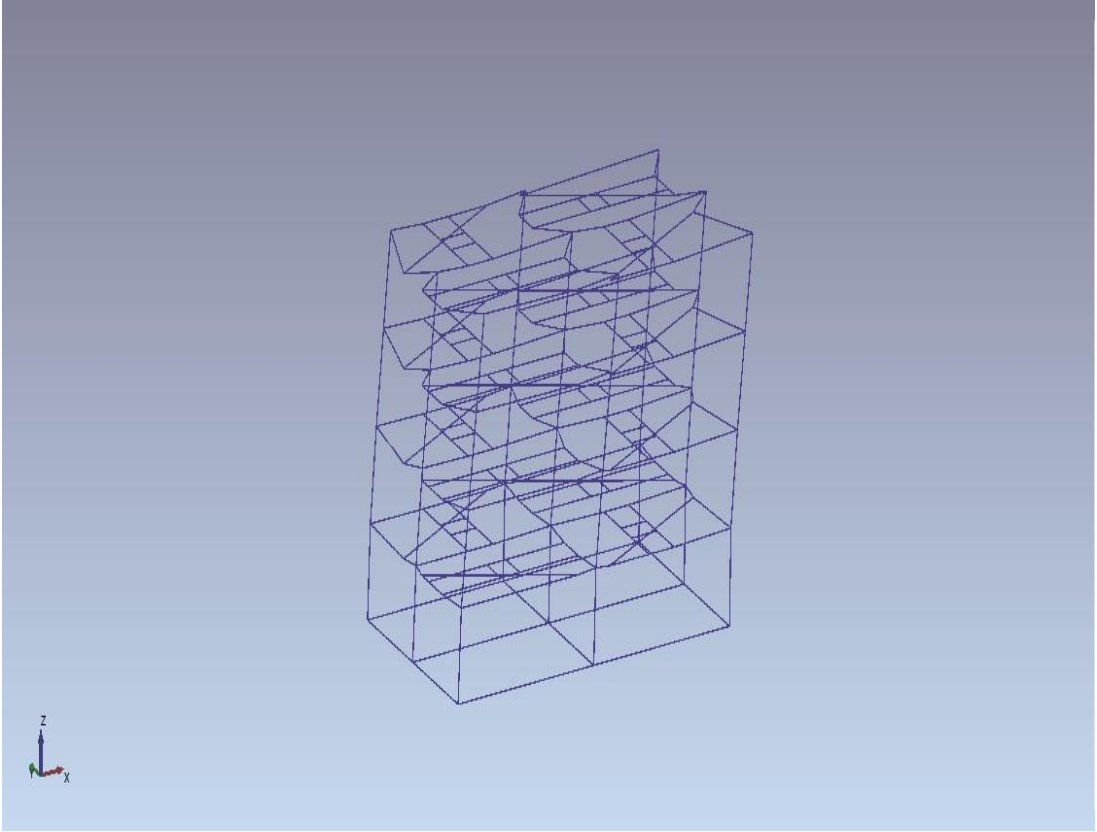
Artemis Modal Pro paket programı aracılığıyla elde edilen ilk 5 mod şekli Şekil 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44’de verilmiştir.



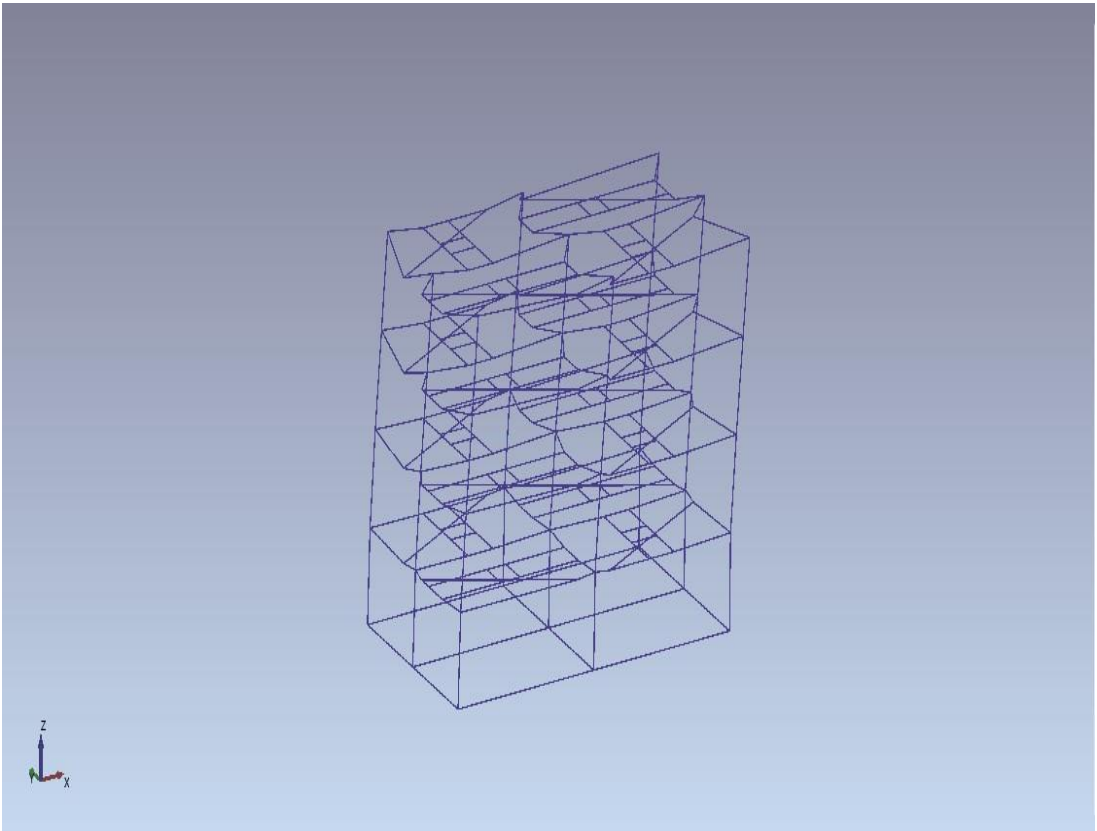
Şekil 4.40. OMA SSI-CVA 1.Mod ($f=3.199$ Hz, $T=0.312$ s, $\zeta=0.03131$)



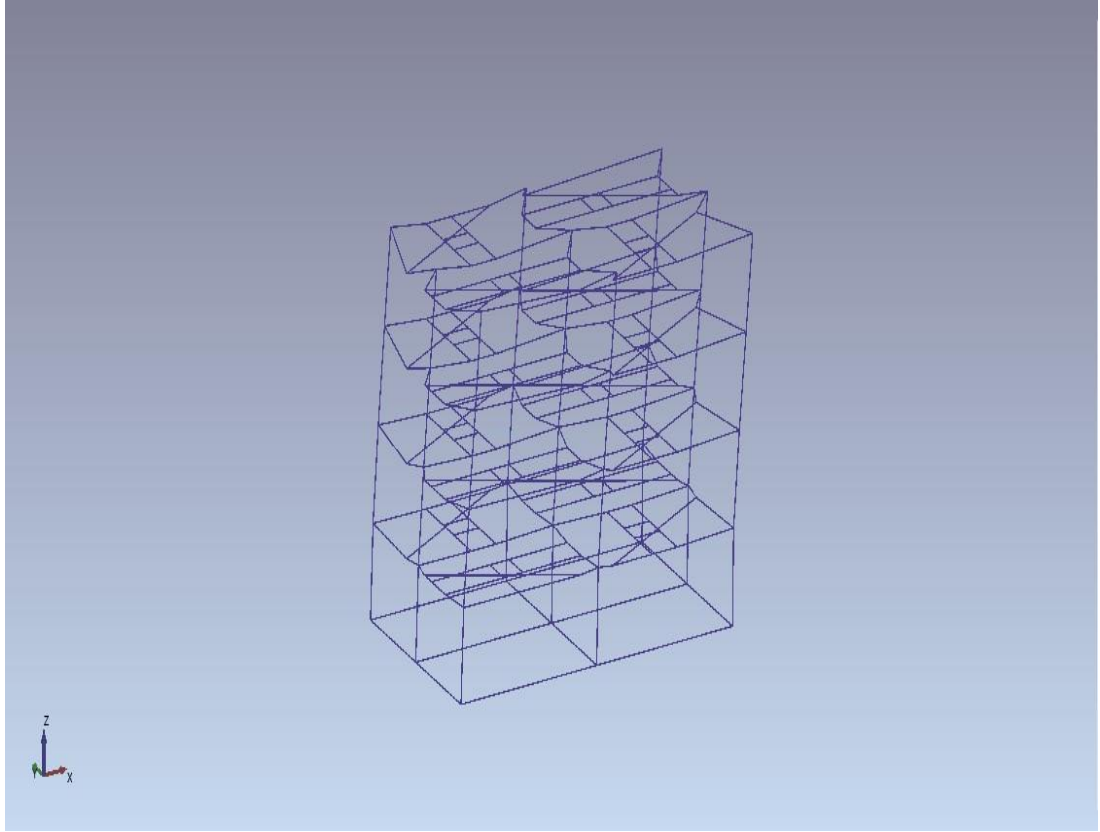
Şekil 4.41. OMA SSI-CVA 2.Mod ($f=3.591$ Hz, $T=0.279$ s, $\zeta=0.03188$)



Şekil 4.42. OMA SSI-CVA 3.Mod ($f=3.831$ Hz, $T=0.261$ s, $\zeta=0.01112$)

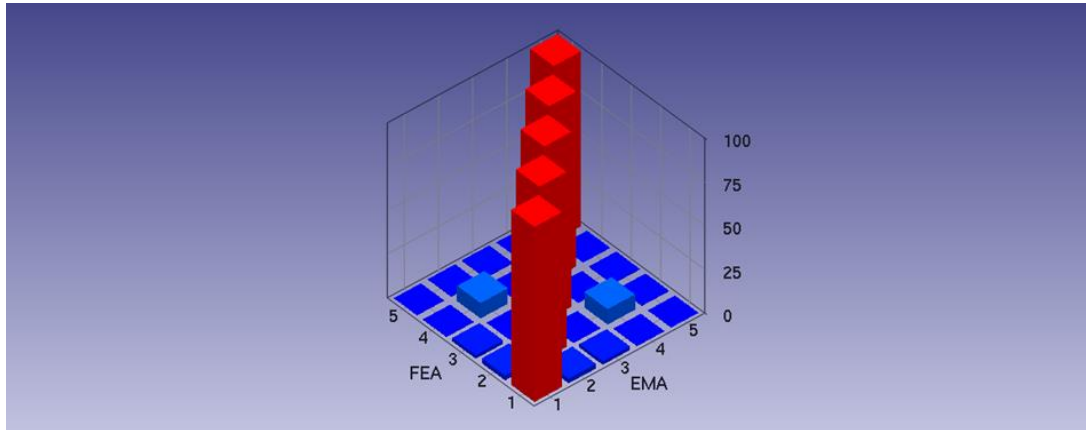


Şekil 4.43. OMA SSI-CVA 4.Mod ($f=4.238$ Hz, $T=0.236$ s, $\zeta=0.01686$)



Şekil 4.44. OMA SSI-CVA 5.Mod ($f=4.248$ Hz, $T=0.235$ s, $\zeta =0.01735$)

Kablo elemanlar sökülmiş çelik deney yapısına ait MGK köşegen matrisi Şekil 4.45’de verilmiştir.

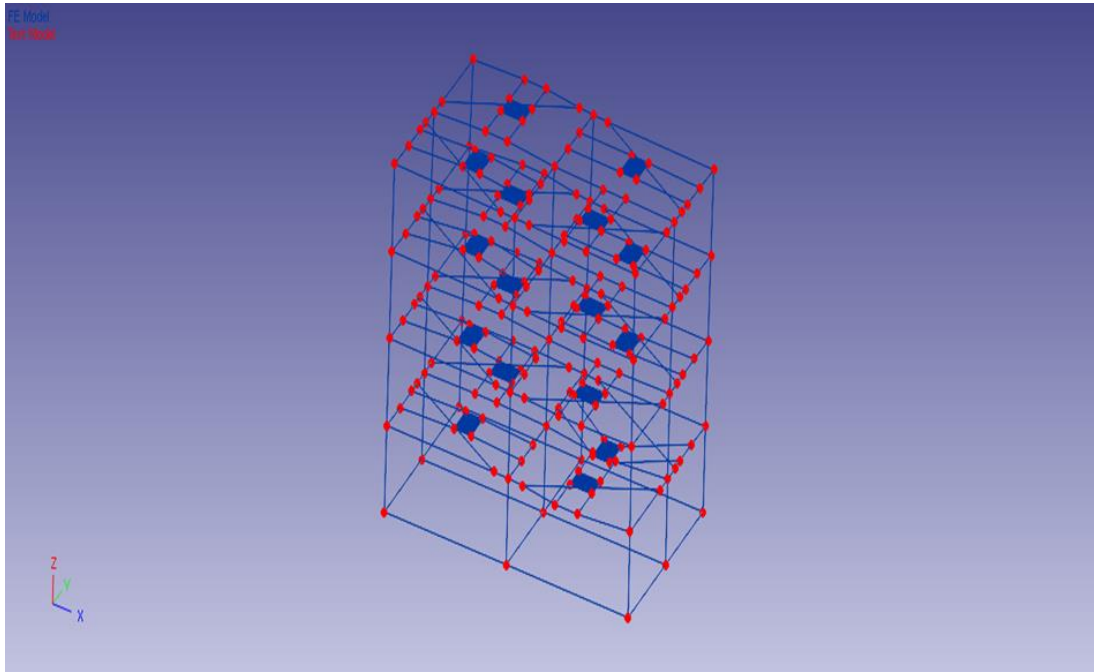


Şekil 4.45. MGK matrisi

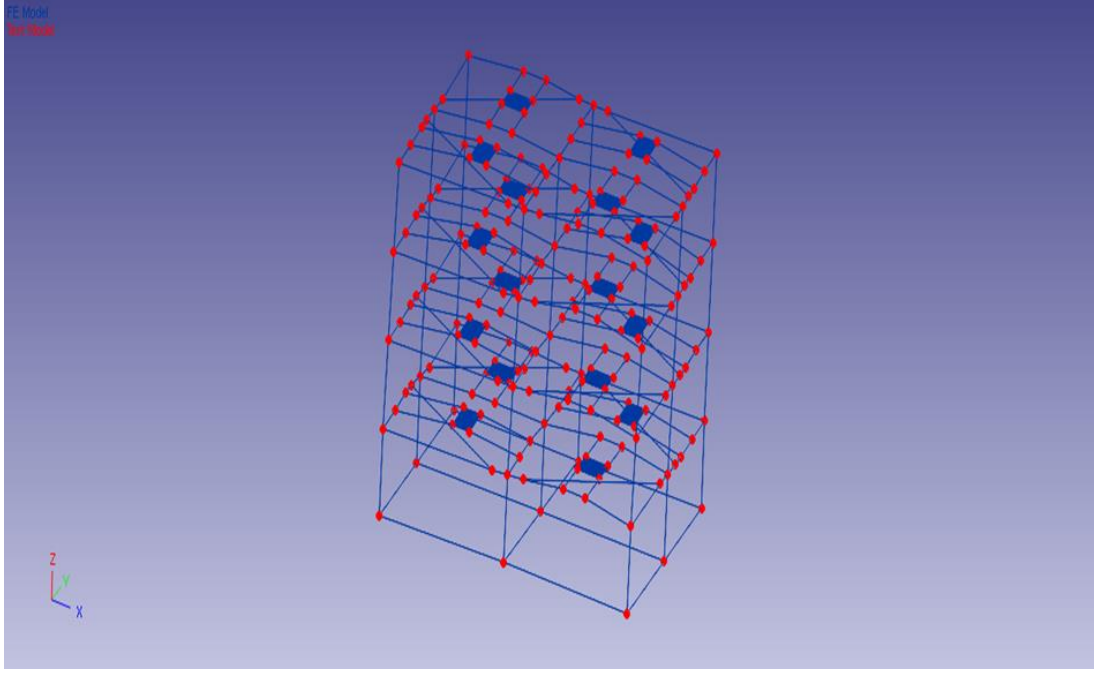
MGK matrisinin sayısal verileri ise;

$$\text{MGK matrisi;} \begin{bmatrix} 1 & 0.027 & 0.02 & 0.003 & 0.001 \\ 0.027 & 1 & 0.001 & 0.088 & 0.003 \\ 0.02 & 0.001 & 1 & 0 & 0.004 \\ 0.003 & 0.088 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.003 & 0.004 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{şeklindedir.}$$

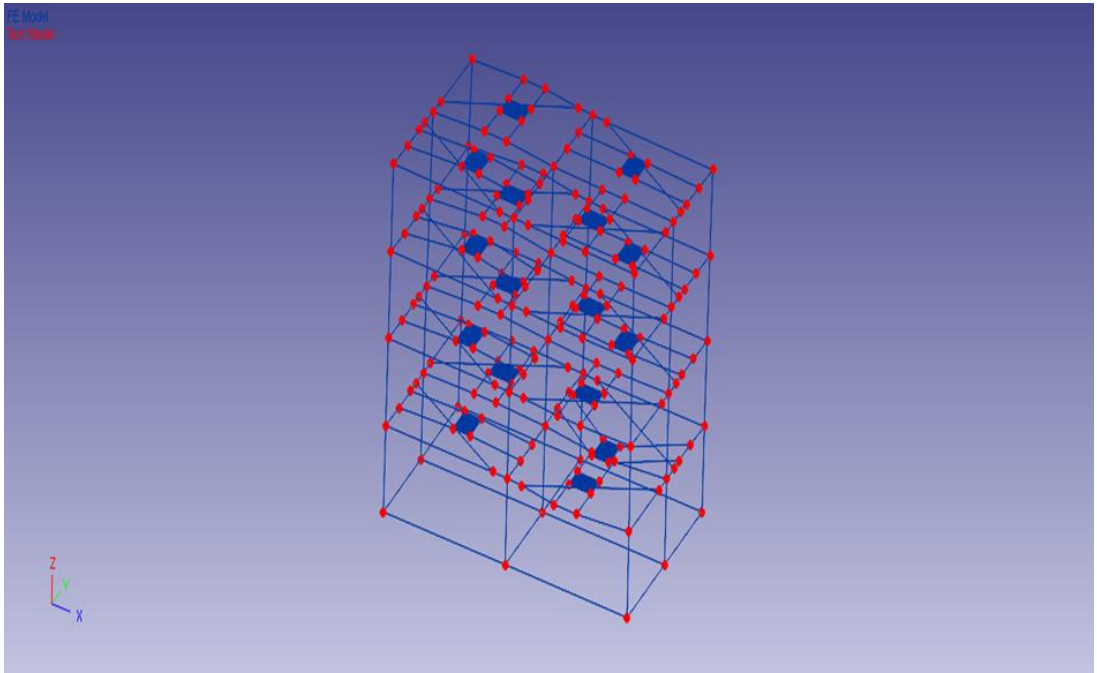
Deneyel mod şekilleri ile sonlu elemanlar mod şekillerinin 1'e 1 çakıştığı Şekil 4.45' de ve MGK matrisinde köşegenlerin 1 olması dolayısıyla görülmektedir. MGK matrisinin bu şekilde çıkmasında ölçümlerin laboratuvar ortamında olmasının ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının projesine uygun olarak sökülmesi ve tekrar tekrar kontrol edilmesinin etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Buradan sonuçla kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analizinin güvenilir bir biçimde gerçekleştirildiği ve sonuçların geçerliliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca ilk 5 moda ait deneyel ve sonlu elemanlar mod şekillerinin eşleştirilmesi frekans, periyot ve sönüm oranları ile birlikte Şekil 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50'da açık bir şekilde görülmektedir.



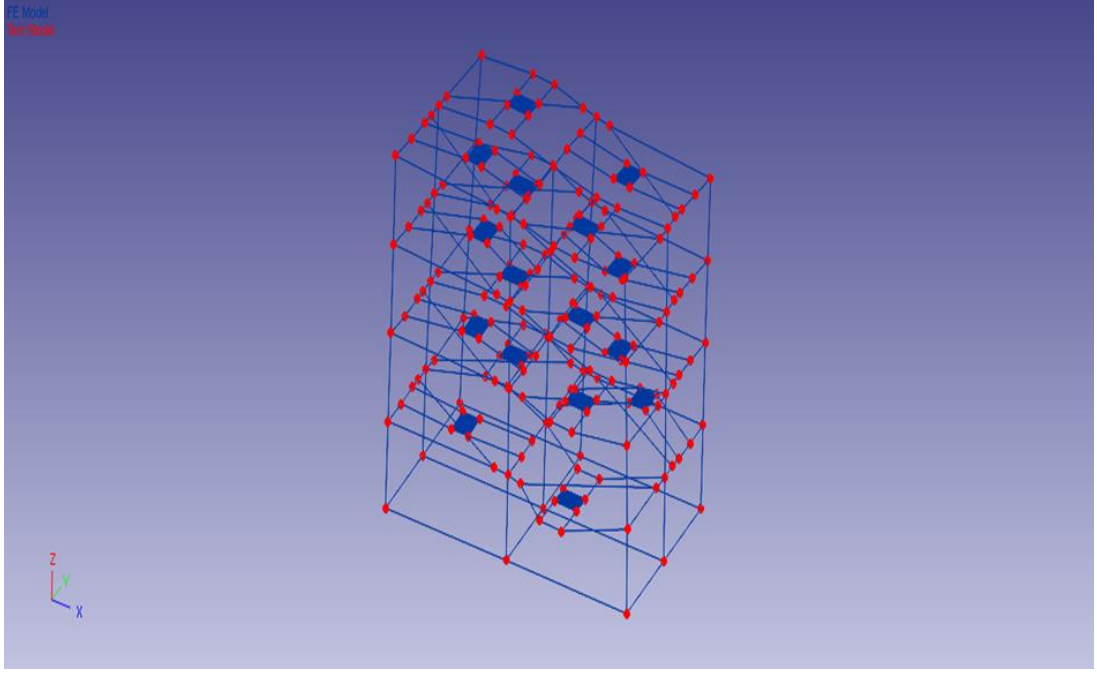
Şekil 4.46. SEM 1.Mod ($f=3.185$ Hz, $T=0.314$ s) - SSI-CVA 1.Mod ($f=3.199$ Hz, $T=0.312$ s, $\zeta=0.03131$)



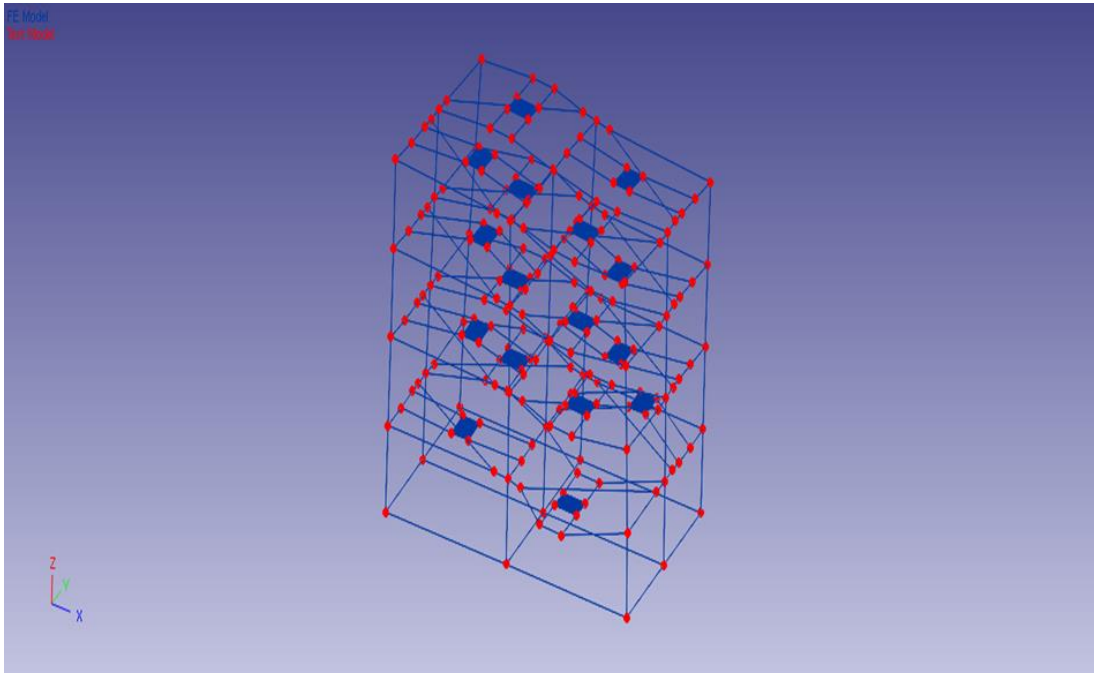
Şekil 4.47. SEM 2.Mod ($f=3.597$ Hz, $T=0.278$ s) - SSI-CVA 2.Mod ($f=3.591$ Hz, $T=0.279$ s, $\zeta=0.03188$)



Şekil 4.48. SEM 3.Mod ($f=3.752$ Hz, $T=0.267$ s) - SSI-CVA 3.Mod ($f=3.831$ Hz, $T=0.261$ s, $\zeta=0.01112$)



Şekil 4.49. SEM 4.Mod ($f=3.793$ Hz, $T=0.264$ s) - SSI-CVA 4.Mod ($f=4.238$ Hz, $T=0.236$ s, $\zeta = 0.01686$)



Şekil 4.50. SEM 5.Mod ($f=4.081$ Hz, $T=0.245$ s) - SSI-CVA 5.Mod ($f=4.248$ Hz, $T=0.235$ s, $\zeta = 0.01735$)

4.3. Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması

Elde edilen bulgulardan bir sonuca ulaşmak için kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametrelerin ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile elde edilen dinamik parametrelerin karşılaştırılması gerekmektedir. Her iki durum için ilk 5 moda ait frekans, periyot, sönüm değerleri ve mod şekilleri ile katlara etkileyen ivme zaman grafikleri elde edilmiştir. Her iki durum için elde edilen bu parametreler ayrı ayrı irdelenerek bir sonuca varılmak amaçlanmaktadır. Böylelikle titiz çalışmalar sonucunda laboratuvar ortamında kablo elemanların dinamik parametrelere etkisi gözler önüne serilmektedir. Sırasıyla;

- Frekans değerlerinin karşılaştırılması
- Periyot değerlerinin karşılaştırılması
- Sönüm değerlerinin karşılaştırılması
- Mod şekillerinin karşılaştırılması

4 ana başlık halinde elde edilen veriler ile birlikte detaylı olarak karşılaştırmalar yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca karşılaştırılan parametrelerin birbiri ile olan etkileşimlerine dikkat edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı için ayrı ayrı frekans ve periyot değerleri ilk 5 mod için elde edilmiştir. Tablo 4.6'da frekans değerlerinin karşılaştırılması, Tablo 4.7'de ise periyot değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4.6. Frekans değerlerinin karşılaştırılması

Mod	1	2	3	4	5
G-Frekans [Hz]	3.494	3.781	3.865	4.248	4.329
M-Frekans [Hz]	3.199	3.591	3.831	4.238	4.248
Fark [Hz]	0.295	0.190	0.034	0.010	0.081
Fark [%]	8.44	5.03	0.88	0.24	1.87

G-Frekans [Hz]: Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı frekans değeri

M-Frekans [Hz]: Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri

1. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının frekans değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri arasındaki fark

karşılaştırmalar sonucunda 0.295 Hz olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %8.44 azalış olarak tespit edilmiştir.

2. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı frekans değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda 0.190 Hz olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %5.03 azalış olarak tespit edilmiştir.

3. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı frekans değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda 0.034 Hz olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %0.88 azalış olarak tespit edilmiştir.

4. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı frekans değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda 0.010 Hz olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %0.24 azalış olarak tespit edilmiştir.

5. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı frekans değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı frekans değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda 0.081 Hz olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %1.87 azalış olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.7. Periyot değerlerinin karşılaştırılması

Mod	1	2	3	4	5
G-Periyot [s]	0.286	0.265	0.259	0.235	0.231
M-Periyot [s]	0.312	0.279	0.261	0.236	0.235
Fark [s]	-0.026	-0.014	-0.002	-0.001	-0.004
Fark [%]	8.33	5.02	0.77	0.42	1.70

G-Periyot [s]: Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı periyot değeri

M-Periyot [s]: Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri

Tablo 4.7'deki periyot değerleri $1/f$ formülü ile hesaplanmıştır.

1. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının periyot değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.026 s olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %8.33 artış olarak tespit edilmiştir.

2. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının periyot değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.014 s olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %5.02 artış olarak tespit edilmiştir.

3. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının periyot değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.002 s olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %0.77 artış olarak tespit edilmiştir.

4. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının periyot değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.001 s olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %0.42 artış olarak tespit edilmiştir.

5. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının periyot değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı periyot değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.004 s olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %1.70 artış olarak tespit edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı için sönüm değerleri ilk 5 mod için elde edilmiştir. Tablo 4.8'de sönüm değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 4.8. Sönüm değerlerinin karşılaştırılması

Mod	1	2	3	4	5
G-Sönüm [ξ]	0.01843	0.02812	0.01337	0.01083	0.01406
M-Sönüm [ξ]	0.03131	0.03188	0.01112	0.01686	0.01735
Fark [ξ]	-0.01288	-0,00376	0.00225	-0.00603	-0.00329
Fark [%]	41.14	11.79	16.83	35.77	18.96

G-Sönüm [ξ]: Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı sönüm değeri

M-Sönüm [ξ]: Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri

1. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının sönüm değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.01288 olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise %41.14 artış olarak tespit edilmiştir.

2. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının sönüm değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0,00376 olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise % 11.79 artış olarak tespit edilmiştir.

3. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının sönüm değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda 0.00225 olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise % 16.83 azalış olarak tespit edilmiştir.

4. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının sönüm değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.00603 olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise % 35.77 artış olarak tespit edilmiştir.

5. Modda kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının sönüm değeri ile kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı sönüm değeri arasındaki fark karşılaştırmalar sonucunda -0.00329 olarak bulunmuştur. Farkın yüzde olarak değeri ise % 18.96 artış olarak tespit edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısı için mod şekilleri ilk 5 mod için elde edilmiştir. Mod şekilleri incelendiğinde kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısında X ve Y öteleme mod şekilleri ile birlikte burulma mod şekilleri de görülmüştür. 1. Modda Y doğrultusunda öteleme, 2. Modda X doğrultusunda öteleme, 3. Mod şeklinde ise burulma açıkça görülmektedir. 4. ve 5. Modlarda öteleme ile birlikte burulma görülmektedir. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısında ise mod şekillerinde öteleme yerine burulma görülmektedir. Özellikle 1. Ve 2. Mod şekillerinde büyük ötelemeler yerini burulmaya bırakmıştır. Çelik deney yapısının tek yönde büyük yer değiştirmeler yerine kablo elemanlar ile güçlendirmesiyle birlikte her doğrultuda birbirine yakın, daha düzenli ve dengeli bir biçimde yer değiştirmelere rastlanmıştır. Ayrıca dikkatli incelendiğinde kablo elemanlar ile güçlendirmede düğüm noktalarındaki burulmalar dikkat çekmektedir. Kablo elemanlar sökülerek iptal edildiğinde ise düğüm noktalarındaki burulmaların azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte düğüm noktaları tek bir doğrultuda daha fazla hareket ettiği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çelik yapıların kablo elemanlarla güçlendirilmesinin yapı dinamik parametrelerine etkileri operasyonel modal analiz yöntemi iki ayrı deney modeli oluşturularak ortaya çıkarılmıştır. Bu dinamik parametreler ise doğal frekans, periyot, sönüm oranları ve mod şekillerinden oluşmaktadır. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ile kablo elemanları sökülmüş çelik deney yapısının ilk 5 moda doğal frekans, periyot, sönüm oranları ve mod şekilleri her iki modelde de birbirinden bağımsız olarak elde edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden frekans değerleri;

- 1.Mod için frekans değeri 3.494 Hz
- 2.Mod için frekans değeri 3.781 Hz
- 3.Mod için frekans değeri 3.865 Hz
- 4.Mod için frekans değeri 4.248 Hz
- 5.Mod için frekans değeri 4.329 Hz

Olarak elde edilmiştir. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının hâkim frekansı 3.494 Hz olarak tespit edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden periyot değerleri;

- 1.Mod için periyot değeri 0.286 s
- 2.Mod için periyot değeri 0.265 s
- 3.Mod için periyot değeri 0.259 s
- 4.Mod için periyot değeri 0.235 s
- 5.Mod için periyot değeri 0.231 s

Olarak elde edilmiştir. Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının hâkim periyodu 0.286 s olarak tespit edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden sönüm değerleri;

- 1.Mod için sönüm değeri 0.01843, sönüm oranı ise % 1.84

- 2.Mod için sönüm değeri 0.02812, sönüm oranı ise % 2.81
- 3.Mod için sönüm değeri 0.01337, sönüm oranı ise % 1.34
- 4.Mod için sönüm değeri 0.01083, sönüm oranı ise % 1.08
- 5.Mod için sönüm değeri 0.01406, sönüm oranı ise % 1.41

Olarak elde edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden mod şekilleri incelendiğinde;

- 1.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma
- 2.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma
- 3.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma
- 4.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma
- 5.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma

Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden frekans değerleri;

- 1.Mod için frekans değeri 3.199 Hz
- 2.Mod için frekans değeri 3.591 Hz
- 3.Mod için frekans değeri 3.831 Hz
- 4.Mod için frekans değeri 4.238 Hz
- 5.Mod için frekans değeri 4.248 Hz

Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden periyot değerleri;

- 1.Mod için periyot değeri 0.312 s
- 2.Mod için periyot değeri 0.279 s
- 3.Mod için periyot değeri 0.261 s
- 4.Mod için periyot değeri 0.236 s
- 5.Mod için periyot değeri 0.235 s

Kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden sönüm değerleri;

- 1.Mod için sönüm değeri 0.03131, sönüm oranı ise % 3.13

- 2.Mod için sönüm değeri 0.03188, sönüm oranı ise % 3.19
- 3.Mod için sönüm değeri 0.01112, sönüm oranı ise % 1.11
- 4.Mod için sönüm değeri 0.01686, sönüm oranı ise % 1.69
- 5.Mod için sönüm değeri 0.01735, sönüm oranı ise % 1.74

Kablo elemanlar ile sökülmüş çelik deney yapısının operasyonel modal analiz ile ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametrelerinden mod şekilleri incelendiğinde;

- 1.Mod için mod şekli incelendiğinde Y doğrultusunda ötelenme
- 2.Mod için mod şekli incelendiğinde X doğrultusunda ötelenme
- 3.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma
- 4.Mod için mod şekli incelendiğinde Y doğrultusunda ötelenme
- 5.Mod için mod şekli incelendiğinde burulma

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının ilk 5 mod için elde edilen dinamik parametreleri kablo elemanların etkisini ortaya çıkartmak amacıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen frekans verilerinin karşılaştırması sonucunda;

- 1.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.295 Hz olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 8.44 olarak tespit edilmiştir.
- 2.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.190 Hz olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 5.03 olarak tespit edilmiştir.
- 3.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.034 Hz olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 0.88 olarak tespit edilmiştir.
- 4.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.010 Hz olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 0.24 olarak tespit edilmiştir.
- 5.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.081 Hz olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 1.87 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen periyot verilerinin karşılaştırması sonucunda;

- 1.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.026 s olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 8.33 olarak tespit edilmiştir.
- 2.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.014 s olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 5.02 olarak tespit edilmiştir.
- 3.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.002 s olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 0.77 olarak tespit edilmiştir.

- 4.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.001 s olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 0.42 olarak tespit edilmiştir.
- 5.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.004 s olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 1.70 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen sönüm verilerinin karşılaştırması sonucunda;

- 1.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.01288 olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 41.14 olarak tespit edilmiştir.
- 2.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0,00376 olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 11.79 olarak tespit edilmiştir.
- 3.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark 0.00225 olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 16.83 olarak tespit edilmiştir.
- 4.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.00603 olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 35.77 olarak tespit edilmiştir.
- 5.Modlar için kablo elemanların sökülmesi ile birlikte oluşan fark -0.00329 olduğu gözlemlenmiştir. Bu fark ise % 18.96 olarak tespit edilmiştir.

Kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısı ve kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısının mod şekilleri genel olarak incelendiğinde kablo elemanlar ile güçlendirilmiş çelik deney yapısında kablo elemanlar sökülmüş çelik deney yapısına kıyasla ötelenme mod şekilleri yerini burulma mod şekillerine bırakmıştır. Kablo elemanların eklenmesi ile tek yönde büyük yer değiştirmeler yerine daha dengeli ve küçük olarak diğer yönlerde de yer değiştirmeler görülmüştür. Buradan sonuçla kablo elemanların çelik deney yapısı üzerine gelen yatay yüklerin dengeli dağılmasında olumlu bir rol oynadığı açıkça görülmektedir.

Çelik deney yapısında kablo elemanların hâkim periyoda etkisi %8.33 olarak elde edilmiştir. Buradan sonuçla kablo elemanlarla güçlendirmenin yapı periyodunu düşürmesine etki etmesiyle birlikte yapının rijitliğinin arttığı söylenebilir.

Çelik deney yapısında kablo elemanların hâkim frekansa etkisi %8.44 olarak elde edilmiştir. Buradan sonuçla kablo elemanlarla güçlendirmenin çelik deney yapısını rezonans durumundan uzaklaştırarak daha emniyetli bir duruma gelmesini sağladığı görülmüştür.

Çelik deney yapısının kablo elemanlarla güçlendirilmesi ile sönüm oranının azaldığı görülmektedir. Bu durumda yapı rijitliğinin arttığını göstermektedir. Ayrıca

Rayleigh sönüm oranına göre tüm modlarda yapı türüne göre ortak bir sönüm kabul edilir. Fakat bu durumun gerçeği birebir yansıtması beklenemez. Bu çalışmada sönüm oranları deneysel olarak elde edilmiştir. Çelik yapılarda sönüm oranı %2 olarak kabul edildiği bilinmektedir. Kabul edilen bu oranın deneysel olarak elde edilen sönüm oranlarıyla birebir örtüşmediği görülmektedir. Ayrıca her bir modda ve durumda farklı deneysel sönüm oranları elde edilmiştir. Sonuç olarak deneysel sönüm oranlarının mevcut yapıyı çok daha doğru şekilde temsil ettiği anlaşılmaktadır.

Elde edilen olumlu sonuçlar ile birlikte kablo elemanların hem hafifliği hem de uygulama pratikliği ve maliyeti dikkat çekmektedir. Yapılarda güçlendirme yapılırken yapının kütesine ek kütle diğer bir deyişle ölü yük ekleneceği aşıkardır. Özellikle ağır malzemelerle güçlendirme yapılması sonucunda ortaya bazen olumsuz sonuçların çıkmasıyla birlikte güçlendirmenin amacından çıkacağı bilinmektedir. Yapının daha güvenli bir duruma getirilmesi amaçlanırken mevcut yapı daha güvensiz bir duruma gelebilir. Bu nedenle çelik yapılarda da güçlendirme yapılırken daha hafif malzeme ile daha çok olumlu sonuçlar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Güçlendirme yöntemi belirlenirken bir diğer dikkat edilen durumlar ise uygulama kolaylığı ve maliyet olduğu bilinmektedir. Kablo elemanların ise tüm bu amaçları da yerine getirebildiği bu çalışmanın sonucunda söylenebilir. Kablo elemanlar gerek uygulama kolaylığı gerek hafifliği ve gerekse maliyet açısından da ele alındığında çelik yapı sistemlerinde dinamik etkilere karşı başarı ile kullanılabilir.

Tüm bu bulgular ışığında çelik deney yapısının kablo elemanlar ile güçlendirilmesi ile çelik deney yapısı dinamik etkilere karşı daha güvenli hale geldiği laboratuvar ortamında elde edilen tüm bu veriler ile birlikte açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ackerson, G.A., and Fu, K.S., (1970). On State Estimation in Switching Environments. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-15; 10-17.
- Alengrin, G., and Zerubia, S., (1987). A Method to Estimate the Parameters of an ARMA Model. *IEEE Transactions on Automatic Control*. AC-32, 12, 1113-1116.
- Andersen P., Brincker R., Goursat M., Mevel L. (2007). "Automated Modal Parameter Estimation for Operational Modal Analysis of Large Systems". *First International Operational Modal Analysis Conference IOMAC*, Copenhagen, Denmark, 10p.
- Azenha, M., Magalhães, F., Faria, R., Cunha, A., (2010). *Measurement of concrete E-modulus evolution since casting*. A novel method based on ambient vibration
- Bar-Shalom, Y., Li, X.R., (1993). *Estimation and Tracking Principles, Techniques, and Software*. Artech House, Inc., Londra.
- Bartoli, G., Betti, M., Giordano, S., (2013). *In situ static and dynamic investigations on the "Torre Grossa" masonry tower*
- Berman, A., (1979). Mass Matrix Correction Using an Incomplete Set of Measured Modes. *AIAA Journal*, 17(1), 1147-1148.
- Berman, A., (1984). "System Identification of Structural Dynamic Models -Theoretical and Practical Bounds". *AIAA conference paper 84-0929*, pp. 123-129
- Brownjohn J., and Carden P. (2007). "Reliability of Frequency and Damping Estimates from Free Vibration Response". *First International Operational Modal Analysis Conference IOMAC*, Copenhagen, Denmark, 8p.
- Chai, H., and Acernley, P.P., (1992). Induction Motor Parameter Estimation Algorithm Using Spectral Analysis. *IEE Proceedings-B*. 139, 3, 165-174.
- Choi, S., Park, S., Hyun, C., Choi, K. (2010). Modal parameter identification of a containment using ambient vibration measurements. *Nuclear Engineering and Design*, 240(3), 453-460.
- Chung, H.Y., and Sun, Y.Y., (1988). Analysis and Parameter Estimation of Nonlinear Systems with Hammerstein Model Using Taylor Series Approach. *IEEE Transaction on Circuits and Systems*. 35,12, 1539–1542.
- Cunha, A., and Catano E., (2005). "From input-output to output-only modal identification of civil engineering structures". *1st International Operational Modal Analysis Conference*, p. 11-29, Copenhagen, Denmark.
- D'Ambrisi, A., Mariani, V., Mezzi, M., (2012). Seismic assessment of a historical masonry tower with nonlinear static and dynamic analyses tuned on ambient vibration tests. *Engineering Structures*, 36, 210–219
- Darouach, M., (1992). Boutayeb, M., Recursive State and Parameter Estimation of SISO Singular Systems. *IEE Proceedinas-D*. 139, 2, 204-206.
- Darouach, M., and Bassong, A., (1991). Recursive State Estimation for Linear Dynamic Systems Under Algebraic Constraints. *Electronics Letters*. 27, 10, 803-804.
- De Kock, J.A., V.der Merwe, F.S., Vermeulen, H.J., (1994). Induction Motor Parameter Estimation Through an Output Error Technique. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 9,1, 69–76.
- Doubling, S.W., Farrar, C.R., (1997). Using statistical analysis to enhance modal-base damage identification. *Proceeding of DAMAS 97*, Sheffield, UK, 199-210.

- Elramsisi, A.M., Zohdy, M.A., Loh N.K., (1991). A Joint Frequency-Position Domain Structure Identification of Nonlinear Discrete-Time Systems by Neural Networks. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 36,5, 629-635.
- Ercan, E., and Nuhoglu A., (2014). *Identification of historical veziragasi aqueduct using the operational modal analysis*
- Fagin, S.L., (1964). Recursive Linear Regression Theory, Optimal Filter Theory and Error Analysis Optimal System. *IEEE Int. Convention Record*, Vol. 16; 216-240.
- Farrar, C.R., and Doebling, S.W., (1997). “Cornwell, P. J. and E. G. Straser ‘Variability of modal parameters measured on the Alamosa Canyon Bridge’”. *Proc. 15th International Modal Analysis Conference*, Orlando, FL.
- Farrell, J.A., and Barth, M., (1999). *The Global Positioning System & Inertial Navigation*, McGraw-Hill, USA.
- Fitzgerald, R.J., (1971). Divergence of the Kalman Filter. *IEEE Trans. Auto. Control*, Vol. AC-16; 736-747.
- Friswell, M.I., (1989). The adjustment of structural parameters using a minimum variance estimator, *Journal of mechanical systems and signal processing*, 3(2), s. 143-155.
- Friswell, M.I., (1990). Candidate Reduced Order Models for Structural Parameter Estimation. *Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics*, 112(1), 93-97.
- Foti, D., and Diaferio, M., Giannoccaro, N., Mongelli, M., (2012). Candidate Reduced Order Models for Structural Parameter Estimation. *Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics*, 112(1), 93-97.
- Gentile, C. and Saisi, A. (2007). Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment
- Giraldo, D.F., (2006). A Structural Health Monitoring Framework for Civil Structures, Ph.D. Thesis, Washington University the Henry Edwin Server Graduate School Department of Civil Engineering, 167 p.
- Grewal, S.G., Weill, L.R., Andrews, P.A., (2001). *Global Positioning systems, Inertial Navigation and Integration*, John Wiley & Sons, USA.
- Günday.F., (2018). OMA of RC Industrial Building Retrofitted with CFRP using SSI. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*.
- Günday.F., (2018). GFRP Retrofitting Effect on the Dynamic Characteristics of Model Steel Structure Using SSI, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*.
- Günday, F., Dushimimana, A., Tuhta, S., (2018). “Analytical and Experimental Modal Analysis of a Model Steel Structure Using Blast Excitation”. *Presented at the International Conference on Innovative Engineering Applications*.
- Hashim, H., Ibrahim, Z., Razak H.A., (2013). *Dynamic characteristics and model updating of damaged slab from ambient vibration measurements*
- Herring, T.A., (1999). Geodesy by Radio Interferometry: The Application of Kalman Filtering to the Analysis of Very Long Baseline Interferometry Data. *Journal of Geophysical Research*, Vol.95, B8, pp. 12,561-12, 581.
- Herring, T.A., (1999). *Global Positioning System and its Applications*, Graduate Course, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Heunecke, O., and Welsch, W.M., (2001). *Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations*, FIG Publication, No: 25, ISBN: 87-90907-10-8, Frederiksberg, Denmark.

- Horvath, M., (1991). Parameter Estimation for Linear Discrete-Time Models with Random Coefficients. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 36, 10, 1213-1215.
- Hou X., and Tagawa H., (2008). Wire-rope bracing system with elasto-plastic dampers for seismic response reduction of steel frames
- Imregun, M., and Visser, W.J., (1991). A review of modal updating techniques, *The shock and Vibration Digest*, 23, 9-20.
- Jazwinski, A.H., (1970). *Stochastic Processes and Filtering Theory*. Academic Pres, New York.
- Johansson, R., (1993). *System Modeling and Identification*. Prentice Hall, New Jersey. 512 p.
- Johansson, R., (1994). Identification of Continuous-Time Models. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 42(4):887-897.
- Juang J.N., and Pappa, R.S., (1985). An Eigensystem Realization Algorithm For Modal Parameter Identification And Model Reduction, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 8, No.5, pp. 620.
- Jung, H., (1992). Structural dynamic model updating using eigensensitivity analysis, PhD Thesis, Imperial College, London, SW7, U.K.
- Kalman, R.E., (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Journal of Basic Engineering*, Vol. 83D, 95-108.
- Kamas, L.A., and Sanders, S.R., (1993). Parameter and State Estimation in Power Electronics Circuits, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-1: Fundamental Theory and Applications*. 40, 12, 920–928.
- Kasımzade A.A., (2005). *Finite Element Method: Foundation and Application to Earthquake Engineering* (is included education and finite element analysis programs CD), Istanbul, Beta Publication, (First edition 1997) Second edition, p.827. (ISBN 975-511-379-7)
- Kasımzade A.A., (2005). *Structural Dynamics: Theory and Application to Earthquake Engineering* (is included education and dynamic analysis programs CD), Istanbul, Beta Publication, (First edition 1998) Second edition, p.527. (ISBN 975-511-381-9)
- Kasımzade A.A., (2006). Coupling of the Control System and the System Identification Toolboxes with Application in Structural Dynamics, *International Conference Control 2006*, Glasgow, Scotland, UK.
- Kasımzade A.A., (2006). “Fuzzy Finite Element Modeling of Structures under Earthquake Action”. *The 5 Th International Symposium on Intelligent Manufacturing System*.
- Kasımzade A.A., (2009). “Mathematical Model of the Natural Seismic Protection: Modeling, Implementation, Applications”. *The 2nd International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation: IMETI 2009* Orlando, Florida, USA.
- Kasımzade A.A., and Tuhta S., (2004). “Estimation of Sensitivity and Reliability base Isolation Buildings under Earthquake Action”. *International Symposium on Network and Center-Based for Smart Structure Technologies And Earthquake Engineering*, Osaka, Japan.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2005). “Ambient Vibration Test on Detection of Dynamic Properties of Reinforced Concrete Building”. *First International Operational Modal Analysis Conference IOMAC*, Copenhagen, Denmark, p. 345-352.
- Kasımzade A.A., and Tuhta S., 2005. Finite Element, Analytical, Experimental Investigation of Reinforced Concrete Beams Strengthened with CFRP and Related Structure Analysis Problem’s Solutions. *AACEU*, Scientific Works No 2, p.18.

- Kasımzade A.A., and Tuhta S., (2005). Performance of Reinforced Concrete Columns Confined by Composite Wraps. *AACEU*, Scientific Works No 2, p.13.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2006). “The Eigensensitivity-Based Finite Element Model Updating Benchmark Model”. *7th International Congress on. Advances in Civil Engineering*, Istanbul, Turkey, 9p.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., Uslu, A., (2006). Finite Element Modal Updating of Reinforce Concrete Building Use of Ambient Vibration Measurements. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES)*, Geneva, Switzerland, 10p.
- Kasımzade, A. A., and Tuhta, S. (2007). Ambient Vibration Analysis of Steel Structure, *First International Operational Modal Analysis Conference IOMAC*, Copenhagen, Denmark, 9p.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2007). “Ambient Vibration Analysis of Steel Structure”. *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures. (EVACES'07)*, Porto, Portugal, 10p.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2007). “Particularities of Monitoring, Identification, Model Updating Hierarchy in Experimental Vibration Analysis of Structures”. *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures. (EVACES'07)*, Porto, Portugal, 10p.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2008). “A Novel Approach for Modal Identification from Ambient Vibration”. *Seismic Engineering International Conference, MERCEA '08*, Reggio Calabria and Messina, July 8-11, Italy.
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2009). “Optimal Estimation the Building System Characteristics for Modal Identification”. *International Operational Modal Analyses Conference, IOMAC 2009*, Porto Novo (Ancona), Italy.
- Kasımzade A.A., Tuhta S., Bal S., (2009). “Natural Seismic Protection Peculiarities of Historical “Walled Obelisk” Structure In Istanbul: Modeling And Numerical Approach”. *Smart Structures And Materials, SMART 09*, Porto-Portugal
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2010). Novel Approach for Monitoring, Identification, Modal Updating Hierarchy in Experimental and Finite Element Vibration Analysis. *Part I: Theoretical Discussions*
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2010). Novel Approach for Monitoring, Identification, Modal Updating Hierarchy in Experimental and Finite Element Vibration Analysis. *Part II: Theoretical Discussions*
- Kasımzade, A.A., and Tuhta, S., (2012). Analytical Numerical and Experimental Examination of Reinforced Composites Beams Covered with Carbon Fiber Reinforced Plastic.
- Kasımzade A.A., and Tuhta S., (2012). Stochastic Parametrical System Identification Approach for Validation of Finite Elements Models.
- Kasımzade A.A., and Tuhta S., (2017). Application of OMA on the bench-scale earthquake simulator using micro tremor data.
- Kasımzade A.A., and Tuhta S., (2017). OMA of model steel structure retrofitted with CFRP using earthquake simulator.
- Kasımzade, A., Tuhta, S., Günday, F., Aydın, H., (2019). “Investigation of Modal Parameters on Steel Structure Using FDD from Ambient Vibration”. *Presented at the 8th International Steel Structures Symposium*, Konya.

- Kasimzade, A., Tuhta, S., Günday, F., Aydin, H., (2019). “Determination of Modal Parameters on Steel Model Bridge Using Operational Modal Analysis”. *Presented at the 8th International Steel Structures Symposium*, Konya.
- Kay, S., (1988). *Modern Spectral Estimation: Theory and Application*. Prentice Hall, University of Rhode Island, UK.
- Koh, C. G., and See, L. M., (1994). Identification and uncertainty estimation of structural parameters. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, V120, pp. 1219-1236.
- Kowalczyk, Z., and Kozłowski, J., (2000). Continuous-time Approaches to Identification of Continuous-time Systems. *Automatica*, 36:1229-1236.
- Labarre, D., Grivel, E., Najim, M., Todini, E., (2003). Two-Kalman Filter Approach for Unbiased AR Parameter Estimation from Noisy Observations, Application to Speech Enhancement. *Equipe Signal and Image*, UMR LAP 5131, Talence France.
- Lastman, G.J., and Sinha, N.K., (1989). *Microcomputer-based Numerical Methods for Science and Engineering*. Saunders College Publishing, New York. 463 p.
- Lee, K., (2015). An Experimental Study on Non-Compression X-Bracing Systems Using Carbon Fiber Composite Cable for Seismic Strengthening of RC Buildings.
- Liaw, C.M., Liu, T.S., Liu, A.H., Chen, Y.T., Lin, C.J., (1992). Parameter Estimation of Excitation Systems from Sampled Data. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 37, 5, 663-666.
- Lieven, N.A.J., Ewins, D.J., (1990). “Error location and updating finite element models using singular value decomposition”. *Proc. of the 8th IMAC*, s. 768-773, Kissimmee, Florida.
- Lin, H., and Atherton, D.P., (1993). Investigation of IMM Tracking Algorithm for The Maneuvering Target Tracking. *First IEEE Regional Conf. On Aerospace Control System*; 113-117.
- Ljung, L., (1987). *System Identification: Theory for the User*. Prentice Hall, New Jersey. 519 p.
- Magill, D.T., (1965). Optimal Adaptive Estimation of Sampled Stochastic Process. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-10; 434-439.
- Mazor, E., Averbuch, A., Bar-Shalom, Y., Dayan J., (1993). Interacting Multiple Model Methods in Target Tracking: A Survey. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-29, Vol3; 755-771.
- Mehra, R.K., (1972). Approaches to Adaptive Filtering. *IEEE Trans. Auto. control*, Vol.AC-17; 693-698.
- Merwe, R., and Wan, E., (2001). The Square-Root Unscented Kalman Filter for State and Parameter – Estimation. Oregon Graduate Institute of Science and Technology, Oregon, USA.
- Moore M., Wang J., (2001). Adaptive dynamic modelling for kinematic positioning. *IAG Scientific Meeting*, Budapest, Hungary, 3-8 September.
- Moore M., Wang J., (2002). An extended dynamic model for kinematic positioning, submitted to Navigation.
- Moore., B.C., (1976). On the flexibility offered by state feedback in multivariable system beyond closed loop eigenvalue assignment, *IEEE Transactions on Automatic Control*, s. 689-692 Inman, D. J., and Minas., C, 1990, Matching finite element models to modal data, *Transactions of the ASME, Journal of Vibration and Acoustics*. 84-92.
- Mottershead, J.E., and Friswell, M.I., (1993). Model updating in structural dynamics: a survey, *Journal of Sound and Vibration*, 167, 347-375.

- Nalitolela, N., Penny, J.E.T., Friswell, M.I., (1992). A mass or stiffness addition technique for structural parameter updating, *International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, 7, 157-168.
- Nelson, A., (2000). Non-Linear Estimation and Modelling of Noisy Time-Series by Dual Kalman Filtering Methods. A Dissertation Submitted to the Faculty of the Oregon Graduate Institute of Science and Technology in Partial fulfillment of the requirements for the degree Doctoral of Philosophy in Electrical and Computer Engineering, Oregon , USA.
- Nelson, A., Wan, E., (1999). Neural Speech Enhancement Using Dual Extended Kalman Filtering. 0-7803-4122-8/97 IEEE.
- Nelson, A.T., Merwe, W., (2004). Kalman Filter and Neural Networks. Mc.GrawHill, Chap.1-2-3-4-5-6-7, UK.
- Oliveira, K., (2007). Avaliação da conversão da energia fotovoltaica em sistemas isolados
- Özbek, L. (1993). Kesikli-Zaman Durum-Uzay Modelleri ve İndirgemeli Tahmin. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Özbek, L. (1997). A Study on Adaptive Kalman Filter. ISI'97, *Bulletin of the International Statistical Institute*, Proceedings Book 2; 299-300, İstanbul.
- Özbek, L., ve Öztürk, F. (1993). “Kalman Filtresi ve Gayri Safi Milli Hasıla Üzerine Bir Uygulama”. *I. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, Sempozyum Bildiriler Kitabı; 99-105, İzmir.
- Özbek, L., Öztürk, F., Aliev, F.A. (1996). “Kalman Filtresinde Kayıpları Önlemek İçin Bir Yöntem”. *TOK '96, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, İstanbul. Boğaziçi Üniversitesi Yayın No:588; 31-37, İstanbul.
- Phan, M.Q., and Longman, R.W., (2004). “Extracting Mass, Stiffness, and Damping Matrices from Identified State-Space Models”. *AIAA-2004-5415, Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Providence*.
- Rao, B.S., and Durrant, H.F. (1991). Fully Decentralized Algorithm for Multisensor Kalman Filtering. *IEEE Proceeding-D*, Vol. 138; 413-420.
- Rao, M.A., Srinivas, and J., Murthy, B.S.N., (2004). Damage detection in vibrating bodies using genetic algorithm. *Computers and Structures*, 82, 963-968
- Raol, J.R., Madhuranath, H., (1996). Neural Network Architectures for Parameter Estimation of Dynamical Systems. *IEE Proc.-Control Theory Appl.* 143, 4, 387-394.
- Roth, R.S., (1981). Techniques in the Identifications of Deterministic System. *IEEE Transactions on Automatic Control*. AC-26, 5, 1169-1175.
- Sagara, S., Yang Z.J., Wada, K., (1991). Identification of Continuous Systems Using Digital Low-pass Filters. *International Journal of Systems Science*, 22(7): 1159-1176.
- Sagara, S., Yang Z.J., Wada, K., (1991). Recursive Identification Algorithms for Continuous Systems Using An Adaptive Procedure. *International Journal of Control*, 53(2):391-409.
- Sagara, S., Zhao, Z.Y., (1989). Recursive Identification of Transfer Function Matrix in Continuous Systems via Linear İntegral Filter. *International Journal of Control*, 50(2):457-477.
- Sagara, S., Zhao, Z.Y., (1990). Numerical Integration Approach to On-line Identification of Continuous-time Systems. *Automatica*, 26(1):63-74.

- Sagara, S., Zhao, Z.Y., (1991). Application of Digital Filtering Techniques. In: N.K. Sinha and G.P. Rao (Editors). *Identification of Continuous-Time Systems*, Kluwer Academic Publishers, p.291-325, The Netherlands.
- Sethi, V., and Song, G., (2006). Multimode Vibration Control of a Smart Model Frame Structure, *Smart Materials and Structures*, p. 473-479.
- Sinha, N.K., and Kuszta, B., (1983). *Modeling and Identification of Dynamic Systems*. Van Nostrand and Railroad Company. New York. 334 p.
- Sinha, N.K., Lastman, G.J., (1991). Transformation of Discrete-Time Models. In: N.K. Sinha and G.P. Rao (Editors). *Identification of Continuous-Time Systems*, Kluwer Academic Publishers, p. 123-137, The Netherlands.
- Sinha, N.K., Rao, G.P., (1991). Identification of Continuous-Time Systems-Methodology and Computer Implementation. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 637 p.
- Soyoz, S., Taciroglu, E., Orakcal, K., Nigbor, R., (2012). Ambient and forced vibration testing of a reinforced concrete building before and after its seismic retrofitting.
- Subrahmanyam, A.V.B., and Rao, G.P., (1993). Identification of Continuous-Time SISO Systems via Markov Parameter Estimation. *IEE Proceedings-D*. 140, 1, 1-10.
- Tse, E., and Weinert, H.L., (1975). Structure Determination and Parameter Identification for Multivariable Stochastic Linear System, *IEEE Transactions on Automatic Control* AC-20, 5, 603-612.
- Tseng D.H., Longman R.W., Juang J.N., (1994). Identification of the structure of the damping matrix in second order mechanical systems. *Advances in Astronautical Sciences*, 87:166–190.
- Tuhta S., (2010). Yapı Parametrelerinin Tahribatsız Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- Tuhta S., (2018). GFRP retrofitting effect on the dynamic characteristics of model steel structure. *Steel and Composite Structures*, 28(2), 223–231.
- Tuhta S., (2018). Optimal Determination of Structural Dynamical Parameters Using Ambient Vibration. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 55–65.
- Tuhta S., (2018). OMA of GFRP Retrofitted Model Concrete Structure Using Ambient Vibration. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(1), 2456-6470
- Tuhta.S., Gunday F., Aydin H., (2019). Dynamic Analysis of Model Steel Structures Retrofitted with GFRP Composites under Microtremor Vibration. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)* Volume: 3 | Issue: 2 | Jan-Feb 2019.
- Tuhta.S., Abrar O., Gunday F., (2019). Experimental Study on Behavior of Bench-Scale Steel Structure Retrofitted with CFRP Composites under Ambient Vibration. *European Journal of Engineering Research and Science*.
- Tuhta, S., and Gunday, F., (2019). Multi Input Multi Output System Identification of Concrete Pavement Using N4SID. *International Journal of Interdisciplinary Innovative Research Development*, 4(1).
- Tuhta, S., Alameri, I., Gunday, F., (2019). Numerical Algorithms N4SID for System Identification of Buildings. *International Journal of Advanced Research in Engineering Technology Science*, 1(6).

- Tuhta, S., Günday, F., Aydin, H., Alalou, M., (2019). MIMO System Identification of MachineFoundation Using N4SID. *International Journal of Interdisciplinary Innovative Research Development*.
- Tuhta, S., and Günday, F., (2019). Mimo System Identification of Industrial Building Using N4sid with Ambient Vibration. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*.
- Tuhta, S., and Günday, F., (2019). Application of Oma on The Bench scale Aluminum Bridge Using Micro Tremor Data. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 5(5), 912–923.
- Tuhta, S., Günday, F., Abrar, O., (2019). Experimental Study on Effect of Seismic Damper to Reduce the Dynamic Response of Bench Scale Steel Structure Model. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 5(5), 901–911.
- Tuhta, S., Günday, F., Aydin, H., (2019). “Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Structure”. *Presented at the iSTE-CE'xx2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering*.
- Unbehauen, H., and Rao, G.P., (1990). Continuous-time Approaches to System identification- A Survey. *Automatica*, 26(1):23-35.
- Unbehauen, H., and Rao, G.P., (1998). A Review of Identification in Continuous-Time Systems. *Annual Reviews in Control*, 22:145-171.
- Ventura, C., Brincker R., (2015). *Introduction to Operational Modal Analysis*
- Vestroni, F., Capecchi, D., (2000). Damage detection in beam structures based on frequency measurement, *Journal of Engineering Mechanics*, 126, 761-768.
- Visser, W.J., (1992). Updating Structural Dynamics Models Using Frequency Response Data, PhD Thesis, Imperial College, London, SW7, U.K.
- Vivo, A., Brutti, C., Leofanti J.L., (2013). Modal shape identification of large structure exposed to wind excitation by operational modal analysis technique.
- Votsis, R.A., Kyriakides, N., Chrysostomou, C.Z., (2012). Ambient vibration testing of two masonry monuments in Cyprus.
- Wan, E., (1993). Finite Impulse Response Neural Networks with Applications in Time Series Prediction. A Dissertation Submitted to the Department of Electrical Engineering and The Committee on Graduate Studies of Stanford University in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Doctor of Philosophy, USA.
- Wang, X., Xu, P., Wu, Z., Shi, J., (2015). A novel anchor method for multitendon FRP cable: Manufacturing and experimental study
- Wei, F.S., (1990). Structural dynamic model improvement using vibration test data, *AIAA Journal*, 28, 175-177.
- Wong, K.Y., and Polak, E., (1967). Identification of Linear Discrete Time System Using the Instrumental Variable Method. *IEEE Transactions on Automatic Control*. AC-12, 6, 707-718.
- Xia, Q., Rao, M., Ying, Y., Shen, X., (1994). Adaptive Fading Kalman Filter with an Application. *Automatica*, Vol. 30, No: 8; 1333-1338.
- Xie, G., Yin, J., Liu, R., Chen, B., Cai, D., (2017). Experimental and numerical investigation on the static and dynamic behaviors of cable-stayed bridges with CFRP cables.

- Yang, Z.J., Tsuji, T., Sagara, S., (1994). Integral-equation Approach to Parameter Identification without Consideration of Initial Conditions. *International Journal of Systems Science*, 25(4):763-774.
- Young, P., (1970). An Instrumental Variable Method for Real-time Identification of a Noisy Process. *Automatica*, 6:271-287.
- Young, P., (1981). Parameter Estimation for Continuous-Time Models-A Survey. *Automatica*, 17(1):23-39.
- Zhang, J., Liu, F., Zhao, L., Shan, M., (2015). Investigation on characteristic length testing methods for failure prediction of composite multi-bolt joints. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(8), pp. 636-648.

ÖZ GEÇMİŞ

Furkan GÜNDAY, Samsun Tülay Başaran Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2014 yılında mezun oldu. Askerliğini 2014-2015 yılları arasında 357. KD olarak Erzincan ilinde Hv. Svn. Onb olarak yaptı. 2016 yılının Aralık ayında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. 2017 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora programına kayıt oldu. Mezuniyetinden bu yana özel sektörde şantiye şefi, kontrol mühendisi, teklif ve iş geliştirme mühendisi olarak görev yaptı. Bilimsel çalışmalara ağırlık vermek amacıyla 2018 yılından itibaren Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. İyi derecede İngilizce, temel düzeyde Almanca bilmektedir. Temel ilgi alanları, inşaat mühendisliği, teknoloji, ekonomi, Türk ve dünya tarihi, felsefe ve amatör şairliktir. (22.12.2021).

İletişim Bilgileri

Öğrenci no : 16210450

ORCID ID : 0000-0003-2979-9373

Yayınlar:

- 1. GÜNDAY, F. (2018).** OMA of RC Industrial Building Retrofitted with CFRP using SSI. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5(5), 759–771.
- 2. GÜNDAY, F. (2018).** GFRP Retrofitting Effect on the Dynamic Characteristics of Model Steel Structure Using SSI. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5(4), 1169–1183.
- 3. DUSHIMIMANA, A., GÜNDAY, F., & TUHTA, S. (2018).** Operational Modal Analysis of Aluminum Model Structures Using Earthquake Simulator. Presented at the International Conference on Innovative Engineering Applications, Sivas, Turkey.
- 4. GÜNDAY, F., DUSHIMIMANA, A., & TUHTA, S. (2018).** Analytical and Experimental Modal Analysis of a Model Steel Structure Using Blast Excitation.

Presented at the International Conference on Innovative Engineering Applications, Sivas, Turkey.

- 5. KASIMZADE, A., DUSHIMIMANA, A., TUHTA, S., ATMACA, G., GÜNDAY, F., PFİDZE, K., & ABRAR, O. (2019).** A Comparative Study on Effectiveness of Using Horasan Mortar as a Pure Friction Sliding Interface Material. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(2), 64–69.
- 6. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2019).** Modal Parameters Determination of Steel Benchmark Warehouse by System Identification Using ANN. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 6(12), 8–12.
- 7. TUHTA, S., ALAMERI, I., & GÜNDAY, F. (2019).** Numerical Algorithms N4SID For System Identification of Buildings. *International Journal of Advanced Research in Engineering Technology Science*, 6(1), 7–15.
- 8. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Dynamic Analysis of Model Steel Structures Retrofitted with GFRP Composites under Microtremor Vibration. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(2), 729–733.
- 9. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & ALALOU, M. (2019).** Determination of System Parameters on Model Lighting Pole Using ANN by Ambient Vibration. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 6(11), 191–195.
- 10. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2019).** System Identification of RC Building Using N4SID. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 6(11), 100–106.
- 11. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2019).** Multi Input - Multi Output System Identification of Concrete Pavement Using N4SID. *International Journal of Interdisciplinary Innovative Research Development*, 4(1), 41–47.
- 12. TUHTA, S., GÜNDAY, F., AYDIN, H., & ALALOU, M. (2019).** MIMO System Identification of Machine Foundation Using N4SID. *International Journal of Interdisciplinary Innovative Research Development*, 4(1), 27–36.
- 13. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & PEHLIVAN, N. C. (2019).** Investigation of Cfrp Retrofitting Effect on Masonry Dome on Bending Moment Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 6(6), 18–22.
- 14. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2019).** MIMO System Identification of Industrial Building Using N4SID With Ambient Vibration. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 6(8), 1–6.

- 15. ZİADA, M., TUHTA, S., GENÇBAY, E. H., GÜNDAY, F., & TAMMAM, Y. (2019).** Analysis of Tunnel Form Building Retrofitted with CFRP using Finite Element Method. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(2), 822–826.
- 16. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2019).** Application of Oma on The Bench-scale Aluminum Bridge Using Micro Tremor Data. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 5(5), 912–923.
- 17. TUHTA, S., ABRAR, O., & GÜNDAY, F. (2019).** Experimental Study on Behavior of Bench-Scale Steel Structure Retrofitted with CFRP Composites under Ambient Vibration. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4(5), 109–114.
- 18. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & ABRAR, O. (2019).** Experimental Study on Effect of Seismic Damper to Reduce The Dynamic Response Of Bench-Scale Steel Structure Model. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 5(5), 901–911.
- 19. KASIMZADE, A., TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Extraction of Modal Parameters on Steel Structure Using EFDD. Presented at the 2nd International Conference on Tecnology and Science, Burdur, Turkey.
- 20. KASIMZADE, A., TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Investigation of Modal Parameters on Steel Structure Using FDD from Ambient Vibration. Presented at the 8th International Steel Structures Symposium, Konya, Turkey.
- 21. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Bridge. Presented at the iSTE-CE'xx2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering, Hatay, Turkey.
- 22. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Structure. Presented at the iSTE-CE'xx2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering, Hatay, Turkey.
- 23. TUHTA, S., GÜNDAY, F., AYDIN, H., & PEHLİVAN, N. Ç. (2019).** Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Period and Frequency Using Finite Element Method. Presented at the International Disaster and Resilience Congress (idRc 2019), Eskişehir, Turkey.

- 24. KASIMZADE, A., TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2019).** Investigation of Modal Parameters on Steel Model Bridge Using EFDD Method. Presented at the 2nd International Conference on Tecnology and Science, Burdur, Turkey.
- 25. KASIMZADE, A., TUHTA, S., AYDIN, H., & GÜNDAY, F. (2019).** Determination of Modal Parameters on Steel Model Bridge Using Operational Modal Analysis. Presented at the 8th International Steel Structures Symposium, Konya, Turkey.
- 26. TUHTA, S., GÜNDAY, F., AYDIN, H., & PEHLİVAN, N. Ç. (2019).** Investigation of CFRP Retrofitting Effect on Masonry Dome on Stress Using Finite Element Method. Presented at the International Disaster and Resilience Congress (idRc 2019), Eskişehir, Turkey.
- 27. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2020).** Analytical Modal Analysis of RC Building Retrofitted with CFRP using Finite Element Method. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management Applied Science*, 9(2), 78–82.
- 28. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2020).** Artificial Neural Network Based System Identification Usage for Steel Sheds. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 7(10), 22–30.
- 29. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** System Identification of Model Steel Bridge with Fuzzy Logic. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(1), 50–54.
- 30. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** Update of Structural Parameters on the Bench-Scale Aluminum Bridge Model Using Ambient Vibration. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management Applied Science*, 9(4), 10–18.
- 31. TUHTA, S., AYDIN, H., & GÜNDAY, F. (2020).** Updating For Structural Parameter Identification of the Model Steel Bridge Using OMA. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management Applied Science*, 9(3), 59–68.
- 32. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2020).** Dynamic Parameters Determination of Concrete Terrace Wall with System Identification Using ANN. *JournalNX*, 6(9), 195–202.
- 33. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & ALİHASSAN, A. (2020).** System Identification of Model Steel Chimney with Fuzzy Logic. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(1), 11–15.

- 34. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** Subspace Identification Using N4SID Methods Applied to Model Concrete Chimney. *JournalNX*, 6(6), 415–423.
- 35. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & ALİHASSAN, A. (2020).** The Effect of CFRP Reinforced Concrete Chimney on Modal Parameters Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 7(2), 1–6.
- 36. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2020).** Study for Artificial Neural Network of Aluminum Benchmark Bridge. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(2), 90–95.
- 37. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** System Identification of Model Steel Bridge with Genetic Algorithms. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 5(1), 55–59.
- 38. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** Nonlinear System Identification of Model Concrete Chimney Using Hammerstein Wiener Models. Presented at the Global Congress of Contemporary Study A Multidisciplinary International Scientific Conference, India.
- 39. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2020).** Example For Nonlinear System Identification of Model Masonry Retaining Wall with Hammerstein Wiener Models. Presented at the A Multidisciplinary International Scientific Conference on Science, Technology, Education and Humanities, Ukraine.
- 40. TUHTA, S., GÜNDAY, F., AYDIN, H., & ALALOU, M. (2020).** Modal analysis of steel test structure reinforced with cable elements by finite element method. Presented at the 2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020), Gaziantep, Turkey.
- 41. TUHTA, S., GÜNDAY, F., AYDIN, H., & ALALOU, M. (2020).** Modal Analysis of Model Steel Bridge by Finite Element Method. Presented at the 2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020), Gaziantep, Turkey.
- 42. KASIMZADE, A., TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2021).** Obtaining Dynamic Parameters by Using Ambient Vibration Recordings on Model of The Steel Arch Bridge. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 65(2), 608-618.
- 43. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2021).** Determination of The Effect of TiO₂ on Dynamic Behaviour of Scaled Concrete Chimney by OMA. *Materiali in tehnologije*, 55(3), 460-466.

- 44. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2021).** Investigation of Effect of Using Nano Coating on Wooden Sheds on Dynamic Parameters. *Wood Research*, 66(6), 1006–1014.
- 45. GÜNDAY, F. (2021).** The Effect of PTMD on The Modal Parameters of The Water Tank by Finite Element Method. *JournalNx*, 7(12), 229–236.
- 46. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & WARAYTH, M. O. (2021).** The Effect of GFRP Steel Silo on Modal Parameters Using Finite Element Method. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(7), 41–46.
- 47. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & KÖROĞLU, E. (2021).** The Effect of TMD on The Periods and Mode Shapes of The Reinforced Concrete Building by Finite Element Analysis. *JournalNx*, 7(12), 5–13.
- 48. GÜNDAY, F. (2021).** The Effect of AMD on The Modal Parameters of The Reinforced Concrete Building by Finite Element Method. *JournalNx*, 7(12), 221–228.
- 49. GÜNDAY, F. (2021).** Analytical and Experimental Modal Analysis of GFRP Benchmark Structure Using Shake Table. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(5), 157–165.
- 50. GÜNDAY, F. (2021).** Comparison of Dynamic Parameters of Scaled Concrete Bridge by Analytical and Operational Modal Analysis. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 8(5), 166–175.
- 51. GÜNDAY, F., & ALİHASSAN, A. M. S. (2021).** The Effect of GFRP Reinforced Square Concrete Chimney on Modal Parameters Using Finite Element Method. Presented at the 2. International Conference on Science Technology and Educational Practices.
- 52. GÜNDAY, F. (2021).** Study For System Identification of The Box Culvert Model with Automated Artificial Intelligence. Presented at the 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey.
- 53. KASIMZADE, A., TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2021).** System Identification Innovations for Development of the Finite Element Calibration. Presented at the International Congress on the Phenomenological Aspects of Civil Engineering, Erzurum, Turkey.
- 54. GÜNDAY, F. (2021).** Utilizing Deep Learning on System Identification of The Concrete Sound Wall Model. Presented at the 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya, Turkey.

- 55. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2021).** Investigation of TLD Effect on Dynamic Parameters of Prestressed Concrete Structure with Finite Element Method. Presented at the 14th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Antalya, Turkey.
- 56. TUHTA, S., & GÜNDAY, F. (2021).** Investigation of TMD Effect on Dynamic Performance of Tunnel Form Building by Finite Element Method. Presented at the 14th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Antalya, Turkey.
- 57. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & AYDIN, H. (2021).** Examination of Nonlinear System Identification Parameters of Model Smokestack Using Hammerstein Wiener Model. Presented at the International Virtual Conference on Innovative Thoughts, Research Ideas and Inventions in Sciences, New York, ABD.
- 58. GÜNDAY, F. (2021).** Study For System Identification of The Gravity Wall Model with Automated Machine Learning. Presented at the 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering, İstanbul, Turkey.
- 59. TUHTA, S., GÜNDAY, F., & Alihassan, A. M. S. (2021).** The Effect of CFRP Reinforced Square Stone Chimney on Modal Parameters Using Finite Element Method. Presented at the 2. International Conference on Science Technology and Educational Practices.
- 60. GÜNDAY, F. (2021).** Utilizing Machine Learning on System Identification of The Border Wall Model. Presented at the 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya, Turkey.