

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇERÇEVELİ HAVALİMANI TERMİNAL
BAĞLANTI KÖPRÜLERİNDE İNSAN
FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN
DÖŞEME TİTREŞİMLERİNİN YAPISAL
ANALİZİ**

Bayhan AYDIN

Kasım, 2022

İZMİR

**ÇELİK ÇERÇEVELİ HAVALİMANI TERMİNAL
BAĞLANTI KÖPRÜLERİNDE İNSAN
FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN
DÖŞEME TİTREŞİMLERİNİN YAPISAL
ANALİZİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Bayhan AYDIN

Kasım, 2022

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BAYHAN AYDIN, tarafından **PROF. DR. YEŞİM KAMİLE AKTUĞLU** yönetiminde hazırlanan “**ÇELİK ÇERÇEVELİ HAVALİMANI TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİNDE İNSAN FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN DÖŞEME TİTREŞİMLERİNİN YAPISAL ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yeşim Kamile AKTUĞLU

Yönetici

Prof. Dr. Mustafa Emre İLAL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Hüsnü Murat GÜNAYDIN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Serdar KALE

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışma süresince bilgilerini ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Yeşim Kamile AKTUĞLU' ya teşekkür ederim. Tezin gelişim sürecinde değerli eleştiri ve değerlendirmeleriyle önemli katkıları olan, tezin olgunlaşmasına büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Mustafa Emre İLAL'a ve Doç. Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan, bana her türlü desteği veren eşim Sezgi AYDIN'a, tez çalışmam ile birlikte doğup büyüyen kızım Defne AYDIN'a, İnş. Müh. Erdem FİTİL'e ve diğer tüm sevdiklerime en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bayhan AYDIN

ÇELİK ÇERÇEVELİ HAVALİMANI TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİNDE İNSAN FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN DÖŞEME TİTREŞİMLERİNİN YAPISAL ANALİZİ

ÖZ

20. yüzyılın başlarından itibaren havacılık sektörü çok hızlı bir şekilde gelişmiş ve ulaşım eyleminde önemli bir konuma gelmiştir. Havayolu ulaşımı ile birlikte gelen hızlı ve konforlu seyahat imkanı; uçakların inip kalktığı, park ihtiyaçlarının karşılandığı, yolcuların uçaklara ulaşım imkanının sağlandığı, yolcuların her türlü gereksinimlerinin karşılanabildiği ve günün her saati hizmet verebilen yeni bir kamusal alan gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Havalimanı olarak tanımladığımız bu kamusal alanlar, yolcu ulaşımı veya yük taşımacılığı için gerekli ticari ve teknik tesisleri içeren kompleks yapılardır. Bu yönüyle diğer mimari yapılardan ayrı bir yerde bulunmaktadır. Dünya genelinde; 2020 yılında 1,8 milyar yolcu, 2021 yılında ise 2,3 milyardan fazla yolcu havalimanlarını kullanarak seyahat etmiştir. Giderek artan kullanıcı sayısına bağlı olarak mevcut terminal binaları kapasitelerinden fazla yolcuya hizmet vermektedir. Bu durum ulaşım hizmetinde zaman ve konfor sorunlarına sebep olabilmektedir. Havalimanı terminal binalarının önemli bir parçasını olan yolcu biniş sistemleri ise terminal binaları ile hava araçlarının birbirine bağlantısını sağlayan kısmı olup farklı işlev seviyeleri olan havalimanı terminal binalarında işlev, zaman ve konfor açısından önemli bir yere sahiptir. Bu amaçla bu tez kapsamında havalimanı tasarım esasları ele alınmış ve yolcu biniş sistemleri ve sistemde oluşan sorunlar detaylı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca mevcut havalimanı terminal binalarında olası genişleme ve yenilenme durumları ile yeni yapılması planlanan havalimanlarında kullanılacak olan yolcu biniş sistemlerinin bir parçası olan terminal bağlantı köprülerinden beklenen sistemsel performans ve yapısal verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yolcu biniş sistemleri, terminal bağlantı köprüsü, çelik strüktür, döşeme titreşimi.

STRUCTURAL ANALYSIS OF FLOOR VIBRATIONS CAUSED BY HUMAN ACTIVITIES IN STEEL FRAMED AIRPORT TERMINAL LINK BRIDGES

ABSTRACT

Since the beginning of the 20th century, the aviation sector has developed very rapidly and has become an important position in transportation action. The fast and comfortable travel opportunity that comes with air transportation; It has created the need for a new public space where planes can land and take off, parking needs are met, passengers can access the planes, all kinds of needs of the passengers can be met and they can serve at all hours of the day. These public spaces, which we define as airports, are complex structures that contain commercial and technical facilities required for passenger transportation or freight transportation. In this respect, it is located in a separate place from other architectural structures. Worldwide; In 2020, 1,8 billion passengers, and in 2021, more than 2,3 billion passengers traveled using the airports. Due to the increasing number of users, the existing terminal buildings serve more passengers than their capacity. This situation can cause time and comfort problems in transportation service. Passenger boarding systems, which are an important part of airport terminal buildings, are the part that connects terminal buildings and aircraft, and have an important place in terms of function, time and comfort in airport terminal buildings with different function levels. For this purpose, within the scope of this thesis, airport design principles are discussed and passenger boarding systems and the problems that occur in the system are defined in detail. In addition, it is aimed to increase the systemic performance and structural efficiency expected from the terminal connecting bridges, which are part of the passenger boarding systems to be used in the existing airport terminal buildings, with the possible expansion and renewal situations.

Keywords: Passenger boarding systems, terminal link bridge, steel structure, floor vibration.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xix
SEMBOLLER LİSTESİ	xxiii
KISALTMALAR	xxiv
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması	2
1.2 Problemin Tanımlanması	6
1.3 Araştırmanın Hedef ve Amaçları	7
1.4 Araştırmanın Yöntemi	8
1.5 Araştırmanın Kapsamı	9
BÖLÜM İKİ – HAVALİMANI TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİ	
TASARIM ESASLARI	11
2.1 Havalimanı Kavramı ve Tarihsel Gelişim	11
2.2 Dünya’da Havacılık Sektörü	13
2.3 Türkiye’de Havacılık Sektörü	15
2.4 Havalimanı Sistem Bileşenleri	17
2.5 Uçakların Karakteristik Özellikleri	18

2.6 Apron Tasarımı	19
2.7 Yolcu İşlem Seviyeleri	21
2.8 Yolcu Biniş Sistemleri	22
2.8.1 Terminal Bağlantı Köprüleri	25
2.8.1 Yolcu Biniş Köprüleri	26
2.8.1 Rotunda Grubu	28
BÖLÜM ÜÇ – YAPISAL BİR SORUN OLARAK “TİTREŞİM”	29
3.1 Titreşim Kavramı	29
3.1.1 Dinamik Yükler	30
3.1.2 Titreşimin Büyüklüğü	31
3.1.3 İvme	31
3.1.4 Periyot ve Frekans	31
3.1.5 Rezonans	32
3.1.6 Sönümlenme ve Kritik Sönümlenme	32
3.1.7 Modal Analiz	33
3.1.8 Mod Şekli	33
3.2 İnsan Konforu Açısından Titreşim	34
3.3 Tolerans Limit Kaynağı	35
3.4 Çelik Döşeme Sistemlerinde Oluşan Titreşimin Hesaplanması	37
3.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi	39
3.5.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Gelişim Süreci	40
3.5.2 Sonlu Eleman Yönteminin İşleyişi	41
3.5.3 Sonlu Eleman Yönteminin İşlem Adımları	43
BÖLÜM DÖRT – TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜ İNCELEMESİ	44
4.1 Adnan Menderes Havalimanı, İzmir – Türkiye	44
4.1.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri	46
4.2 Esenboğa Havalimanı, Ankara – Türkiye	50

4.2.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri	52
4.3 Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul – Türkiye	55
4.3.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri	57

BÖLÜM BEŞ – TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİNİN YAPISAL ANALİZİ 60

5.1 Yapı Malzemesi Olarak “Çelik”	60
5.2 Terminal Bağlantı Köprülerinde Kullanılan Döşeme Sistemleri	62
5.2.1 Kontrplak (Plywood) Döşeme Sistemi	62
5.2.2 Betonarme Kompozit Döşeme Sistemi	63
5.3 Terminal Bağlantı Köprü Sistemlerinde Tanımlanan Yükler	64
5.4 Adnan Menderes Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü	65
5.4.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	65
5.4.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	69
5.4.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı	70
5.4.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	72
5.4.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	76
5.4.2.2 Öneri Model-1 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	77
5.4.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	79
5.4.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	83
5.4.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	84
5.4.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	86
5.4.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	90
5.4.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	91
5.4 Esenboğa Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü	93
5.5.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	93
5.5.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	97
5.5.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı	98
5.5.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	100
5.5.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	104

5.5.2.2 Öneri Model-1 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	105
5.5.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	107
5.5.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	111
5.5.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	112
5.5.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	114
5.5.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	118
5.5.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	119
5.6 Sabiha Gökçen Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü	121
5.6.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi	121
5.6.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	125
5.6.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı	126
5.6.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	128
5.6.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	132
5.6.2.2 Öneri Model-1 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	133
5.6.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	135
5.6.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	139
5.6.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	140
5.6.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi ...	142
5.6.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü	146
5.6.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı	147
BÖLÜM ALTI – DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	149
6.1 Yapısal Çelik Profil Miktarındaki Değişimlerin İrdelenmesi	149
6.2 Terminal Bağlantı Köprü Döşemelerinde Oluşan Titreşim (İvmelenme) Değişimlerin İrdelenmesi	155
6.3 Terminal Bağlantı Köprü Sistemlerinde Oluşan Düşey Yer Değiştirme Değerlerinin İrdelenmesi	159
6.4 Genel Sonuç	164
KAYNAKLAR	166

EK	174
-----------------	------------



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	2011-2021 yılları Dünya geneli havayolu yolcu trafiği 13
Şekil 2.2	2011-2021 yılları Türkiye geneli havayolu yolcu trafiği 15
Şekil 2.3	Havalimanı sistem bileşenleri 17
Şekil 2.4	Uçakların boyutlandırılması 18
Şekil 2.5	Bağlantılı bekleme ve uzak bekleme için öneri yerleşim planı 20
Şekil 2.6	Yolcu işlem seviyeleri 21
Şekil 2.7	Çoklu uçak yerleşim düzenlemesi 22
Şekil 2.8	Uçakların park pozisyonları 23
Şekil 2.9	Yolcu biniş sistemi 24
Şekil 2.10	Sabiha Gökçen Havalimanı çoklu terminal bağlantı köprüsü 25
Şekil 2.11	İstanbul Havalimanı bütünleşik terminal bağlantı köprüsü 26
Şekil 2.12	Esenboğa Havalimanı tekli yolcu biniş köprüleri 27
Şekil 2.13	İstanbul Havalimanı MARS tipi çoklu yolcu biniş köprüleri 27
Şekil 3.1	Dinamik yükleme tipleri 31
Şekil 3.2	Mekanik titreşimde temel büyüklükler 32
Şekil 3.3	Tacoma Narrow Köprüsü, Tacoma-ABD 33
Şekil 3.4	Tipik mod şekilleri 34
Şekil 3.5	ISO 2631-2 temel ivme eşiği 35
Şekil 3.6	İnsan konforu için önerilen en yüksek ivme limitleri 36
Şekil 3.7	Sonlu eleman ağını oluşturan eleman tipleri 41

Şekil 3.8	Sonlu eleman ağ yoğunluğu	41
Şekil 3.9	Sonlu eleman yönteminde matematiksel denklem	42
Şekil 3.10	Sonlu eleman yöntemin işleyiş şeması	43
Şekil 4.1	Adnan Menderes Havalimanı uydu görüntüsü	44
Şekil 4.2	Adnan Menderes Havalimanı vaziyet planı	45
Şekil 4.3	Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bina kesiti	45
Şekil 4.4	Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü	46
Şekil 4.5	Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-1.....	47
Şekil 4.6	Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-2.....	48
Şekil 4.7	Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-3.....	49
Şekil 4.8	Esenboğa Havalimanı uydu görüntüsü	50
Şekil 4.9	Esenboğa Havalimanı vaziyet planı	51
Şekil 4.10	Esenboğa Havalimanı terminal bina kesiti	51
Şekil 4.11	Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüleri	52
Şekil 4.12	Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-1.....	53
Şekil 4.13	Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-2.....	54
Şekil 4.14	Sabiha Gökçen Havalimanı uydu görüntüsü	55
Şekil 4.15	Sabiha Gökçen Havalimanı vaziyet planı	56
Şekil 4.16	Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bina kesiti	56

Şekil 4.17	Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü uygulama resmi	57
Şekil 4.18	Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem detayı- 1.....	58
Şekil 4.19	Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem detayı-2.....	59
Şekil 5.1	Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü kontrplak döşeme uygulaması	62
Şekil 5.2	Betonarme kompozit döşeme sistemi	63
Şekil 5.3	Şekil verilmiş çelik sac için yapısal esaslar	64
Şekil 5.4	Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	66
Şekil 5.5	Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	67
Şekil 5.6	Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	68
Şekil 5.7	Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	69
Şekil 5.8	Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	71
Şekil 5.9	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	73
Şekil 5.10	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	74
Şekil 5.11	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	75

Şekil 5.12	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	76
Şekil 5.13	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	78
Şekil 5.14	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	80
Şekil 5.15	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	81
Şekil 5.16	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	82
Şekil 5.17	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	83
Şekil 5.18	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	85
Şekil 5.19	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	87
Şekil 5.20	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	88
Şekil 5.21	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	89
Şekil 5.22	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	90
Şekil 5.23	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	92
Şekil 5.24	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	94

Şekil 5.25	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	95
Şekil 5.26	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	96
Şekil 5.27	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	97
Şekil 5.28	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	99
Şekil 5.29	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	101
Şekil 5.30	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	102
Şekil 5.31	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	103
Şekil 5.32	Esenboğa Havalimanı model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	104
Şekil 5.33	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	106
Şekil 5.34	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	108
Şekil 5.35	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	109
Şekil 5.36	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	110
Şekil 5.37	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	111

Şekil 5.38	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	113
Şekil 5.39	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	115
Şekil 5.40	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	116
Şekil 5.41	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	117
Şekil 5.42	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	118
Şekil 5.43	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	120
Şekil 5.44	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	122
Şekil 5.45	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	123
Şekil 5.46	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	124
Şekil 5.47	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	125
Şekil 5.48	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	127
Şekil 5.49	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	129
Şekil 5.50	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	130

Şekil 5.51	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	131
Şekil 5.52	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	132
Şekil 5.53	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	134
Şekil 5.54	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	136
Şekil 5.55	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	137
Şekil 5.56	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	138
Şekil 5.57	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	139
Şekil 5.58	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	141
Şekil 5.59	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli	143
Şekil 5.60	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti	144
Şekil 5.61	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı	145
Şekil 5.62	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri	146
Şekil 5.63	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği	148

Şekil 6.1	İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği	156
Şekil 6.2	Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği	157
Şekil 6.3	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği	158



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Üyesi olduğumuz ve bağlantılı olduğumuz uluslararası kuruluşlar	12
Tablo 2.2 Dünya geneli 2021 yılı yolcu sayısına göre ilk 25 havalimanı	14
Tablo 2.3 Türkiye geneli 2021 yılı yolcu sayısına göre ilk 25 havalimanı	16
Tablo 2.4 Başlıca kullanılan ticari uçakların teknik özellikleri	18
Tablo 2.5 Uçak referans kodlarına göre yaklaşık apron alan ihtiyacı	19
Tablo 2.6 IATA tarafından önerilen açıklıklar	20
Tablo 3.1 AISC Steel Design Guide 11'e göre tavsiye edilen değerler	39
Tablo 4.1 Adnan Menderes Havalimanı genel bilgiler	44
Tablo 4.2 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri	46
Tablo 4.3 Esenboğa Havalimanı genel bilgiler	50
Tablo 4.4 Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri	52
Tablo 4.5 Sabiha Gökçen Havalimanı genel bilgiler	55
Tablo 4.6 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri	57
Tablo 5.1 Yapısal çelik kalite, sembol ve anlamları	61
Tablo 5.2 Yapısal çeliklere ait mekanik özellikler	61
Tablo 5.3 Sap2000 sistem modelinde tanımlanan sabit ve hareketli yükler	64
Tablo 5.4 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	65
Tablo 5.5 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	70

Tablo 5.6	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	72
Tablo 5.7	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	77
Tablo 5.8	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	79
Tablo 5.9	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	84
Tablo 5.10	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	86
Tablo 5.11	Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	91
Tablo 5.12	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	93
Tablo 5.13	Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	98
Tablo 5.14	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	100
Tablo 5.15	Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	105
Tablo 5.16	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	107
Tablo 5.17	Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	112
Tablo 5.18	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	114

Tablo 5.19	Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	119
Tablo 5.20	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	121
Tablo 5.21	Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	126
Tablo 5.22	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	128
Tablo 5.23	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	133
Tablo 5.24	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	135
Tablo 5.25	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	140
Tablo 5.26	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi	142
Tablo 5.27	Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı	147
Tablo 6.1	İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu	152
Tablo 6.2	Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu	153
Tablo 6.3	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu	154
Tablo 6.4	Terminal bağlantı köprüleri düşey yer değiştirme kontrolü	159

Tablo 6.5	İncelenen terminal bağlantı köprülerinde kullanılan yapısal çelik profil miktarları ile yapısal sistemlerinde oluşan ivmelenme (titreşim) değişimleri	160
-----------	---	-----



SEMBOLLER LİSTESİ

f	: Frekans
rms	: Root Mean Square
α_p	: Tahmini En Yüksek İvme
α_0	: En Yüksek İvme Değeri
g	: Yerçekimi İvmesi
P_0	: Sabit Kuvvet
f_n	: Sistemin Doğal Frekansı
β	: Modal Sönümlenme Oranı
W	: Sistemin Ağırlığı

KISALTMALAR

ICAO	: International Civil Aviation Organization
IATA	: International Air Transport Association
ECAC	: European Civil Aviation Conference
JAA-TO	: Joint Aviation Authorities-Training Organization
D8	: Sivil Havacılık Komisyonu
EASA	: European Aviation Safety Agency
ACI	: Airports Council International
AISC	: American Institute of Steel Construction
2-B	: 2 Boyutlu
3-B	: 3 Boyutlu
ISO	: International Organization for Standardization
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
VFR	: Visual Flight Rules
IFR	: Instrument Flight Rules
MARS	: Multiple Apron Ramp System

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Ulaşım köyler, şehirler, ülkeler arasında bir yerden bir yere gidiş geliş eylemi olup insanoğlu için geçmişten günümüze çözülmesi gereken bir sorun olmuştur. Sorunun temelinde ulaşımaya ayrılan zamanın süresi ve ulaşım süresince geçirilen zamanın konforu yer almaktadır. Günümüze kadar insanoğlu bu iki sorunun çözümüne odaklı çeşitli ulaşım yöntemleri, araçları, yolları geliştirmiş ve geliştirmeye devam etmektedir.

20. Yüzyıla gelindiğinde ise zaman ve konfor odaklı en etkili ulaşım şekli havayolu ulaşımıdır. Havayolu ulaşımının gelişiminde; yolcu ulaşım tercihlerindeki değişkenlik, yeni açılan ulaşım seferleri, yeni havalimanları ve bu havalimanlarına ulaşım altyapısına yapılan yatırımlar önemli rol üstlenmektedir. Havayolu ulaşımının gelişimi beraberinde havalimanı yapılarını ortaya çıkarmıştır. 2021 yılında 2,3 milyardan fazla yolcu havalimanlarını kullanarak seyahat etmiştir (ICAO-1, 2022). Zamanla, artan kullanıcı sayısı mevcut terminal binalarının yolcu kapasitesini aşmakta ve bu zaman ve konfor sorunlarını artırmaktadır. Havalimanı terminal binalarının farklı fonksiyonları vardır. Her bir fonksiyon için farklı bir yapı sistemi ve her bir yapı sistemi için ise farklı bir yapı malzemesi kullanılmaktadır.

Havalimanları bünyesindeki fonksiyonlar ve bu fonksiyonların birbirleri ile ilişkisi açısından kompleks bir yapıya sahiptir. Bu kompleks yapı; havalimanının tasarım ve uygulama aşamasından başlayıp işletme sürecini de içine alan bir süreçtir. Bu yönüyle diğer mimari yapılardan ayrı bir yerde bulunmaktadır.

Bir havalimanında uçuş işlemleri için gerekli teknik birimlerinin yanı sıra hava yolu ulaşımını kullanan yolcuların farklı gereksinimlerini karşılayabilecek mekanlar bulunur. Bu sebeple havalimanları; ulaşım amacıyla tasarlanmış mimari bir yapı olduğu kadar ticari olarak faaliyet gösteren kompleks bir işyeri haline gelmiştir. Bu süreçte havayolu ulaşımında işletme ve havacılık operasyonlarındaki verimlilik ile birlikte havalimanı tasarım ve uygulama aşamalarında kısıtlı olan kaynakların en

etkin biçimde değerlendiren, bulunduğu çevreyi en az seviyede etkileyen, güvenli, hızlı ve konforlu ulaşım imkanı sağlayan tasarım anlayışları ön plana çıkmaktadır.

1.1 Literatür Taraması

Bu çalışmada havalimanları, yolcu biniş sistemleri ve terminal bağlantı köprüleri ile ilgili yapılmış tezler, makale, bildiri ve dergi gibi birçok kaynak incelenmiştir. Havalimanı tasarımı ve kullanımı üzerine birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. 2001 – 2021 yılları arasında havalimanı kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Temiztepe (2001), “Havaalanı Terminal Binalarında Çelik Taşıyıcılı sistemli Olanların Büyüyebilme Olanaklarının İrdelenmesi” isimli tez çalışmasında; havaalanı terminal binaları taşıyıcı sistemlerinin incelenmesi, çelik yapı malzemesinin örnek terminallerdeki kullanım özelliklerinin açıklanması ve terminallerin ilerideki genişletilme stratejilerinin ele alınması araştırılmıştır. Çeliğin terminal yapılarında ana taşıyıcı veya başka bir yapı elemanı olarak etkin kullanılması, terminal binalarının ileride doğacak ilave gereksinimlere göre büyütülmesini kolaylaştırdığı sonucuna ulaşmıştır.

Havaalanı kapasite analizine yeni bir yaklaşım geliştirilen çalışmada ise araştırma kapsamında belirlenen örnek havalimanlarında Bulanık Mantık Yöntemi ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri kullanılarak çeşitli terminal binası birimlerinde inceleme ve anket çalışmaları yapılmış ve kapasite analizleri konusunda yeni yaklaşımlarda bulunulmuştur. Araştırma sonucunda küçük ve büyük ölçekli havalimanlarına ait yolcu ve uçak sayısı bakımından etkin kapasite kullanımları belirlenmiştir Kıyıldı (2005).

Şaşmaz (2007) tarafından yapılan havalimanı terminallerinde büyük açıklık geçme sorunu ile ilgili tez çalışmasında; havalimanı terminal binaları taşıyıcı sistemleri, yeni terminal binaları taşıyıcı sistem seçiminde kullanılacak malzeme ve yöntemin büyük açıklık geçme konusundaki etkisi incelenmiştir. Araştırmanın

sonucunda ise terminal binalarının tasarım kriterleri ile strüktürel sistem kurgusunun büyüyebilme, kapasiteye bağlı olarak büyük açıklık geçebilme, hızlı yapım kriterlerine bağlı olarak tasarlandığı görülmekte olup geniş açıklık geçilmesi istenilen kısımlarda strüktürel yapı elemanı olarak çeliğin kullanıldığı belirtilmiştir.

İlker (2012), “Küçük Ölçekli Havalimanlarında Terminal Fonksiyonlarının Düzenlenerek Kapasitenin İncelenmesi” isimli tez çalışmasında havalimanı terminal binalarının kapasiteleri ve kapasiteyi etkileyen faktörlerin belirlenmesi, örnek havaalanlarında gözlem sonucu elde edilen veriler “Arcport” isimli yazılım ile incelenmiş, mevcut terminal binalarına mekânsal ve fonksiyonel yönden en uygun yeni bir tasarımın oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda havalimanı terminal tasarımında dikkat edilmesi gereken temel unsurlar özetlenerek genel tasarım kararları belirlenmiştir. Havalimanı terminal binaları için geliştirilen model ve yazılım terminal binalarının kapasite planlaması ve tasarımlarında iyileşme ve gelişme sağladığı belirtilmiştir.

Türkiye’deki havalimanı terminal bina tiplerinin analiz edildiği çalışma kapsamında örnek olarak seçilen havalimanı terminal binalarının UCL Depthmap programı ile analiz edilerek gelen ve giden yolcu katlarındaki ana işlevler ve yolcu sirkülasyonlarını gösteren bütünleşme haritalarının elde edilmiştir. Seçilen terminal binaları birbirleri ile karşılaştırılmış ve yolcu hareketi ve yönelimi açısından problem oluşturma potansiyeline sahip bölgeler belirlenmiştir. Araştırmanın sonucunda; iskele parmak tipi terminal binaları, kara tarafı ve hava tarafı ayrımı açısından verimlilikleri yüksek plan tipleri olduğu, ancak hava tarafı ve kara tarafı bağlantı bölgelerinde sorunlar oluşabildiği görülmüştür. Doğrusal tipli terminal binalarında kara tarafı yüksek derece bütünleşik mekanlara sahip iken iskele bloğunun uzunluğuna bağlı olarak mekânsal bütünleşmede düşüş olduğu görülmüştür. Karma tip terminal binalarda ise bütünleşik mekanların hem kara hem de hava tarafında olduğu görülmüştür Durgun (2014).

Önal (2015) havalimanı terminal binalarındaki strüktürel sistem gelişiminin biçime etkisi ve analizini yaptığı çalışmasında; havalimanı terminal binalarının

biçimlenmesini etkileyen işlevsel, strüktürel sisteme ve biçimlenme kararlarına yönelik verilerin belirlenmesi ile bir analiz yöntemi oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda terminal binalarında artan yolcu sayısını karşılayabilmek için yapım aşaması hızlı ve kolay, büyüebilme yetisine sahip, geniş açıklık geçebilen, esnek modellerin geliştirildiği, strüktür seçiminin biçimin ortaya çıkışında etkili olduğu, plan düzleminde işlev korunurken kesit düzleminde görsel etki ön plana çıktığı ve gelişen strüktür sistemleri ile organik biçimli yapıların önem kazandığı tespit edilmiştir.

Haydaroğlu vd. (2015), “Comparison of Footfall Induced Vibration Responses of Steel Passenger Boarding Bridges with Different Floor Types” başlıklı makalesinde İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü strüktürel açıdan ele alınmış, sonlu elemanlar yöntemini temel alan GSA Programı ile farklı döşeme sistemlerinde modellenmiştir. Modellenen terminal bağlantı köprülerinde yürüme eyleminden kaynaklanan titreşimlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Akçaeer (2016), “Havalimanı Terminal Binalarında Geniş Açıklık Geçme Sorunun Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Araştırılması” başlıklı tez kapsamında çelik strüktürle tasarlanmış havalimanı terminal binalarının çatı strüktürünün incelenmesi, sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesi, farklı çatı kaplama malzemelerinin strüktür sistemine olan etkisini karşılaştırılması yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda ise geniş açıklık geçme konusunda kemer şeklinde tasarlanmış çelik çatı strüktürlerinin düz ve dalgalı formda tasarlanmış çatı strüktürlerine göre daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca kemer formundaki çelik strüktürde kaplama malzemesi olarak alüminyum ve temperli cam kaplamalarının sistemdeki strüktürel etkileri karşılaştırılmıştır.

Clevenger ve Rogers (2017), “Managing Daylight in Airports” başlıklı makale kapsamında farklı zaman ve farklı dış ortam koşullarında belirlenen havalimanı terminal binası iç ortam aydınlık hesaplamaları yapılmıştır. Araştırma sonucunda; verimli bir doğal aydınlatmanın kullanıcıların konfor koşullarına olumlu etkisi olduğu ve terminal binasının enerji tüketimine olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

Pan ve Zhang (2017), “Research on Dynamic Characteristics of Boarding Bridge Unfer the Crowd Loads” başlıklı makalesi kapsamında 45 m açıklık geçen yolcu biniş köprüsünün ANSYS programı kullanılarak titreşim analizi yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda ayarlanmış kütle sönümleyicilerin, dinamik yükler altındaki yolcu biniş köprülerinde oluşan titreşimi azaltmaya yönelik pratik bir yöntem sağladığı görülmüştür.

Yang vd. (2017), “Thermal Performance Investigation on the Boarding Bridge of Beijing’s Capital Airport” başlıklı makalesi kapsamında Beijing Havalimanı Yolcu Biniş köprülerindeki iç ortam sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

Havalimanı terminal binalarının büyüyebilirlik bağlamında değerlendirildiği tez çalışması kapsamında ise Türkiye’de faaliyet gösteren havalimanlarının kapasite performansları analiz edilmiş, eski ve yeni terminal binalarının tasarımdaki esneklikleri değerlendirilmiştir. Araştırmanın sonucunda; yeni terminal binalarında dikdörtgen köşeli ve betonarme strüktürlü yapılarının yerini cam ve çelikten oluşan kıvrımlı ve yumuşak hatlı tasarımlara geçiş olduğu, üst örtülerin aynı zamanda çatı kabuğunu oluşturduğu, iç bahçelerin aktif kullanıldığı, doğal ışıktan daha çok yararlanma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir Aydın (2018).

Kotopouleas ve Nikolopoulou (2018), “Evaluation of Comfort Conditions in Airport Terminal Buildings” isimli makalesi kapsamında İngiltere’de bulunan üç havalimanı terminal binasında yapılan termal ve aydınlatma konfor ihtiyaçları araştırılmaktadır. Araştırmanın sonucunda konfor sıcaklıkları yaz ve kış dönemlerinde iç ortam sıcaklığından daha düşük bulunmuş kullanıcılar daha soğuk bir termal ortam tercih etmişlerdir. Aydınlatma koşulları ile ilgili olarak tüm terminallerde loş aydınlatma yerine parlak aydınlatma tercih edildiği bu sebeple enerji tasarrufu için tasarımda mümkün olduğunca doğal aydınlatmanın artırılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Özturan (2021) havaalanları mimarisinde esnek tasarım üzerinde bir karar verme modeli üzerine yaptığı tez çalışması kapsamında; havalimanı tasarımında esneklik

konusu üzerinde durulmuş ve analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak terminal binalarında çeşitli esnek mekânsal düzenler elde etme konusunda yeni bir çerçeveye geliştirilmiştir.

Çelik (2021), “Sürdürülebilir Havalimanı Yolcu Terminal Binaları İçin Ulusal Ölçekte Bir Tasarım Modeli Önerisi” başlıklı tez çalışmasında ise sürdürülebilirlik kavramı altında sürdürülebilirlik sertifikasına sahip veya sahip olabilecek havalimanı terminal binaları incelenmiş, yeni terminal binalarında sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek amacıyla yönlendirici kriterler belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde 2001 – 2021 yılları arasında havalimanları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış olduğu görülecektir. Havalimanı konusunda yapılan çalışmalar; havalimanı terminal binalarının tasarımı, esnekliği, sürdürülebilirliği, form ve biçimi, kullanılan malzeme türü, konfor koşulları, aydınlatma performansı, termal performansı, kapasite analizi, strüktürel analizi ve uygulama süreci ile ilgili olmuştur.

1.2 Problemin Tanımlanması

Havacılık sektörünün gelişimi ile birlikte havalimanı terminal binaları; zamanla bulunduğu şehir veya ülkede en son teknoloji ve sistemlerin kullanıldığı, ulaşım eylemi sırasında gerekebilecek tüm eylem ve ihtiyaçlara çözümlerin üretilebildiği, 24 saat işleyebilen prestij yapıları haline gelmiştir.

Ulaşım ve kullanım koşullarının iyileştirilmesi ile birlikte havayolu ulaşımının kullanımı giderek artmakta ve bu artış beraberinde başka bir sorunu ortaya çıkarmaktadır. Artan kullanıcı sayısı zamanla mevcut terminal binalarının yolcu kapasitesinin üzerine çıkmakta ve bu artış zaman ve konfor sorunlarını beraberinde getirmektedir.

Havalimanı terminal binalarının önemli bir parçasını olan yolcu biniş sistemleri ise terminal binaları ile hava araçlarının birbirine bağlantısını sağlayan kısmı olup

farklı işlev seviyeleri olan havalimanı terminal binalarında işlev, zaman ve konfor açısından önemli bir yere sahiptir. Yolcu biniş sistemleri ise terminal işlem seviyesine bağlı olarak terminal bağlantı köprüsü, rotunda ve yolcu biniş köprüsü gibi parçalardan oluşmaktadır.

Yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda yolcu biniş sistemlerinin bir parçası olan terminal bağlantı köprülerinde yapısal açıdan titreşim gibi işlev ve konfor koşullarını etkileyen sorunlar olduğu ancak çelik strüktürlü terminal bağlantı köprü döşemelerinde oluşan titreşim konusunda yeterli çalışmanın olmadığı görülmüştür.

1.3 Araştırmanın Hedef ve Amaçları

Bu tez çalışmasının hedefi, ülkemizde majör havalimanı olarak faaliyet gösteren İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı ve İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı terminal binalarında terminal binası ile yolcu uçağı arasında bağlantıyı sağlayan terminal bağlantı köprülerinin tanımlanması, yapısal analizlerinin yapılması, terminal bağlantı köprü döşemelerinde oluşan titreşimin hesaplanması ve mevcut titreşim değerinin azaltılmasına yönelik öneri modeller geliştirmektir.

Bu amaçla tanımlanan hedefler doğrultusunda;

- Dünya’da ve Türkiye’deki havacılık sektörünün gelişim sürecinin ele alınması,
- Yolcu biniş sistemleri, biniş sistemlerini oluşturan bileşenler ve biniş sistem tasarımının etkileyen faktörlerin tanımlanması,
- Titreşim kavramının tanımlanması ve yapısal bir sorun olarak titreşimin insan konforu açısından değerlendirilmesi,
- Belirlenen terminal bağlantı köprülerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizlerinin yapılması,
- Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri modellerin geliştirilmesi,

- Öneri olarak geliştirilen modellerin kullanılan malzeme ve yapısal sistemde oluşan titreşim değişimleri açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1.4 Araştırmanın Yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında incelenen havalimanı terminal bağlantı köprülerinin incelenmesi, analiz edilmesi ve elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde aşağıda belirtilen yöntem uygulanmıştır.

1. Adımda:

Araştırma kapsamında incelenen mevcut terminal bağlantı köprüleri ile mevcut terminal bağlantı köprülerine öneri olarak geliştirilen öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinin yapısal analizleri Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu doğrultuda SAP2000 v20.2.0 bilgisayar programında mevcut ve öneri terminal bağlantı köprülerinin sonlu eleman modeli oluşturularak yapısal analizleri elde edilmiştir.

2. Adımda:

Elde edilen analiz sonuçları AISC Steel Design Guide 11 (Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due To Human Activity) tasarım kılavuzundaki hesaplama yöntemlerine göre hesaplanarak mevcut ve öneri olarak geliştirilen terminal bağlantı köprü sistemlerinde oluşan titreşim (ivmelenme) değerleri elde edilmiştir.

3. Adımda:

Mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprü tasarımlarında kullanılan yapısal çelik profil tipi, kullanılan yapısal

elik kalitesi ve miktarlarındaki değişim açısından karşılaştırmalı model oluşturulmuştur.

4. Adımda:

Mevcut, neri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprü sistemlerinde oluşan titreşim (ivmelenme) değerlerindeki değişim açısından karşılaştırmalı model oluşturulmuştur.

5. Adımda:

Mevcut, neri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprü tasarımlarında kullanılan yapısal elik profil miktarlarındaki değişim ile köprü sistemlerinde oluşan titreşim (ivmelenme) değerlerindeki değişim açısından oluşturulan karşılaştırmalı modeller irdelenmiştir.

1.5 Araştırmanın Kapsamı

elik ereveli olarak tasarlanmış havalimanı terminal bağlantı köprülerinde insan faaliyetlerinden kaynaklanan döşeme titreşimlerinin yapısal analizlerinin yapıldığı bu tez altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; yapılan literatür taraması özetlenmiş ve tezin amaç, kapsam ve yöntemi anlatılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde; havalimanı kavramı ve tarihsel gelişimi ele alınmış, Dünya’da ve Türkiye’deki havacılık sektörü analiz edilmiştir. Ayrıca havalimanı alt ve st yapı bileşenleri tanımlanarak havalimanı terminal bağlantı köprü tasarımına etki eden unsurlar tanımlanmıştır.

Tezin nc bölümde; terminal bağlantı köprülerinde önemli bir sorun olarak karşımıza çıkan titreşim konusunda genel tanımlamalar yapılmış ve terminal bağlantı

köprü strüktür sistem analizinde kullanılan ve sayısal bir analiz yöntemi olan sonlu elemanlar yöntemi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde; İstanbul, Ankara ve İzmir illerinde faaliyet gösteren üç önemli havalimanı terminal bağlantı köprüleri strüktür sistemleri açısından incelenmiştir.

Tezin beşinci bölümünde ise İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sistemleri ile mevcut köprü sistemlerine öneri olarak geliştirilen modellere ait yapısal analiz sonuçları yer almaktadır.

Son olarak altıncı bölümde ise beşinci bölümde yer alan yapısal analizlerden elde edilen veriler karşılaştırmalı model oluşturularak irdelenmiştir.

Yapılan araştırma kapsamında mevcut terminal bağlantı köprü strüktür sisteminde kullanılan çelik profil tipi ve kalitesi ile döşeme sisteminde değişikliğe gidilerek öneri modeller oluşturulmuştur. Terminal bağlantı köprü sistemlerinde kullanılan çelik profil miktarı, çelik kaliteleri, döşeme sistemleri ile terminal bağlantı köprü sistemlerinde oluşan ivmelenme değişimleri araştırmanın sınırını oluşturmaktadır.

BÖLÜM İKİ

HAVALİMANI TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİ TASARIM ESASLARI

2.1 Havalimanı Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

Neufert yapı tasarımı kitabında havalimanları; “*havalimanı ve iniş pisti bileşenlerinden oluşmaktadır. Havalimanları ve iniş pistleri, her bir pilot tarafından ulaşılabilen ve özel amaçlara yarayan ulaşım ve özel havalimanları veya iniş pistleri olarak ayırt edilir.*” olarak tanımlanmıştır (Neufert, 2000). Ayrıca “*Bir havalimanı inşaatı için yapı planı en az 20 yıllık olarak hazırlanmalıdır ve ulaşım sektörü, uçak yapımındaki gelişmeler, yeni teknoloji v.s. uyum sağlaması için belirli sürelerde geliştirilmelidir*” denilerek havalimanlarının güncel ulaşım gereksinimlerini karşılamak üzere gelişim gösterdiğinden bahsedilmiştir (Neufert, 2000).

Havalimanı kelime anlamı olarak ise “*Havayolu ulaşımı ya da taşımacılığı için gerekli ticari ve teknik tesisleri de içeren büyük havaalanı*” şeklinde tanımlanmaktadır (Hasol, 2002). Kıyıldı ise 2005 yılında yapmış olduğu çalışmada havalimanını “*yolcu ve uçak trafiğinin düzenlenmesi için gerekli binaları, uçakları uçuşa hazırlamak için gerekli altyapıları kapsayan ve uçakların iniş ve kalkışını sağlamak için özel şekilde düzenlenmiş alanlardır.*” şeklinde tanımlamıştır (Kıyıldı, 2005).

Tanımlardan anlaşılacağı üzere havalimanları bünyesindeki fonksiyonlar ve bu fonksiyonların birbirleri ile ilişkisi açısından kompleks bir yapıya sahiptir. Bu durum havalimanının tasarım ve uygulama aşamasından başlayıp işletme sürecini de içine alan bir süreçtir. Havalimanları bu yönüyle diğer mimari yapılardan ayrı bir yerde bulunmaktadır. Bir havalimanında uçuş işlemleri için gerekli teknik birimlerinin yanı sıra hava yolu ulaşımını kullanan yolcuların farklı gereksinimlerini karşılayabilecek mekanlar bulunur. Bu nedenle havalimanlarını; ulaşım amacıyla tasarlanmış mimari bir yapı olduğu kadar ticari olarak faaliyet gösteren bir işyeri olarak tanımlamak mümkündür.

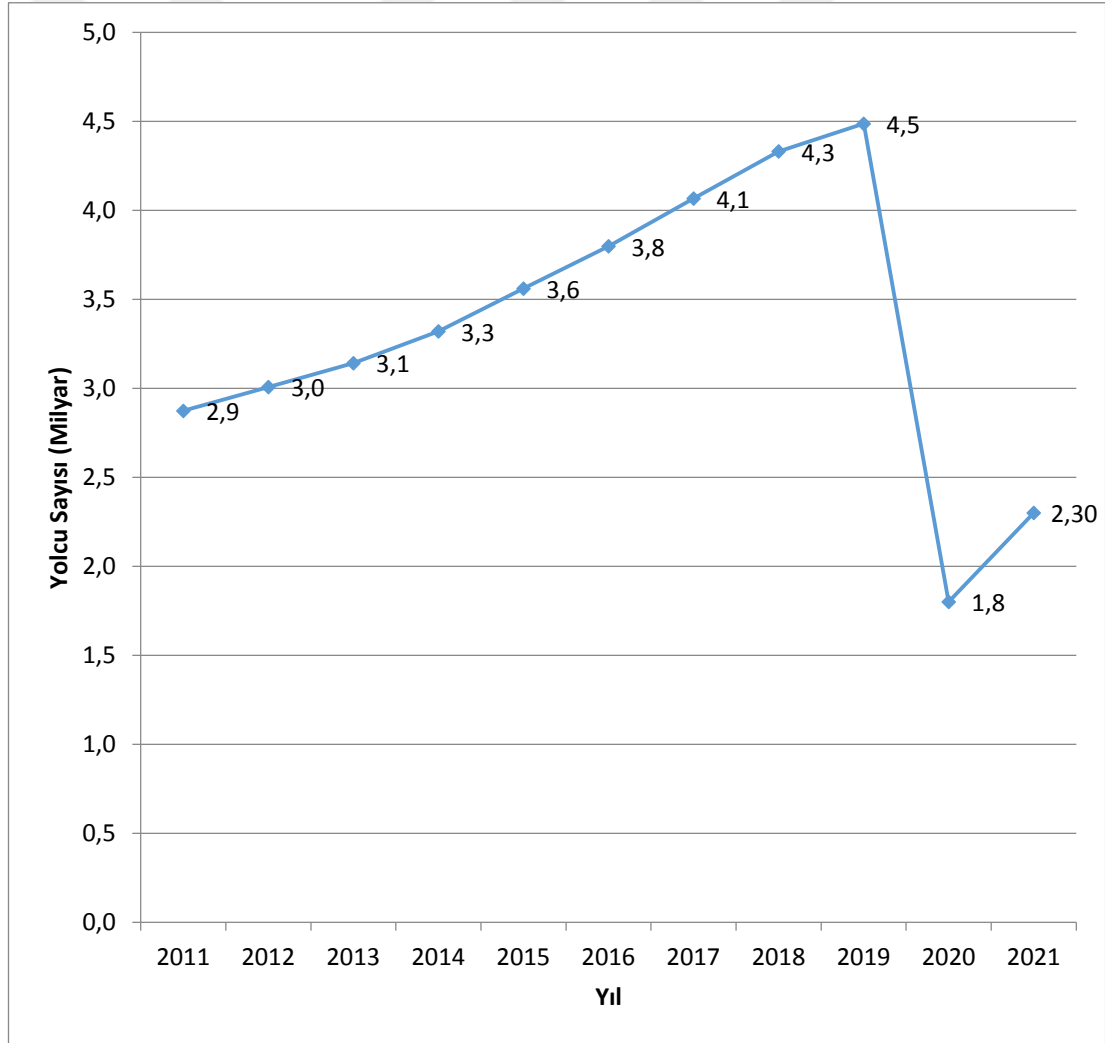
Bir havalimanı; uluslararası sivil havacılığın düzenli ve emniyetli gelişimini sağlamak, ekonomik kayıpların önüne geçmek, karışıklıkları ortadan kaldırmak ve ortak bir dil oluşturmak amacıyla uluslararası kurumlarca belirlenen standartlar çerçevesinde tasarlanmaktadır. Bu standartları belirleyip sivil havacılık sektörüne yön veren kurumlar ve bu kurumların amaçları aşağıdaki Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Üyesi olduğumuz ve bağlantılı olduğumuz uluslararası kuruluşlar (SHGM-1, 2022)

Kuruluş Adı	Kuruluş Tarihi/Yeri	Kuruluş Amacı
ICAO (International Civil Aviation Organization)	1944/Montreal (Üye)	Bütün dünyada uluslararası sivil havacılığın emin ve düzenli gelişmesini ve sürdürülmesini sağlamak
ECAC (European Civil Aviation Conference)	1955/Fransa (Üye)	Havacılık emniyeti alanında mevzuat geliştirmek ve üye ülkelerde emniyet denetimlerini yapmak
EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of air Navigation)	1960/Brüksel (Üye)	Avrupa hava trafik yönetimini ve emniyetini geliştirmek
JAA-TO (Joint Aviation Authorities-Training Organization)	1955/Fransa (Üye)	Avrupa havacılık emniyetinin sağlanması için duyulan eğitim ihtiyacını karşılamak
D8 (Sivil Havacılık Komisyonu)	2007 / İstanbul (Üye)	D8 ülkeleri sivil havacılık otoriteleri arasında koordinasyon ve işbirliğini geliştirmek
EASA (European Aviation Safety Agency)	2002/Köln (Bağlantılı)	Her türlü hava aracı, uçuş, üretim, denetleme ile ilgili mevzuatların oluşturulması ve uygulanmasını kontrol edip uçuş ve yer güvenliğini sağlaması
IATA (International Air Transport Association)	1945/Montreal (Bağlantılı)	Emniyetli, güvenli ve ekonomik hava ulaşımını sağlayabilmek
ACI (Airports Council International)	1991 (Bağlantılı)	Hükümetler ve uluslararası kuruluşlar ile havalimanlarının çıkarlarını temsil ederek, havalimanlarında standartlar, politikalar ve önerilen uygulamaların geliştirilmesi ve dünyadaki standartlarını yükseltmek, bilgi ve eğitim olanakları sağlanmasını amaçlamaktadır.

2.2 Dünya’da Havacılık Sektörü

Son yıllarda gerçekleştirilen havaalanı terminal binaları ve uçak iniş pistlerindeki iyileştirmeler, açılan yeni havalimanları, çevre yolu ve metro gibi havalimanlarına ulaşım kolaylıkları diğer ulaşım türlerine nazaran havayolu taşımacılığının gelişimini olumlu yönde etkilemiştir. Şekil 2.1’de International Civil Aviation Organization [ICAO] tarafından yayınlanan 2011 – 2021 yılları arası havayolu yolcu taşımacılığına ait veriler gösterilmiştir. Bu verilere göre 2021 yılında havayolu ulaşımını kullanan Dünya geneli toplam yolcu sayısı 2020 yılına göre %27,8 artarak 2,3 milyar yolcuya ulaşmıştır (ICAO-2, 2022).



Şekil 2.1 2011-2021 yılları Dünya geneli havayolu yolcu trafiği (ICAO-2, 2022)

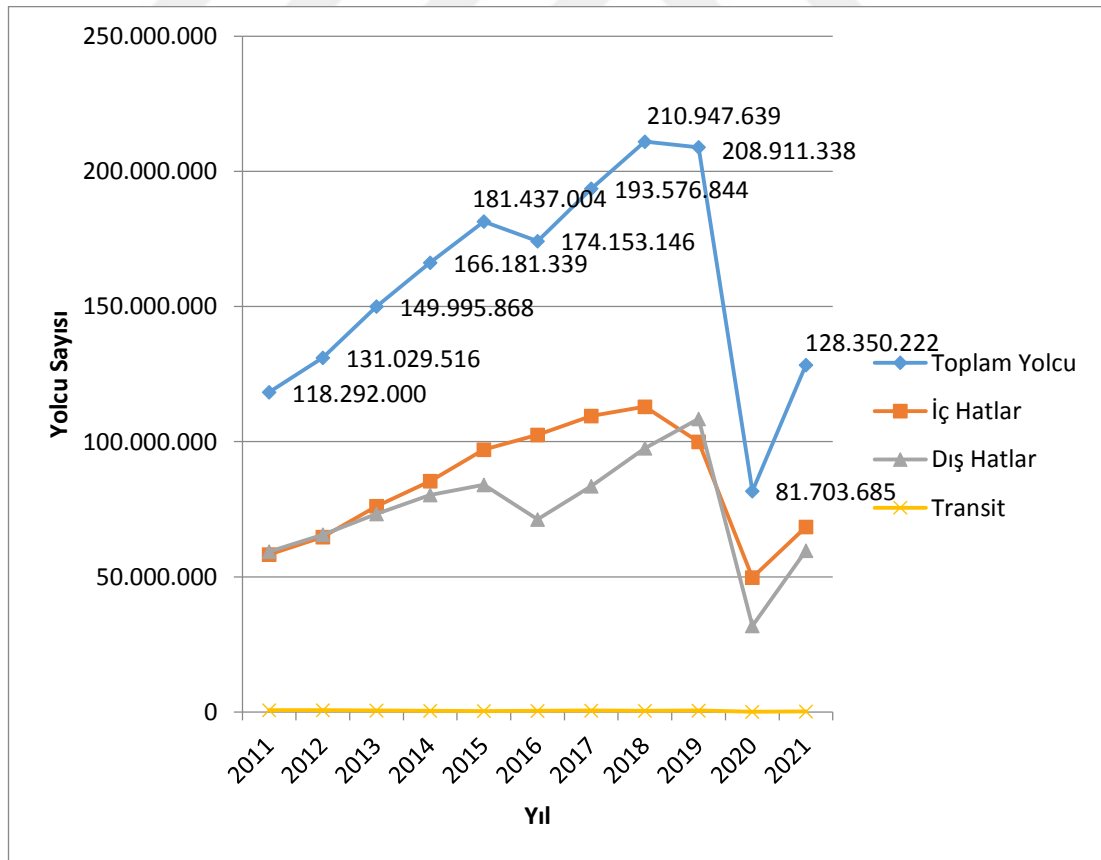
Dünya genelinde en fazla yolcu taşımacılığı gerçekleştirilen önemli havalimanı listesi Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu tabloya göre 2021 yılında Atlanta şehrinde bulunan Hartsfield-Jackson Atlanta International Havalimanını toplam 75,70 milyon yolcu ile listenin ilk sırasında yer almaktadır (ACI, 2022).

Tablo 2.2 Dünya geneli 2021 yılı yolcu sayısına göre ilk 25 havalimanı (ACI, 2022)

	Havalimanı	2020 (Yolcu Sayısı)	2021 (Yolcu Sayısı)	2020 / 2021 (%)
1	Hartsfield-Jackson Atlanta Int.Airport (US)	42.918.685	75.704.760	+76,39
2	Dallas/Fort Worth International (US)	39.364.990	62.465.756	+58,68
3	Denver International Airport (US)	33.741.129	58.828.552	+74,35
4	O'Hare International Airport (US)	30.860.251	54.020.399	+75,05
5	Los Angeles International Airport (US)	28.779.527	48.007.284	+66,81
6	Charlotte Douglas International Airport (US)	27.200.000	43.302.230	+59,20
7	Orlando International Airport (US)	21.617.803	40.351.068	+86,66
8	Guangzhou Bai Yun International Airport (CN)	43.760.427	40.259.401	-8,00
9	Chengdu Shuangliu International Airport (CN)	40.741.509	40.117.496	-1,53
10	McCarran International Airport (US)	22.255.000	39.710.493	+78,43
11	Phoenix Sky Harbor International Airport (US)	21.928.708	38.846.713	+77,15
12	Miami International Airport (US)	18.663.858	37.302.456	+99,86
13	Istanbul International Airport (TR)	23.409.000	36.988.563	+58,01
14	Shenzhen Baoan International Airport (CN)	37.916.000	36.358.185	-4,11
15	Seattle – Tacoma International Airport (US)	20.061.507	36.154.015	+80,22
16	Mexico City International Airport (MX)	21.981.711	36.154.015	+64,47
17	Chongqing Jiangbei International Airport (CN)	34.937.789	35.766.284	+2,37
18	Houston George Bush Intercontinental Airport (US)	18.213.571	33.677.118	+84,90
19	Shanghai Hongqiao International Airport (CN)	31.165.641	33.207.337	+6,55
20	Beijing Capital International Airport (Beijing)	34.513.827	32.639.013	-5,43
21	Kunming Changshui International Airport (CN)	32.989.127	32.221.195	-2,33
22	Shanghai Pudong International Airport (CN)	30.476.531	32.206.814	+5,68
23	Sheremetyevo International Airport (RU)	19.784.000	30.943.456	+56,41
24	Xi'an Xianyang International Airport (CN)	31.073.884	30.173.312	-2,90
25	Dubai International Airport (AE)	18.229.461	29.100.000	+59,63

2.3 Türkiye’de Havacılık Sektörü

Ülkemizde havacılık çalışmaları 1912 yılında bugünkü Atatürk Havalimanının hemen yakınındaki Sefaköy’de, tesis olarak iki hangar ve küçük bir meydana başlamıştır (SHGM-2, 2021). Son yıllarda yapılan yatırımlar ile havalimanı sayısı ve uçak sayısında artış meydana gelmiştir. Bugün ise ülkemizdeki kullanımda olan havalimanı sayısı toplam 59 adettir (SHGM-1, 2022). Özellikle son yıllarda gerçekleştirilen havalimanı terminal binaları ve uçak iniş pistlerindeki iyileştirmeler, açılan yeni havalimanları, çevre yolu ve metro gibi havalimanlarına ulaşım kolaylıkları diğer ulaşım türlerine nazaran havayolu taşımacılığının gelişimini olumlu yönde etkilemiştir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ] tarafından yayınlanan Şekil 2.2’deki verilere göre 2021 yılında havayolu ulaşımını kullanan Türkiye geneli toplam yolcu sayısı 2020 yılına göre %57,1 artış göstermiş ve 128,3 milyon yolcu olarak gerçekleşmiştir (DHMİ-1, 2022).



Şekil 2.2 2011-2021 yılları Türkiye geneli havayolu yolcu trafiği (DHMİ-1, 2022)

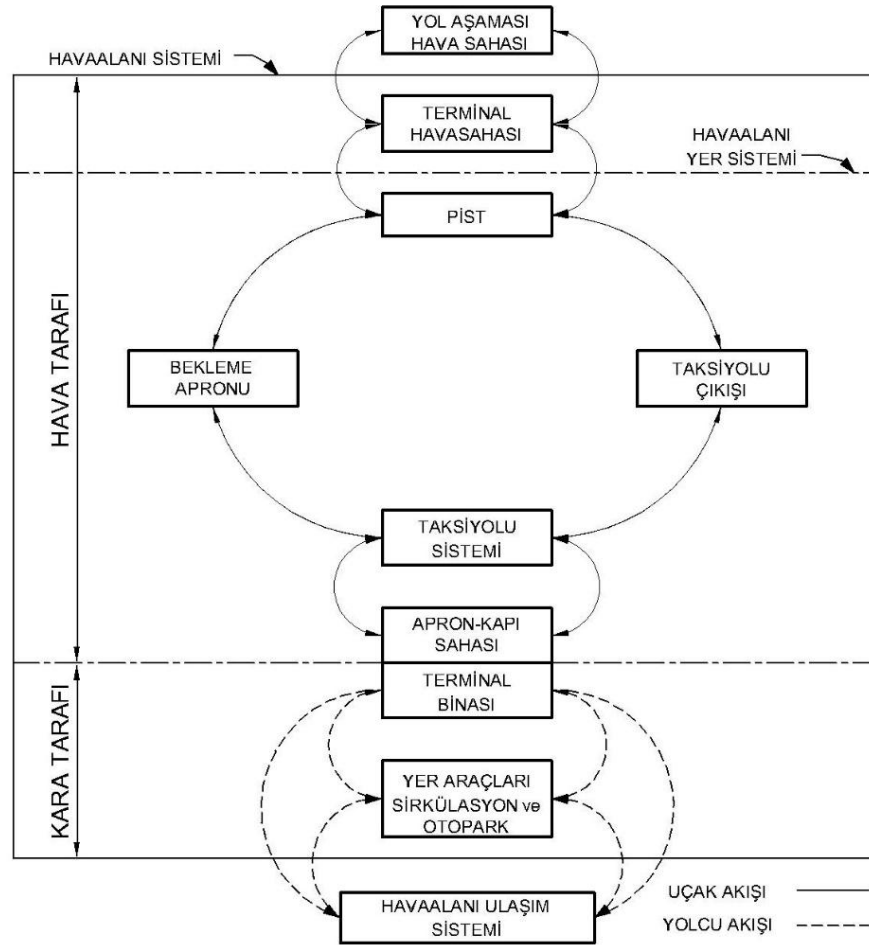
2021 yılında Türkiye genelinde havayolu ulaşımını 128,1 milyon yolcu tercih etmiştir (DHMİ-1, 2022). DHMİ tarafından yayınlanan 2021 yılı verilerine göre Türkiye genelinde yolcu taşımacılığı gerçekleştirilen havalimanı listesi Tablo 2.3'te verilmiştir. Bu tabloya göre 2021 yılında İstanbul şehrinde bulunan İstanbul Havalimanı toplam 37,1 milyon yolcu ile listenin ilk sırasında yer almaktadır. Yine İstanbul'da bulunan Sabiha Gökçen Havalimanı toplam 24,9 milyon yolcu ile listenin 2.'nci sırasında, Antalya da yer alan Antalya Havalimanı ise 22,0 milyon yolcusu ile listenin 3. sırasında yer almaktadır (DHMİ-1, 2022).

Tablo 2.3 Türkiye geneli 2021 yılı yolcu sayısına göre ilk 25 havalimanı (DHMİ-1, 2022)

	Havalimanı	2020 (Yolcu Sayısı)	2021 (Yolcu Sayısı)	2020 / 2021 (%)
1	İstanbul Havalimanı	23.410.380	37.181.907	+58,83
2	İstanbul Sabiha Gökçen	16.951.190	24.900.907	+46,90
3	Antalya Havalimanı	9.711.195	22.013.861	+126,69
4	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	5.464.858	7.569.054	+38,50
5	Esenboğa Havalimanı	5.162.569	7.029.630	+36,17
6	Adana Havalimanı	2.507.344	3.399.491	+35,58
7	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı	1.480.339	2.909.337	+96,53
8	Trabzon Havalimanı	1.801.600	2.642.327	+46,67
9	Muğla Dalaman Havalimanı	1.587.125	2.323.874	+46,42
10	Gaziantep Havalimanı	1.390.784	1.859.524	+33,70
11	Kayseri Havalimanı	1.161.159	1.682.209	+44,87
12	Diyarbakır Havalimanı	1.115.642	1.349.124	+20,93
13	Van Ferit Melen Havalimanı	976.311	1.265.467	+29,62
14	Samsun Çarşamba Havalimanı	868.141	1.126.078	+29,71
15	Hatay Havalimanı	635.458	898.377	+41,37
16	Erzurum Havalimanı	563.048	780.710	+38,66
17	Ordu-Giresun Havalimanı	556.432	740.653	+33,11
18	Konya Havalimanı	495.861	662.397	+33,59
19	Malatya Havalimanı	478.082	650.743	+36,12
20	Mardin Havalimanı	397.564	580.889	+46,11
21	Antalya Gazipaşa Havalimanı	270.868	579.635	+113,99
22	Elazığ Havalimanı	541.827	559.236	+3,21
23	Şanlıurfa Havalimanı	407.531	555.187	+36,23
24	Batman Havalimanı	371.583	526.546	+41,70
25	Kars Harakani Havalimanı	381.123	453.366	+18,96

2.4 Havalimanı Sistem Bileşenleri

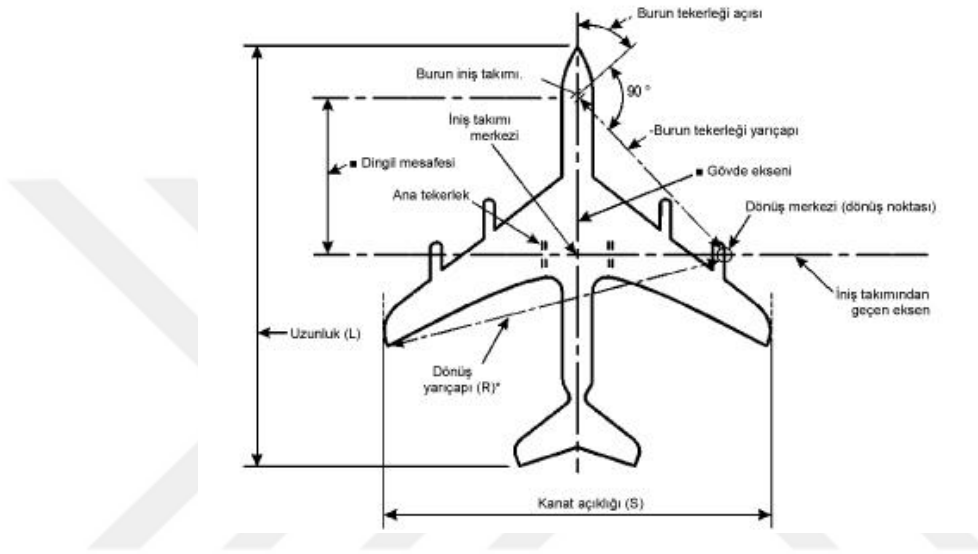
Havalimanlarına fonksiyon açısından bakacak olursak; hava tarafı ve kara tarafı olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Hava tarafı bileşenleri; uçağın iniş, kalkış ve park işlemlerinin yapıldığı, yolcu ve yüklerin indirme ve bindirme işleminin gerçekleştiği kısmı oluşturmaktadır. Kara tarafı bileşenleri ise; yolcu ve kargo işlemlerinin gerçekleştiği terminal binası, havalimanına ulaşım yolları ve otopark birimleri, havalimanı tesis binalarının bulunduğu kısmı oluşturmaktadır (Tunç, 2003). Hava tarafı ve kara tarafı arasındaki işlevsel farklılıkların olması, güvenlik ve emniyet gereksinimleri havalimanı tasarımını çok karmaşık bir süreç haline getirmektedir. Şekil 2.3'te havalimanı sistem bileşenleri ve bu bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Havalimanı sistem bileşenleri (Horonjeff, 2010)

2.5 Uçakların Karakteristik Özellikleri

Bir uçağın kanat açıklığı, gövde uzunluğu, dönüş yarıçapı vb. özellikleri onun karakteristik özelliklerini belirlemektedir. Şekil 2.4'te uçakların karakteristik özelliklerini gösterir şekil verilmiştir. Tablo 2.4'te ise başlıca kullanılan ticari uçakların teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.4 Uçakların boyutlandırılması (SHGM-3, 2011)

Tablo 2.4 Başlıca kullanılan ticari uçakların teknik özellikleri (IATA, 2016)

Üretici Firma	Uçak Modeli	ICAO Referans Kod	Gövde Uzunluğu (m)	Kanat Açıklığı (m)	Kuruk Yüksekliği (m)	Uçak Kalkış Pist Uzunluğu (m)
Boeing	B737-800	4C	39,47	35,80	12,50	2.640
Boeing	B747-400	4E	70,60	64,40	19,40	3.018
Boeing	B747-8	4F	76,30	68,50	19,40	3.090
Boeing	B767-300ER	4D	54,90	47,60	15,80	2.920
Boeing	B777-200	4E	63,70	60,90	18,50	2.620
Boeing	B777-300ER	4E	73,90	64,80	18,50	3.160
Boeing	B787-8	4E	57,00	60,00	17,00	3.100
Airbus	A319	4C	31,44	34,10	12,56	2.080
Airbus	A320	4C	37,57	35,80	11,76	2.105
Airbus	A321	4C	44,51	35,80	11,76	2.286
Airbus	A330-200	4E	58,82	60,30	17,39	2.590
Airbus	A330-300	4E	63,69	60,30	16,83	2.657
Airbus	A340-600	4E	75,36	63,45	17,22	3.100
Airbus	A350-900	4E	66,80	64,75	17,05	2.830
Airbus	A380-800	4F	72,72	79,75	24,09	2.750

2.6 Apron Tasarımı

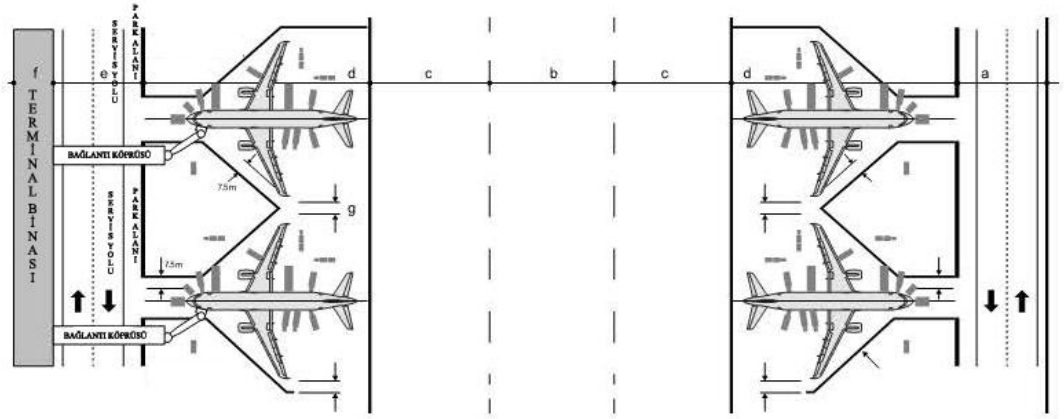
Havalimanlarının hava tarafı kısmı bileşenlerinden olan Apronlar; yolcu indirme ve bindirme faaliyetinin gerçekleştiği, kargo ve postaların yükleme ve boşaltma işleminin yapıldığı ve hava araçlarının yakıt ikmali, par ve bakım amacıyla durdukları bölgelerdir. Apronlar amaç ve işlevlerine göre yolcu terminali apronu, kargo terminali apronu, bakım terminali apronu, park apronu, bekleme alanları, genel havacılık apronu ve helikopter apronu olarak sınıflandırılır (SHGM-4, 2006).

Apron tasarımı gerçekleştirilirken göz önünde tutulması gereken gereksinimler; uçakların aprondaki manevraları için gerekli ‘emniyet hususları’, uçak operasyonlarının verimliliği için ‘elverişlilik’, apron alanının sağlıklı kullanımı açısından ‘geometrik etkinlik’, apron sahasının değişe koşullara uyum sağlayabilmesi için ‘esneklik’, apron alt yapı sisteminin kullanım durumuna göre kullanılabilir olması için ‘genel tasarım şartları’ olarak tanımlanabilir (Tunç, 2003). Tablo 2.5’te uçakların referans kodlarına göre tahmini alan ihtiyaçları gösterilmektedir.

Tablo 2.5 Uçak referans kodlarına göre yaklaşık apron alan ihtiyacı (IATA, 2016)

ICAO Referans Kodu	B	C	D	E	F
Alan İhtiyacı (hektar)-Bağlantılı	0,22	0,41	0,75	1,14	1,50
Alan İhtiyacı (hektar)-Bağlantısız	0,19	0,37	0,69	1,07	1,42

Şekil 2.5’te ise uçakların bağlantılı bekleme ve uzaktan bekleme için öneri yerleşim planı yer almaktadır. Bu yerleşim planında uçakların birbirleri ve diğer sabit birimler ile aralarındaki olması gereken optimum mesafeler belirlenmiş olup bu optimum mesafeler ise Tablo 2.6’da gösterilmiştir.



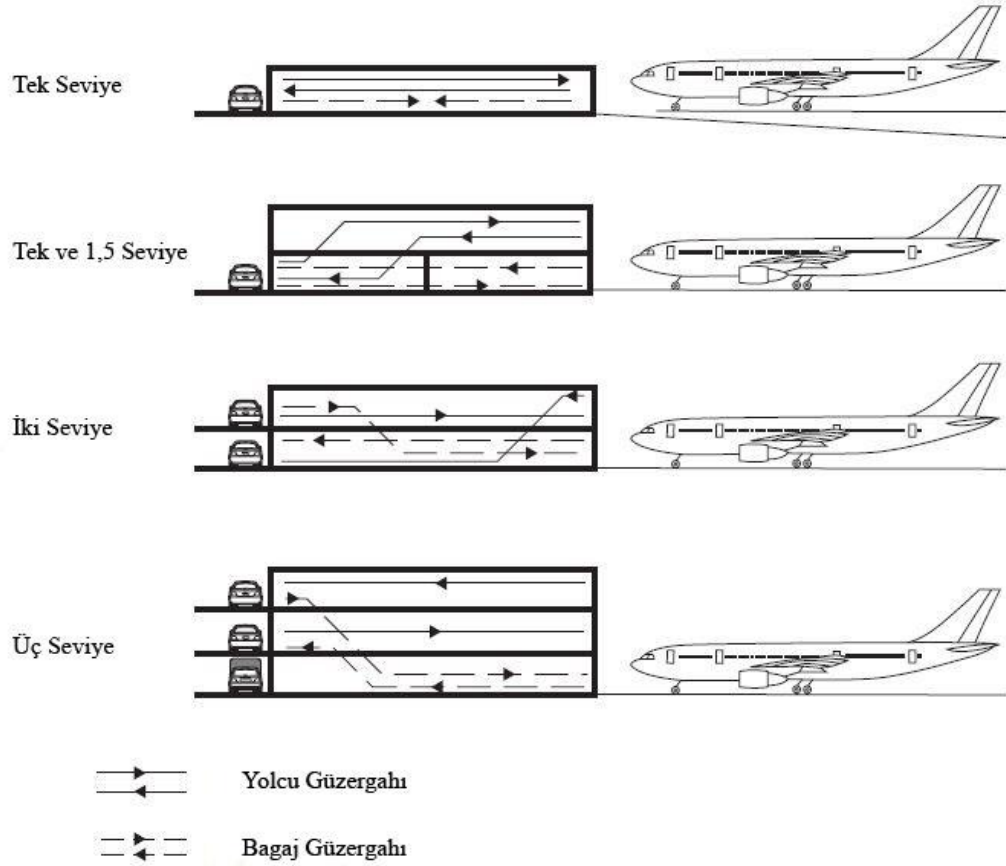
Şekil 2.5 Bağlantılı bekleme ve uzak bekleme için öneri yerleşim planı (IATA, 2016)

Tablo 2.6 IATA tarafından önerilen açıklıklar (IATA, 2016)

ICAO Uçak Referans Kodu	Kanat Açıklığı Kriteri	Uçak Özellikleri			Bağlantı Yolunun Başı	Taksi Yolu Merkez Hattından Taksi Yolu Merkez Hattına	Taksi Yolu, Uçak Bekleme Alanından başka Taksi Şeridi	Uçak Bekleme Alanı Derinliği	Bekleme Alanı Başı, Servis Yolu, Uçak Geri İtme Arac Açıklığı	Uydu Binası Genişliği	Uçaklar Arası Minimum Açıklık
		Uçak Modeli	Gövde Boyu	Kanat Açıklığı	a	b	c	d	e	f	g
B	15-24 m	CRJ	26,78	21,21	20	33,5	21,5	30,0	30,0	25-35	3,0
C	24-36 m	A319	33,84	34,10		44,0	26,0	45,0			4,5
		A320-200	37,57	34,10							
		B737-800	39,50	34,30							
D	36-52 m	B767-300ER	54,94	47,57		66,5	40,5	55,0			7,5
E	52-65 m	A340-600	73,50	63,45		80,0	47,5	80,0			7,5
		A350-900	66,89	64,80							
		B787-8	56,70	60,10							
		B777-200	63,73	60,95							
		B747-400	70,67	64,94							
F	65-80 m	B747-8	76,25	68,45	97,5	57,5	85,0	7,5			

2.7 Yolcu İşlem Seviyeleri

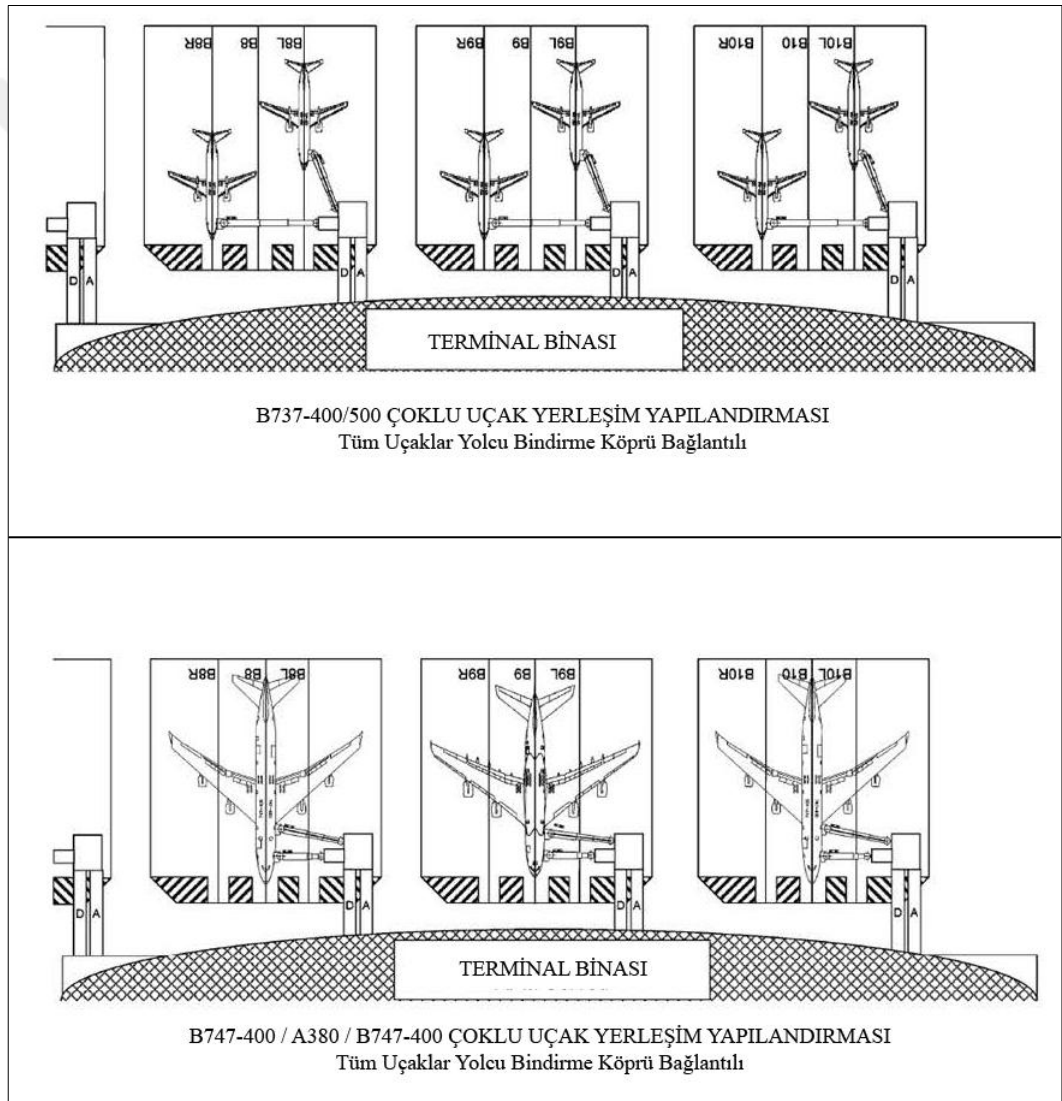
Yolcu işlem seviye durumu yolcu biniş sistem seçiminde etkili diğer bir tasarım unsurudur. Küçük ölçekli havalimanı terminal binalarında yolcu ve bagaj aktiviteleri tek işlem seviyesinde çözülebilmekte iken günümüzde havalimanı kapasitelerinin artması, zaman ve konfor açısından optimum faydanın sağlanma ihtiyacı sebebiyle üç işlem seviyeli havalimanı terminal tasarımları geliştirilmiştir. Burada işlem seviyeleri gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj işlem seviyelerinden meydana gelmektedir. Havalimanı içerisindeki gelen yolcu giden yolcu ve bagaj akış güzergahının birbirlerini etkilemeyecek şekilde düzenlenmesi istenmektedir. Burada amaç ana işlem binasında benzer işleyişleri farklı katlarda çözümleyerek işleyiş çakışmalarının önüne geçmektir. Şekil 2.6'da günümüzde havalimanı terminal binalarında kullanılmakta olan farklı işlem seviye şemaları gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Yolcu işlem seviyeleri (Ashford, 2011)

2.8 Yolcu Biniş Sistemleri

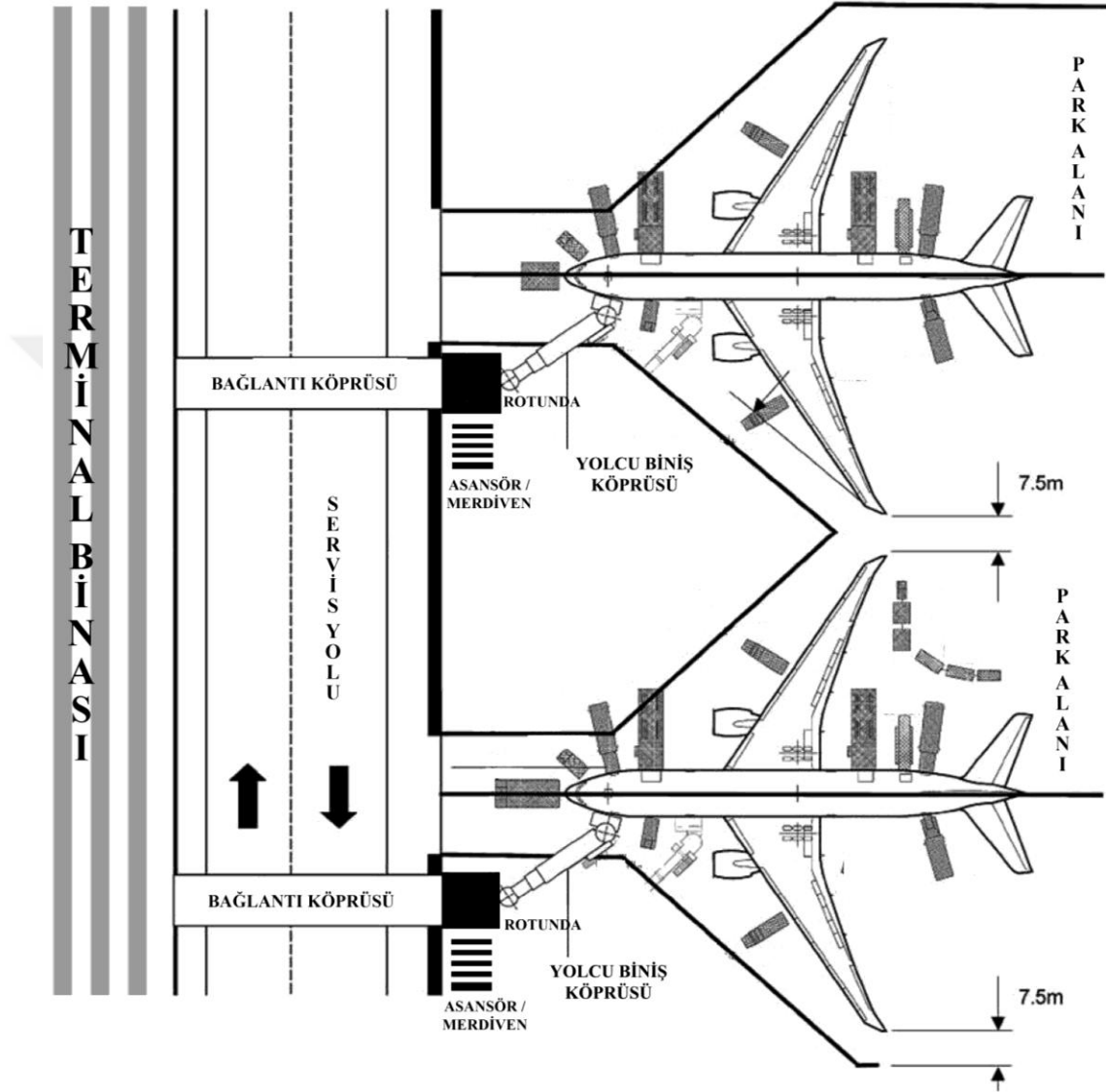
Yolcu biniş sistemleri; havalimanı terminal giden/gelen yolcu kapısından yolcu uçağına kadar bağlantıyı sağlayan kısımdır. Bu sistemler kapalı bir sistem olup terminal binasından uçağına kadar hızlı ve güvenli ulaşım imkan tanır. Yolcu biniş sistemlerinin tasarımı; hizmet verilecek uçak karakteristikleri, apron tasarımı ve terminal binası yolcu işlem seviyesi ile tutarlı olmalıdır. Bu ana faktörler yolcu biniş sistem tercihlerini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 2.7 Çoklu uçak yerleşim düzenlemesi (IATA, 2016)

Şekil 2.8 Uçakların park pozisyonları (SHGM-3, 2011)

Şekil 2.9’da örnek yolcu biniş sistemini gösterir tasarım verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere yolcu biniş sistemleri; bağlantı köprüsü, rotunda grubu ve yolcu biniş köprüsünden oluşmaktadır.



Şekil 2.9 Yolcu biniş sistemi (IATA, 2016)

Terminal işlem seviyesi ve tasarım esaslarına göre sadece yolcu biniş köprüsü sistem olabildiği gibi günümüz terminal binalarında bağlantı köprüsü-rotunda-yolcu biniş köprülerini bir arada içeren yolcu biniş sistemleri de kullanılmaktadır. Yolcu biniş sistemlerini oluşturan kısımlar aşağıdaki tanımlanmıştır.

2.8.1 Terminal Bağlantı Köprüleri

Terminal bağlantı köprüleri; gelen yolcu, giden yolcu ve transit yolcuların terminal binasından rotunda kısmına veya rotunda kısmından terminal binasına bağlantı sağlayan sabit kısımdır. Havalimanının hizmet vereceği uçakların karakteristik özellikleri ile terminal binasının işlem seviyesi terminal bağlantı köprülerinin sayısı, tasarımı ve birbirleri ile olan mesafelerini belirlemektedir. Terminal bağlantı köprülerinin uzunluğu ise terminal binası işlem seviyelerinin yüksekliği ile bağlantılıdır.

International Air Transport Association [IATA] tarafından yayımlanan tasarım klavuzunda yolcu bindirme köprülerindeki eğimin % 12.5'i geçmemesi, bağlantı köprülerinin altından geçen servis yolundan yüksekliğinin ise 4.2 m'den az olmaması önerilmektedir (IATA, 2016).



Şekil 2.10 Sabiha Gökçen Havalimanı çoklu terminal bağlantı köprüsü (BCES, 2021)



Şekil 2.11 İstanbul Havalimanı bütünleşik terminal bağlantı köprüsü (İGA-2, 2021)

Terminal bağlantı köprü sistem açıklıkları; terminal binası işlem seviye kat yüksekliği ile ihtiyaç duyulan servis yolu genişliğine bağlı olarak değişmektedir. Terminal bağlantı köprüleri sistem olarak; tekli, Şekil 2.10'daki gibi çoklu (her işlem seviyesine doğrudan ulaşım) veya Şekil 2.11'deki gibi bütünleşik (tüm işlem seviyelerine dolaylı ulaşım) olarak ta çözülebilmektedir.

2.8.2 Yolcu Biniş Köprüleri

Tekerlekli destek sütunu ve rotunda kısmına mafsallı şekilde bağlantılı, uçağın park durumuna göre hareket edebilen, rotunda etrafında dönebilen kısımdır. Gelen yolcuların hava aracından rotunda kısmına, giden yolcuların ise rotunda kısmından hava aracına ulaşımını sağlamaktadır. Şekil 2.12'de tekli yolcu biniş köprüsüne

örnek, Şekil 2.13'te ise Multiple Apron Ramp System [MARS] yolcu biniş köprüsüne örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Esenboğa Havalimanı - Tekli yolcu biniş köprüleri (TESEM, 2021)



Şekil 2.13 İstanbul Havalimanı MARS tipi çoklu yolcu biniş köprüleri (İGA-3, 2021)

2.8.3 Rotunda Grubu

Rotunda; merdiven ve asansör çekirdeğini terminal bağlantı köprüsü ve bir veya daha fazla yolcu biniş köprüsü ile bağlayan kısımdır. Rotundanın terminal binası ve aprona göre konumu önemlidir. Rotunda uçakların terminal binası ve birbirlerine engel olmadan park etmesine izin verirken altından servis yolu için gerekli yüksekliği sağlar. Rotunda tasarımında; hizmet verilmesi planlanan uçak kapılarının yerden yüksekliği, servis yolunu kullanacak araçların yüksekliği, köprü eğimleri ile apron eğim özellikleri dikkate alınmalıdır (SHGM, 2009).

Genel olarak yolcu bindirme sistemleri aşağıdaki işlevleri yerine getirmelidir:

- Uçak ve terminal binası arasında doğrudan ulaşım sağlamalı,
- İniş ve kalkış sürelerini azaltmalı,
- Uçağın yükleme / boşaltma işlemleri sırasında kabinde bir alan sağlamalı,
- Uçağın yükleme / boşaltma işlemleri sırasında stabilite sağlamalı,
- Gelen ve giden yolcuları dış hava koşullarından korumalı
- Gelen ve giden yolcuları olası yangın durumundan korumalı,
- Gelen ve giden yolcuların acil durumlara direkt tahliyesine olanak vermelidir.

BÖLÜM ÜÇ

YAPISAL BİR SORUN OLARAK “TİTREŞİM”

3.1 Titreşim Kavramı

Sağlamlık, estetik, konfor, fonksiyon ve maliyet yapısal tasarımın temel unsurlarındandır. Her bir unsur yapısal sisteme yapının kullanım amacına bağlı olarak belirli bir oranda etki etmektedir. Bu temel unsurlardan herhangi birinde meydana gelen ihtiyacı karşılamama durumu yapısal tasarımın bütününde bir sorun oluşturmaktadır.

Yapısal bir sorun olarak ortaya çıkan titreşim; yapısal tasarımda konfor koşullarını etkileyen unsurlardan biridir. Titreşim; sabit bir denge noktası etrafındaki mekanik salınım olarak tanımlanabilir. Titreşim sorunu yeni bir durum değildir. Tredgold tarafından 1828 yılında yapılan bir çalışmada geniş açıklık geçen yapılarda kirişlerin kesitlerini yükselterek döşeme üzerinde oluşan titreşimlerin önüne geçilebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca askerlerin köprü geçişleri sırasında rezonans titreşimi oluşumunu engellemek için uygun adım yürüyüşüne ara verildiğinden bahsedilmiştir (Allen ve Murray, 1993).

Lanzen tarafından 1966 yılında yapılan çalışmada dinamik yükler altındaki zemin titreşimlerinin sistemin sönümlenmesi ve kütlesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca döşemede deplasman kontrolüne ek olarak zemin ivmelenmesini temel alan yeni bir hesaplama yöntemi oluşturmaya öncülük etmiştir (Lanzen, 1966).

1991 yılında Naeim tarafından döşemede oluşan titreşiminin önüne geçebilme amacıyla bir tasarım kılavuzu oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım kılavuzunda insanları etkileyen titreşimler tanımlanmış, insan aktivite türleri sınıflandırılmış, döşemelerde oluşan titreşimi etkileyen faktörler belirlenmiştir (Naeim, 1991).

Allen ve Murray 1993 yılında yürüme kaynaklı titreşimler için tasarım kriterlerini kapsayan bir çalışma yayımlamışlardır. Yapılan bu çalışma günümüzde kullanılan

tasarım yöntemlerine öncülük etmiştir (Allen ve Murray, 1993). 2011 yılında Li ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada; yüksek dayanımlı ve hafif malzemelerin yaygın kullanımı ile geniş açıklıklı yapılar tasarlanmış ve bu durum özellikle ritmik aktivitelerin yapıldığı geniş açıklık geçilen binalarda aşırı bir döşeme titreşimine sebep olabileceği belirtilmiştir (Li ve diğer., 2011).

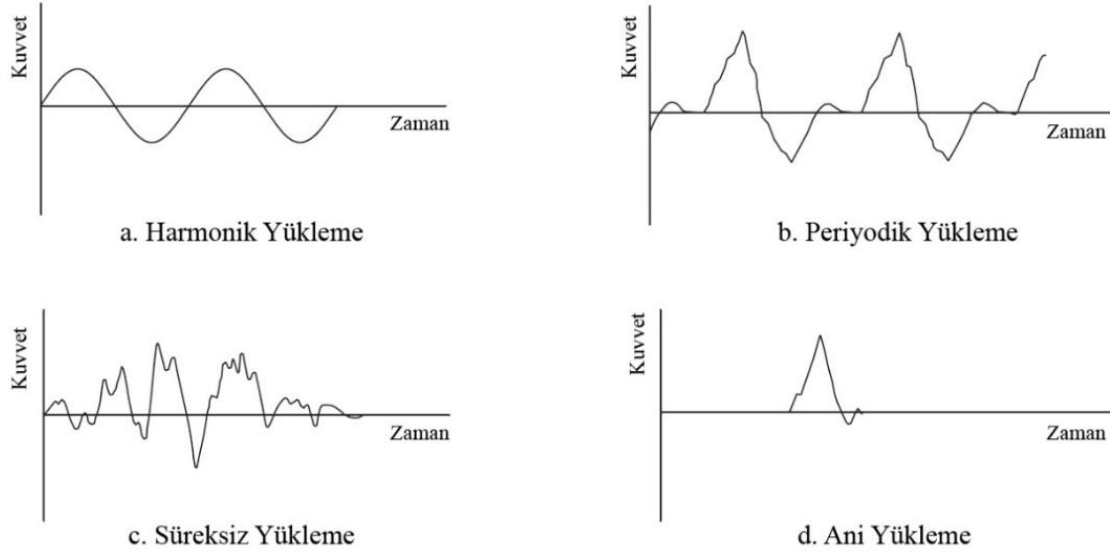
Murray ve diğerleri 2016 yılında yayımlamış oldukları tasarım kılavuzunda; daha önce yaptıkları çalışmaları güncelleyerek insan faaliyetinden kaynaklanan titreşim hareketini farklı çelik çerçeveli yapısal sistemlerde incelemiştir. Tasarım kılavuzunda hem insan hem de hassas ekipmanlar için sistemde oluşan titreşim koşullarını kontrol etmek amacıyla basitleştirmiş yöntemler önerilmiştir (Murray ve diğer., 2016). Işık tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada ise farklı tipteki yapılarda titreşim ölçümleri yapılmış ve elde edilen veriler titreşim konforu açısından değerlendirilmiştir (Işık, 2018).

Titreşim konusunda yapılan çalışmalarda; titreşim probleminin sadece yapının kendisini değil yapının içinde bulunan ekipmanları veya kullanıcıları da doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu kapsamda titreşim konusunda genel tanımlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 Dinamik Yükler

Dinamik yükler; doğrultusu, büyüklüğü, etki yeri zamanla değişen yükler olarak tanımlanır ve Şekil 3.1’de gösterildiği üzere harmonik, periyodik, süreksiz ve anlık yüklemeler olarak sınıflandırılır (Yıldız, 2014).

Harmonik yükler genellikle dönme hareketi yapan makine etkileri ile oluşmaktadır. Periyodik yükler dans ve aerobik gibi ritmik insan aktiviteleri ile tekrarlı etki oluşturan makine etkileri ile oluşmaktadır. Süreksiz yükler yürüme ve koşma gibi insan hareketi sonucu oluşan etkiler ile oluşmaktadır. Anlık yükler ise zıplama gibi anlık hareketler sonucu oluşmaktadır (Murray ve diğer., 2016).



Şekil 3.1 Dinamik yükleme tipleri (Murray ve diğer., 2016)

3.1.2 Titreşimin Büyüklüğü

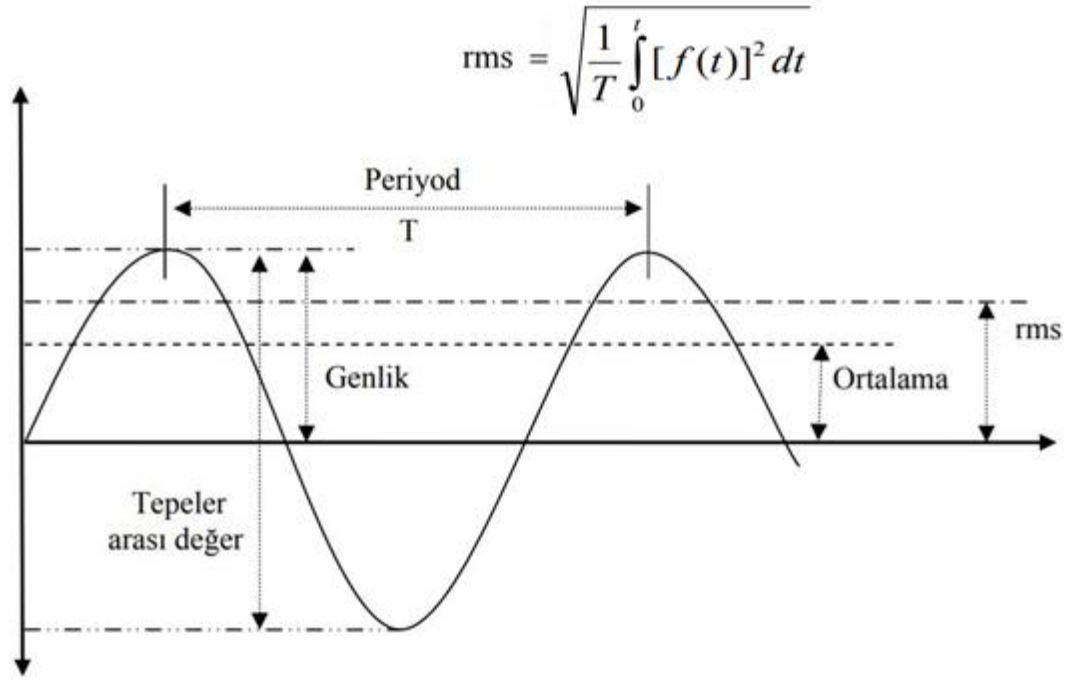
Hız; bir cismin birim zamandaki yer değiştirmesidir. Salınım yapan bir cisim dönüşümlü olarak bir yönden diğerine hareket etmektedir. Titreşim büyüklüğü ise bu ters yönlerdeki hareketin hızı veya ivmesi olarak tanımlanır. Bir titreşimin büyüklüğü Root Mean Square [RMS] karelerin toplamının karekökü olarak verilir (Çalık, 2017).

3.1.3 İvme

Hızın zamana göre türevine ivme denir ve birimi m/s^2 olarak tanımlanır. Yapısal sistemlerde titreşime bağlı sınır değerlerde ivme değerleri kullanılır.

3.1.4 Periyot ve Frekans

Periyot Şekil 3.2’de gösterildiği üzere bir devir süresince geçen zaman olarak tanımlanmaktadır ve birimi (t) saniyedir. Frekans ise bir olayın birim zamanda (1 saniye) tekrarlanma sıklığı olarak tanımlanır ve birimi (Hz) Hertz’dir. Periyot ile frekans “ $T=1/f$ ” olarak bağlantılıdır.



Şekil 3.2 Mekanik titreşimde temel büyüklükler (Çalık,2017)

3.1.5 Rezonans

Rezonans; belirli bir frekansta titreşen bir sistemin, aynı frekanstaki bir dış titreşimin etkisinde kalarak yüksek genlikte titreşmesi olayıdır. Rezonans durumunda sistemin hareket genliği dış etki ile en büyük değerinden daha büyük bir değer almasına sebep olmaktadır. Genliğin bu şekilde giderek artması yıkıcı sonuçlar oluşturabilir. Şekil 3.3'te yer alan Tacoma Köprüsü 1940 yılında inşa edilmiştir. Köprüde; rüzgar nedeniyle oluşan salınım köprünün doğal frekansı ile çakışmış ve rezonans oluşturarak yıkılmasına sebep olmuştur (Bernd-Nebel, 2021).

3.1.6 Sönümlenme ve Kritik Sönümlenme

Sönümlenme, titreşimli bir sistemde zamanla mekanik enerjinin kaybını ifade eder. Sönümlenme genellikle kritik sönümlenme oranı olarak ifade edilir ve bu da gerçek sönümlenmenin kritik sönümlenmeye oranıdır. Kritik sönüm dengeden çıkarılan ve salınan serbest bir titreşim sisteminin salınım olmadan dinlendiği en az miktardaki sönümdür (Murray ve diğer., 2016).



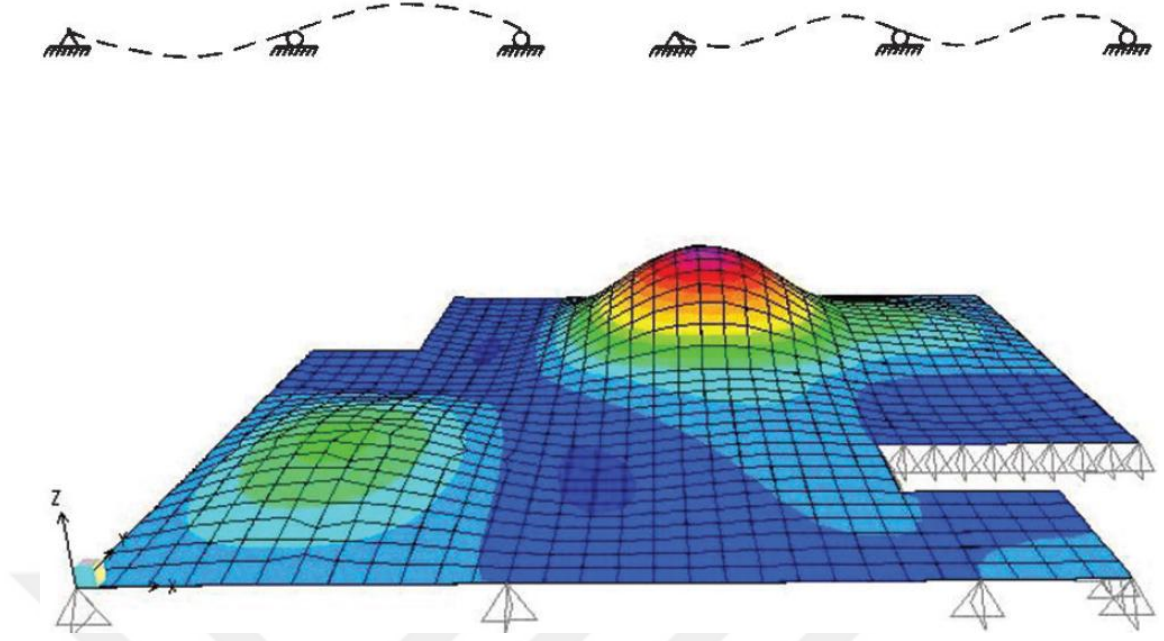
Şekil 3.3 Tacoma Narrow Köprüsü, Tacoma-ABD (Bernd-Nebel, 2021)

3.1.7 Modal Analiz

Bir yapının doğal frekansları ve mod şekilleri analitik ve deneysel yöntemler olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Analitik yöntemlerde sisteme ait veriler bilgisayar destekli program yardımıyla elde edilen veriler kullanılırken deneysel yöntemlerde ise sistem üzerinde oluşan titreşim kaynaklı tepkiler ölçülmekte ve bu ölçüm verileri kullanılmaktadır (Yıldız, 2014).

3.1.8 Mod Şekli

Bir yapı belirli bir modda serbestçe titreştiğinde mod şekli olarak adlandırılan belirli bir sapma biçimiyle hareket eder. Her doğal frekans kendisiyle ilişkilendirilmiş bir mod şekline sahiptir. Şekil 3.4'te kiriş ve döşeme sistemleri için tipik mod şekilleri verilmiştir (Murray ve diğer., 2016).



Şekil 3.4 Tipik mod şekilleri (Murray ve diğer., 2016)

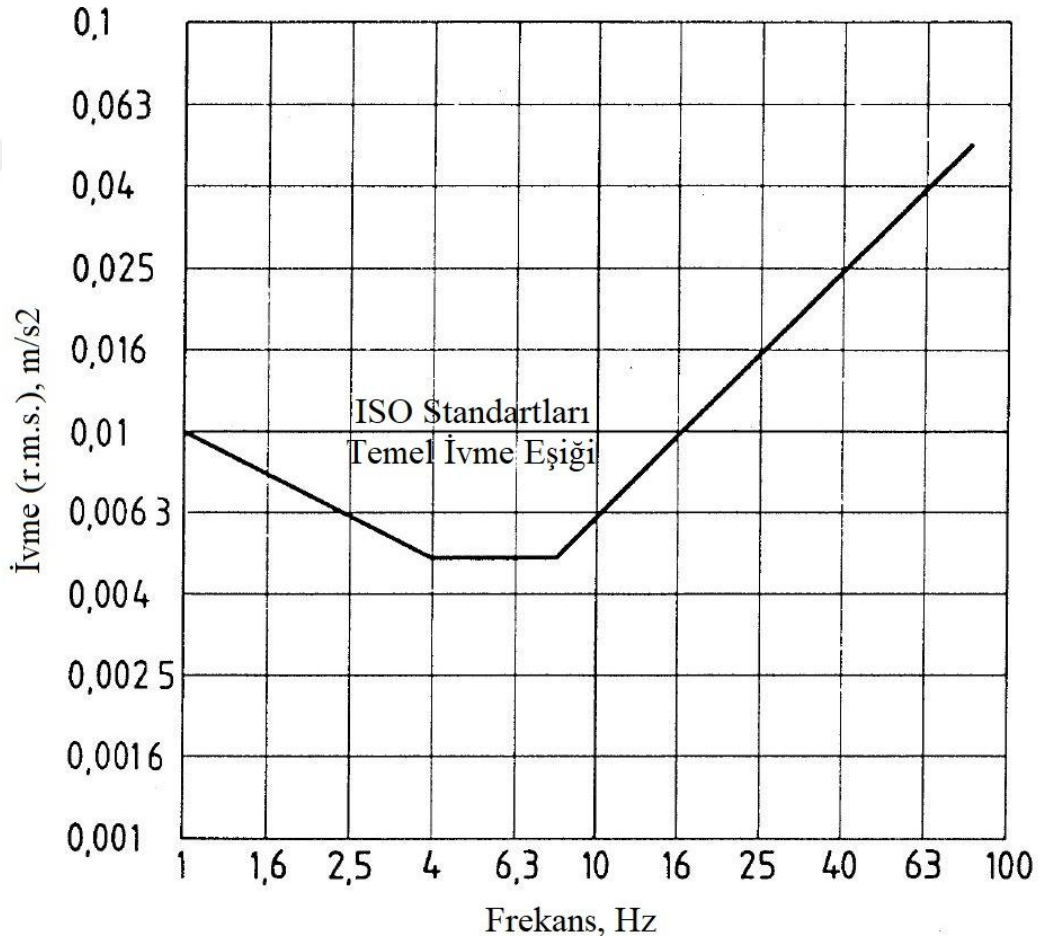
3.2 İnsan Konforu Açısından Titreşim

Yapısal titreşimlere oluşan insan tepkisi kişisel algıya, çevresel koşullara ve hareket kaynağına bağlı olarak değişen karmaşık bir olgudur. Yapısal sistemlerde oluşan titreşimler titreşim etkisinin büyüklüğüne ve süresine bağlı olarak insanlar üzerinde farklı etkiler oluşturmaktadır. Bazı durumlarda sürekli bir titreşim hareketi anlık bir titreşimden daha fazla rahatsız edici bir durum oluşturabilir. İnsanların titreşimi algılama düzeyleri yapılan aktivite ve kullanılan yapı türüne göre farklılık göstermektedir. Kullanıcıları ofisler ve iş merkezleri tipi yapılarda yerçekimi ivmesinin yüzde 0,5'ine ulaşan ivmeler rahatsız edici seviye iken alışveriş merkezleri ve iç mekan yaya köprüleri gibi yapılarda yerçekimi ivmesinin yüzde 1,5'ine ulaşan ivmeler rahatsız edici seviyeye gelmektedir.

Titreşimin insan vücuduna olan etkisi insan vücudunu oluşturan her organ için değişiklik göstermektedir. İnsanlar için iç organları rezonans frekansı olan 4 hz – 8 hz arasındaki titreşim frekansı limit olarak kabul edilmiştir. Her organ kendi doğal frekansını aşan değerlerde titreşime maruz kaldığında insan konforu açısından rahatsızlık durumu ortaya çıkacaktır (Murray ve diğer., 2016).

3.3 Tolerans Limit Kaynağı

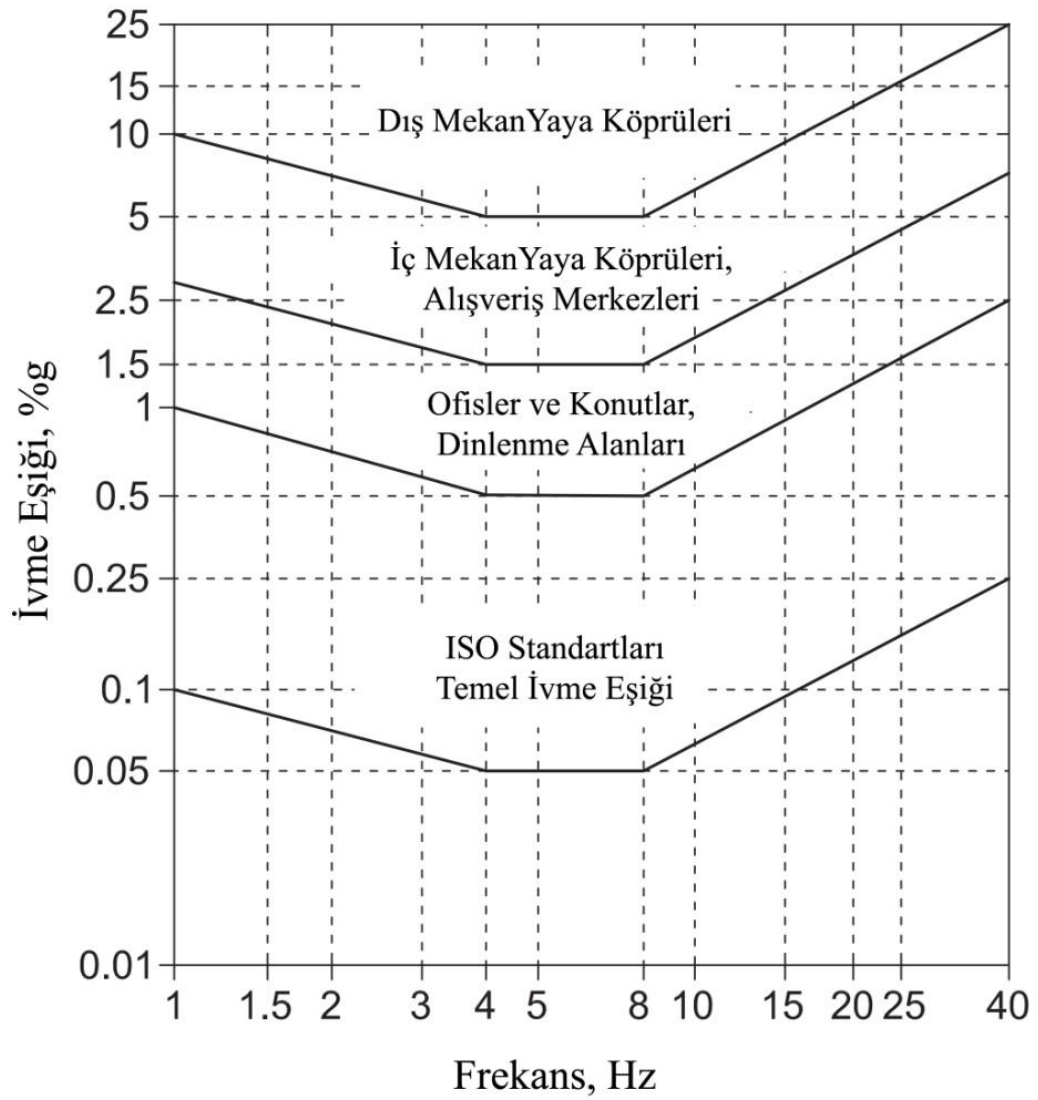
International Organization for Standardization [ISO] tarafından yayımlanan ISO 2631-2 (1989) “*Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration – Part 2: Human Exposure to Whole Continuous and Shock-Induced Vibrations in Building (1 to 80 Hz)*” standartında r.m.s ivmelenmesi için temel ivme eşiği Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5 ISO 2631-2 temel ivme eşiği (ISO, 1989)

Şekil 3.5’te gösterilen grafikte titreşim tolerans değerleri aralıklı veya belirli süreli uygulanan titreşim sonucu oluşan değerleri olup yürüme eylemi sırasında gerçekleşen ivmelenmeyi ortaya çıkaramamaktadır.

Allan ve Murray 1993 yılındaki “*Design Criterion for Vibrations Due to Walking*” başlıklı çalışmasında yürüme eyleminin doğada aralıklı olduğu ancak bir kazık çakar gibi sık ve tekrarlayıcı olmadığından bahsetmiştir. Yine bu çalışmada Şekil 3.6’da verilen insan konforu için önerilen tolerans limitlerini belirlemişlerdir. Daha sonraki yıllarda Allan ve Murray tarafından belirlenen tolerans limitleri 1997 ve 2016 yıllarında yayımlanan “*AISC Steel Design Guide 11 (Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due To Human Activity)*” kılavuzunda kullanılmıştır. Bu tasarım kılavuzunda farklı yapı sistemlerinde insan konforu için önerilen en yüksek ivme limitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.6 İnsan konforu için önerilen en yüksek ivme limitleri (Murray ve diğer., 2016)

3.4 Çelik Döşeme Sistemlerinde Oluşan Titreşimin Hesaplaması

Yapısal tasarımda konfor koşullarının sağlanabilmesi için döşeme sisteminde oluşan titreşimin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Döşeme sisteminde oluşan titreşim; yapısal sistem kaynaklı olabileceği gibi insan veya makine gibi dış etken kaynaklı olabilmektedir. Bu doğrultuda çelik döşeme sistemlerinde istenmeyen titreşim hareketlerinin önüne geçebilmek için birtakım standartlar ve hesaplamalar getirilmiştir.

1980 yılında Türk Standartları Enstitüsü [TSE] tarafından yayımlanan “TS 648 - Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” standardının “2.4 – Tahkikler” başlıklı maddesinde “açıklığı 5,0 m’den fazla olan kiriş aşıkların sehimleri açıklığı 1/300’ünden fazla olmamalıdır” denilmektedir. Döşeme sisteminde oluşacak sehim sınırlandırılarak titreşimin önüne geçebilmek amaçlanmıştır (TSE, 1980).

2016 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [CSB] tarafından yayımlanan TS 648 - Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardının yerine Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar başlıklı uygulama yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

Bu yönetmeliğin “15.2 - Düşey Yerdeğiştirme (Sehim) Kontrolleri” başlıklı maddesinde “Hareketli yüklerden oluşan düşey yer değiştirmelerin açıklığa oranı kat döşemelerinde 1/360, çatı döşemelerinde 1/240 sınır değerini aşmayacaktır. Sabit ve hareketli yükler altında toplam düşey yer değiştirmelerin ise açıklığa oranı 1/300 sınır değeri aşmayacaktır” denilmektedir (CSB, 2016).

Ayrıca “15.4 – Düşey Titreşim Kontrolleri” başlıklı maddesinde “Döşeme titreşimlerinin değerlendirilmesinde önemli kriterler düşey titreşim ivmesi ve döşeme sisteminin doğal titreşim frekansıdır. Düşey titreşim ivmesinin sınır değerleri, yapı elemanının kullanım koşullarına (konutlar, ofisler, alışveriş merkezleri, bina içi ve dışı yürüme yolları vb.) bağlı olarak 0.005g-0.05g arasında değişmektedir”

denilmekte ve düşey titreşim sınır değerlerinde Şekil 2.9'daki ISO 2631-2 (1989) standardı kapsamındaki temel ivme eşiği baz alınmaktadır (CSB, 2016).

Murray ve diğerleri tarafından 2016 yılında yayımlanan “Steel Design Guide 11 - Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due To Human Activity” başlıklı tasarım kılavuzunda ise yapı ve yaya köprülerinde oluşan titreşim hesabında geleneksel olarak kullanılan L/300-360 oranlarının yerine yürüme, spor ve aerobik gibi insan eylemleri sırasında oluşabilecek titreşimlerinde hesaplanması için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Steel Design Guide 11 tasarım kılavuzunda yürüme eylemi etkisiyle döşeme ve yaya yolu köprü döşemelerinde oluşan en yüksek ivme değeri aşağıdaki formül ile elde edilebilmektedir (Murray ve diğer., 2016).

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 e^{-0.35f_n}}{\beta W} \leq \frac{a_0}{g} \quad (3.1)$$

Formül üzerindeki simgelerin tanımları ile simgelere ait değerler aşağıda verilmiştir.

- a_p** : Tahmini en yüksek ivme
- a_0** : Şekil 3.6'ya göre en yüksek ivme değeri
- g** : Yerçekimi ivmesi (g)
- P_0** : Sabit Kuvvet (döşemelerde 29,48 kgf, yaya köprülerinde 41,73 kgf)
- f_n** : Sistemin doğal frekansı (Hz) (SAP2000 v20.2.0'dan)
- β** : Tablo 3.1'e göre modal sönümlenme oranı
- W** : Sistemin ağırlığı (kgf)

Tablo 3.1'de ise Steel Design Guide 11 kılavuzunda yer alan yapı türü ve kullanım şekline göre hesaplamalarda kullanılması tavsiye edilen sabit kuvvet ve sönümlenme oranları ile maksimum ivmelenme limitleri yer almaktadır (Murray ve diğer., 2016).

Tablo 3.1 AISC Steel Design Guide 11'e göre tavsiye edilen değerler (Murray ve diğer., 2016)

Titreşim Hesabına Esas Tavsiye Edilen Değerler			
	Sabit Kuvvet (P_0)	Sönümlenme Oranı (β)	İvmelenme Limiti ($a_0/g \times 100$)
Ofis, Rezidans, vb.	29,48 kgf	0,02-0,05	% 0,5
Alışveriş Merkezleri	29,48 kgf	0,02	% 1,5
İç Mekan Yürüme Köprüleri	41,73 kgf	0,01	% 1,5
Dış Mekan Yürüme Köprüleri	41,73 kgf	0,01	% 5,0

3.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sayısal bir analiz yöntemi olan sonlu elemanlar yöntemi çoğunlukla mühendislik ve matematiksel modellerde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde karmaşık olan bir problem veya model daha küçük parçalara veya daha basit şekillere ayrılarak çözüme ulaşılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda model çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Model çözümünde; tüm sonlu elemanlar çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemleri tanımlanarak yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır (Erken, 2009).

3.5.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Gelişim Süreci

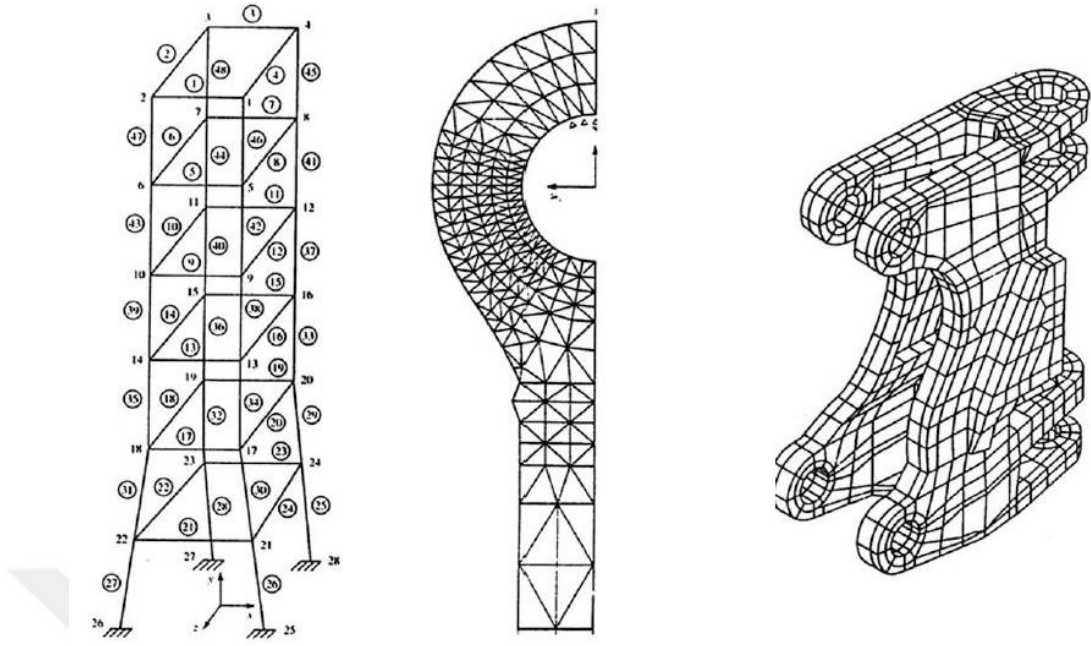
Sonlu elemanların kullanımı dairenin çevre uzunluğu en doğru şekilde bulabilmek için dairenin çevresini çokgene çevirip hesaplama fikri ile başlamaktadır. Dairenin çevresi çokgene indirgenerek gerçek çözüme en yakın hesaplar yapılmaya çalışılmıştır. Yakın tarihimizde sonlu elemanlar metodu 1943'te Courant tarafından ortaya atılmıştır. 1956 yılında Turner, Clough, Martin ve Top tarafından sonlu elemanlar metodu üzerine çalışmalar devam etmiştir. 1956 yılında yayımlanan "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures" isimli çalışmada perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımı ele alınmıştır (Erken, 2009).

1964 yılında ise Zienkiewicz ve Cheung tarafından yapılan çalışmada karmaşık bir temel sistemi üzerinde inşa edilen bir baraj yapısının çözümünde kullanılmıştır (Uncuoğlu, 2009).

Günümüzde bilgisayar sistemleri ve yazılımların gelişimi ile sonlu elemanlar yönteminin kullanım alanı oldukça genişlemiştir. Sonlu elemanlar yöntemi strüktürel analizin yanında, mekanik elemanların yer değiştirme ve gerilme analizleri, sıvıların elastik kaplardaki hareketleri, baraj gövdesi ile su bloğunun etkileşim analizi, dış ve kemiklerde oluşan gerilme analizi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir (Yazıcı, 2013).

3.5.2 Sonlu Eleman Yönteminin İşleyişi

Sonlu eleman yönteminde model eleman adı verilen sonlu sayıda parçaya bölünür ve bu elemanlar düğüm noktaları ile birbirine bağlanır. Bu elemanlar bir boyutlu; çizgi, 2 boyutlu; alan ve 3 boyutlu; hacim olmak üzere üç ana başlık altında incelenir (Şekil 3.7). Sonlu eleman modelleri bir araya gelerek bir ağ oluşturur (Şekil 3.8). Ağ yoğunluğu arttıkça eleman sayısı ve yüzey hassasiyeti artar (Yazıcı, 2013).

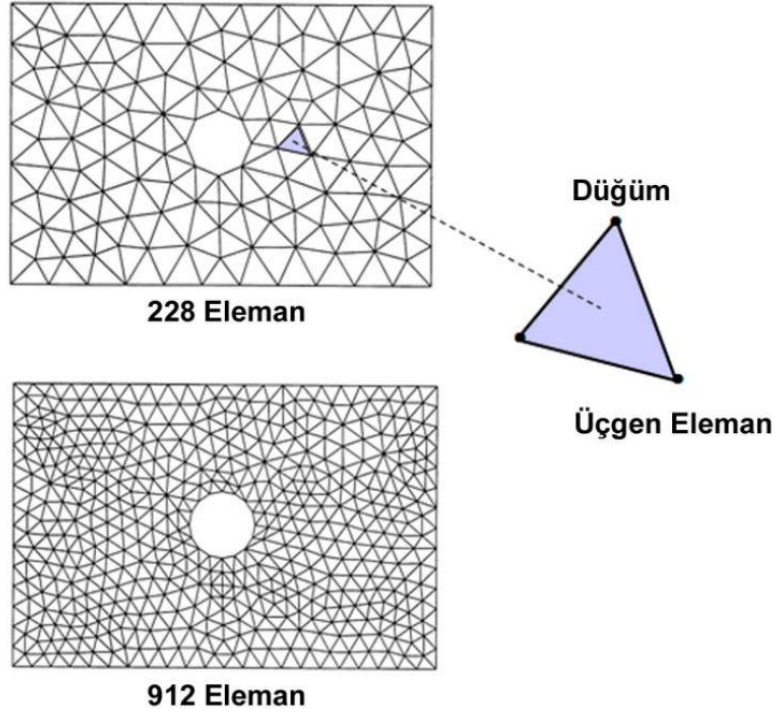


**Tek Boyutlu
Çerçeve Elemanlar**

**İki Boyutlu
Üçgen Elemanlar**

**Üç Boyutlu
Blok Elemanlar**

Şekil 3.7 Sonlu eleman ağını oluşturan eleman tipleri (Yazıcı, 2013)



Şekil 3.8 Sonlu eleman ağ yoğunluğu (Yazıcı, 2013)

Modelin parçalara ayrılmasından sonra bilinmeyen değerler için matematiksel denklemler ile çözüme en yakın değerler elde edilmeye çalışılır. (i) sonlu eleman için kullanılan matematiksel denklem aşağıdaki gibi gösterilebilir.

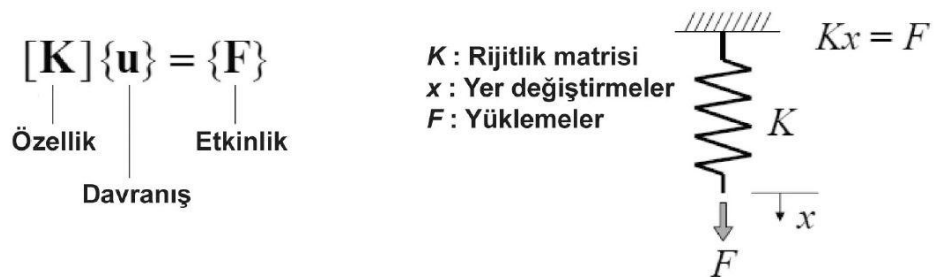
$$F = K^{(i)} * u^{(i)} \quad (3.2)$$

F = Noktasal kuvvet vektörü

K = Rijitlik ya da özellik matrisi

u = Noktasal yer değiştirme vektörü

Bu denkleme göre K rijitlik matrisi, u ; bilinmeyenleri içeren vektör, F ise Kuvvet vektörünü göstermektedir (Şekil 3.9). Modeldeki tüm sonlu elemanlar için hesaplanan denklemlerin birleşiminden sistem denklem kümesi elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Yazıcı, 2013).



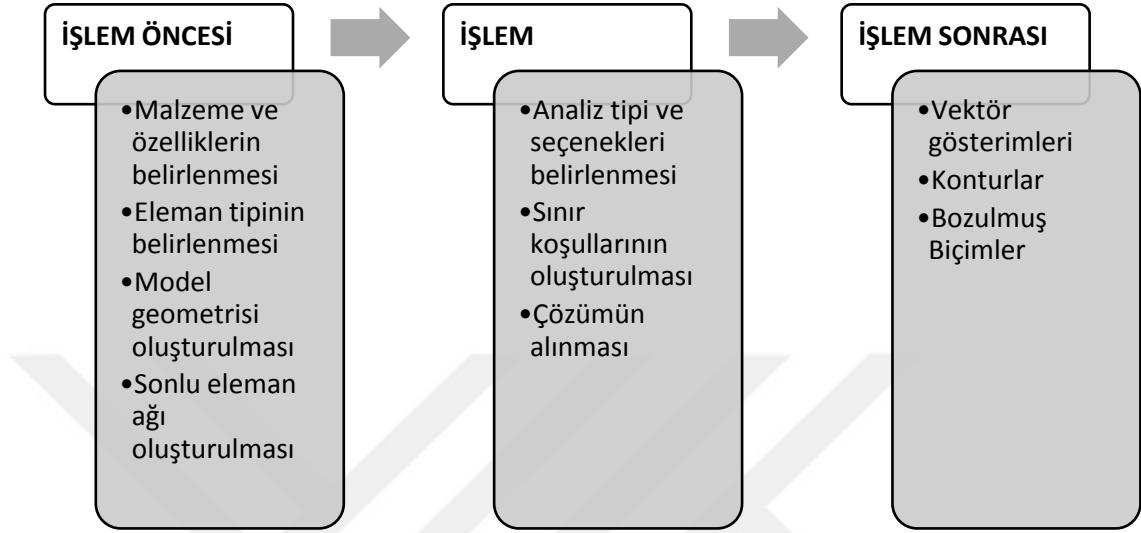
Şekil 3.9 Sonlu eleman yönteminde matematiksel denklem (Yazıcı, 2013)

Sınır koşulları sistemde tanımlanması ile indirgenmiş sistem elde edilir. Modelin çözülmesi ile her bir düğüm noktası için hesaplamalar yapılmış olur. Sayısal veriler ise kullanıcıya sunulur (Yazıcı, 2013).

3.5.3 Sonlu Eleman Yönteminin İşlem Adımları

Sonlu eleman yöntemi işleyişinde; işlem öncesinde kullanıcı tarafından model oluşturulur. Modelin oluşumundan sonra sonlu eleman yöntemi yazılımı aracılığı ile

modelin sayısal analizi edilir. Yazılım ile elde edilen veriler kullanıcı tarafından incelenir. Sonlu eleman yöntemindeki işleyiş adımları Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Sonlu eleman yöntemi işleyiş şeması (Yazıcı, 2013)

İlk olarak analiz türünün seçimi yapılır. Bunlar statik analiz, yapısal analiz, dinamik analiz, yorulma analizi, burkulma analizi, kaynak analizi, termal analiz, titreşim analizi olarak adlandırılabilir. Devamında malzeme özellikleri ile 2-B (kiriş, makas, kabuk, plaka) veya 3-B (katı) olmak üzere eleman tipi belirlenir. Modelin sonlu elemanlara bölünmesi, nokta ve bağlantıların oluşturulmasından sonra sınır koşulları ve yükler tanımlanır ve sonlu eleman analiz programı çalıştırılır. İşlem sonrası sonuçlarda yer değiştirmeler, gerilmeler, burkulmalar ve doğal frekanslar gibi sonuçlar elde edilip değerlendirilir (Yazıcı, 2013).

BÖLÜM DÖRT

TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜ İNCELEMESİ

4.1 Adnan Menderes Havalimanı, İzmir – TÜRKİYE

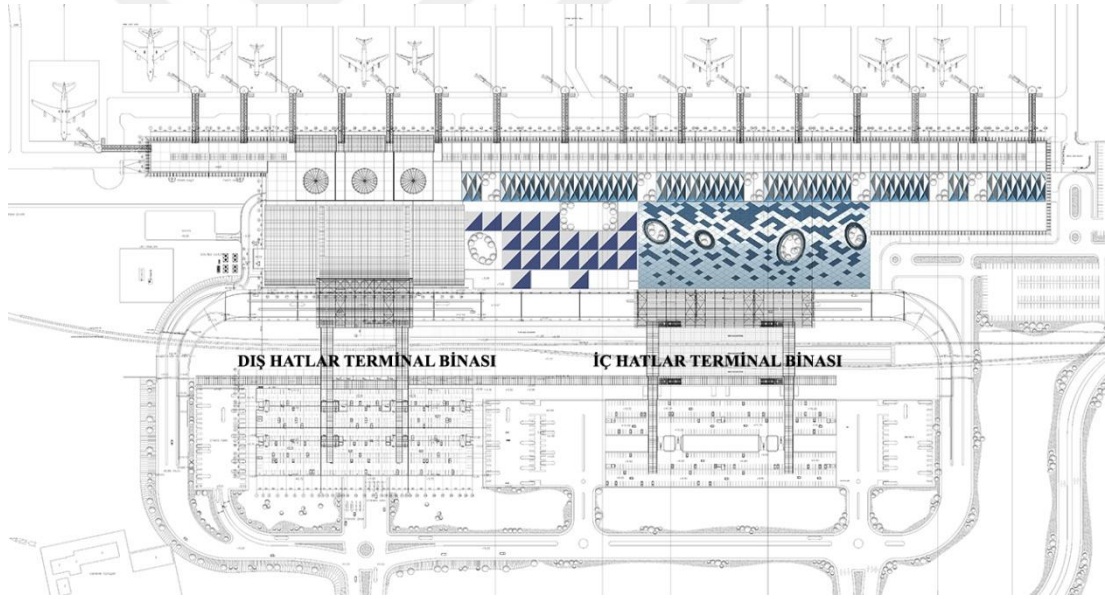
Tablo 4.1 Adnan Menderes Havalimanı genel bilgiler

Havalimanı Bilgileri	
Havalimanı Yeri	İzmir, TÜRKİYE
Şehir Merkezinden Uzaklık	16,8 km
Havalimanı Toplam Kapasitesi	30 Milyon (Yolcu/Yıl)
2021 Yılı Yolcu Gerçekleşmesi	7.569.054 (Yolcu/Yıl)
Pist Sayısı	1 Adet
Dış Hatlar Terminal Binası	
Hizmete Giriş Yılı	2007
Mimari Tasarım	Yakup HAZAN Mimarlık Ltd. Şti.
Terminal Kapasitesi	5 Milyon (Yolcu/Yıl)
Terminal Toplam İnşaat Alanı	107.699 m ²
Yolcu Biniş Sistemi	10 Adet (9 Adet Tekli, 1 Adet MARS Tipi)
İç Hatlar Terminal Binası	
Hizmete Giriş Yılı	2014
Mimari Tasarım	Yakup HAZAN Mimarlık Ltd. Şti.
Terminal Kapasitesi	25 Milyon (Yolcu/Yıl)
Terminal Toplam İnşaat Alanı	203.279 m ²
Yolcu Biniş Sistemi	8 Adet Tekli

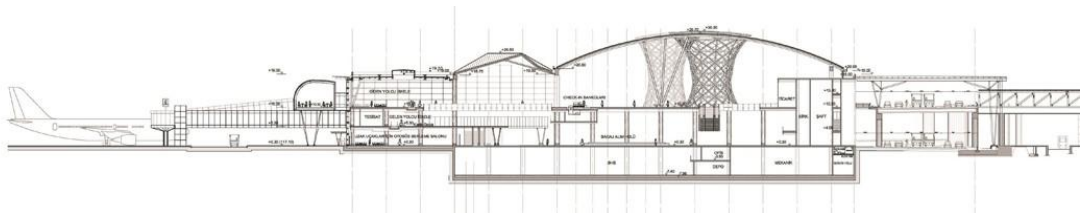


Şekil 4.1 Adnan Menderes Havalimanı uydu görüntüsü (Google Earth Pro, 2021)

İzmir şehirde bulunan İzmir Adnan Menderes Havalimanının şehir merkezine uzaklığı 16,8 km olup havalimanına ulaşım karayolu ve demiryolu ile sağlanabilmektedir. İzmir Adnan Menderes Havalimanı dış hatlar terminal binası 2007 yılında, iç hatlar terminal binası ise 2014 yılında hizmet vermeye başlamıştır (Tablo 4.1). DHMİ verilerine göre 2021 yılında 7,6 milyon yolcu havalimanını kullanmıştır (DHMİ-1, 2022). Havalimanı uydu görüntüsü Şekil 4.1’de, genel yerleşim planı ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Havalimanı bünyesinde iç hat ve dış hat uçuşlara hizmet veren 2 terminal binası bulunmaktadır. Şekil 4.3’teki kesitte terminal binaları gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj işlem seviyesi olmak üzere 3 ana işlem seviyeli olarak planlandığı görülmektedir. Terminal binalarında 16 adet tekli ve 1 adet çoklu (MARS Tipi) olmak üzere toplam 17 adet yolcu biniş sistemi bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Adnan Menderes Havalimanı vaziyet planı (Hazan Mimarlık, 2021)



Şekil 4.3 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bina kesiti (Hazan Mimarlık, 2021)

4.1.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri

Tablo 4.2 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri

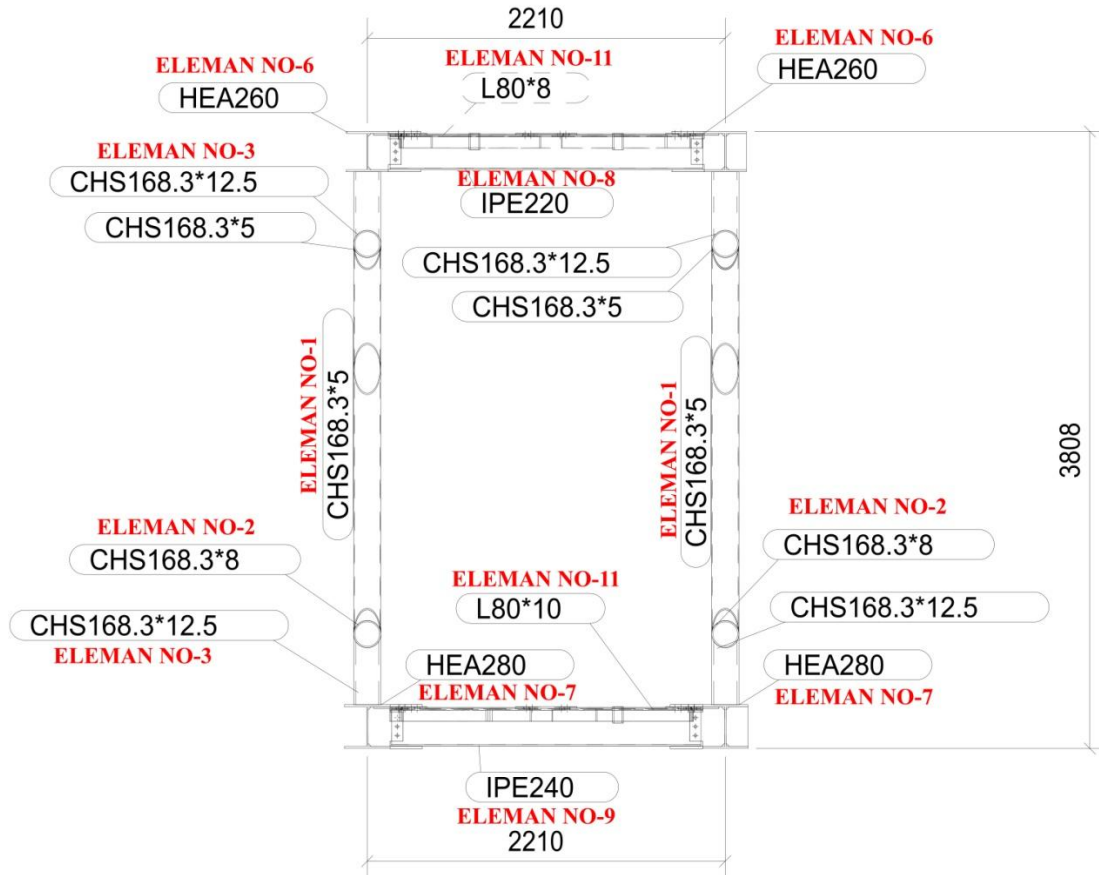
Terminal İşlem Seviyesi	Üç Seviye (Gelen yolcu, Giden yolcu ve Bagaj)
Yolcu Bindirme Sistemi ve Sayısı	16 Adet Tekli ve 1 Adet Çoklu (MARS tipi)
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Açıklığı	46,50 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Genişliği	2,21 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Yüksekliği	3,00 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Tali Kiriş / Dikme Aralığı	3,00 metre
Kullanılan Çelik Miktarı	32,9 ton
Mevcut Döşeme Sistemi	Kontrplak + Halı Kaplama

İzmir Adnan Menderes havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprülerine ait uygulama fotoğrafı Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Terminal bağlantı köprüleri, gelen-giden yolcu işlem seviyelerine ayrı ayrı ulaşımı sağlamaktadır. Bu köprülerin taşıyıcı sistemlerinde; paralel başlıklı warren tipi çelik makasların bir araya gelerek oluşturduğu kutu tipi çelik kafes strüktür sistemi kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprüleri ile toplamda 46,50 m açıklık geçilmiştir (Tablo 4.2).

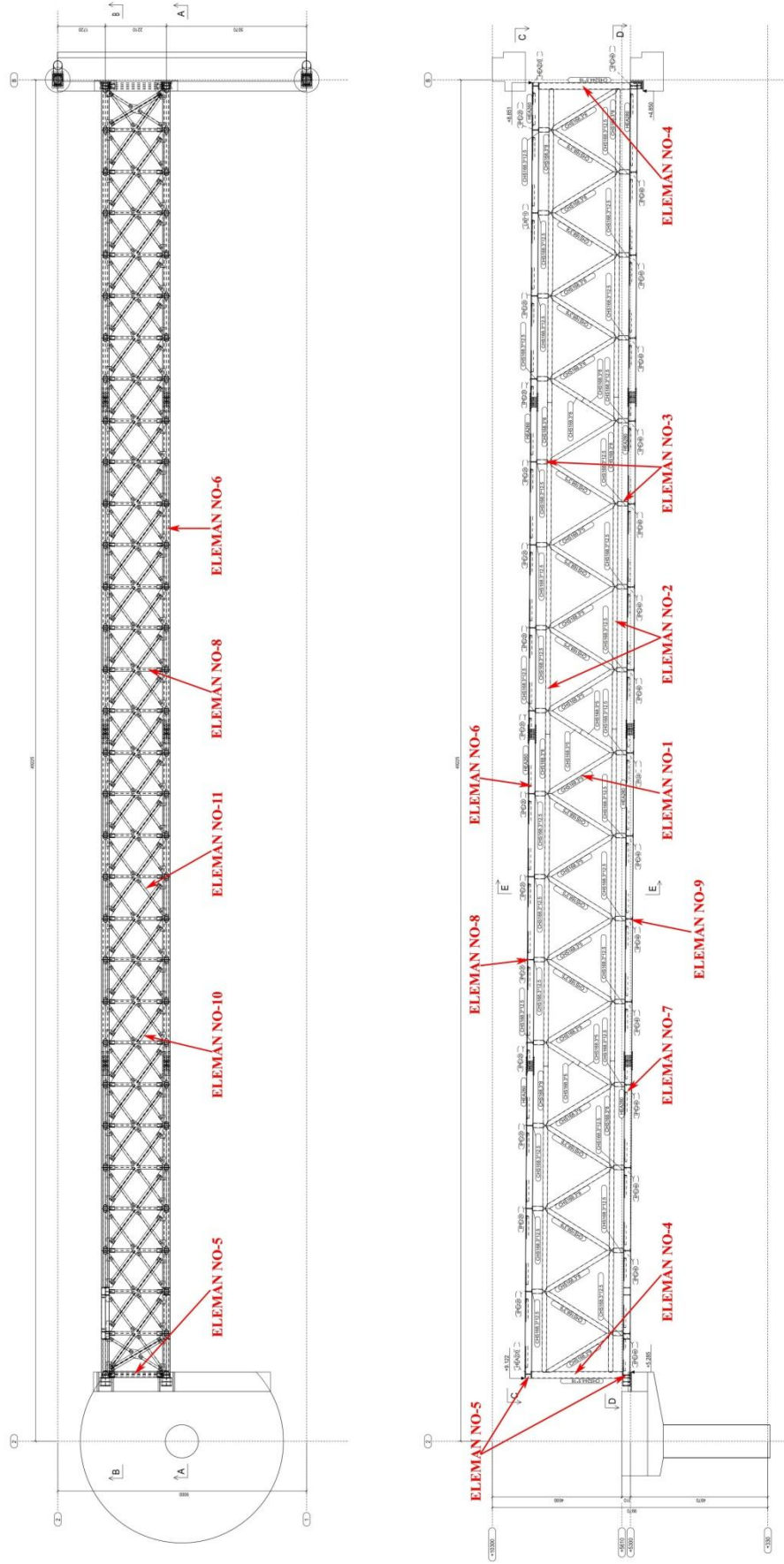


Şekil 4.4 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü (ZM YASA, 2021)

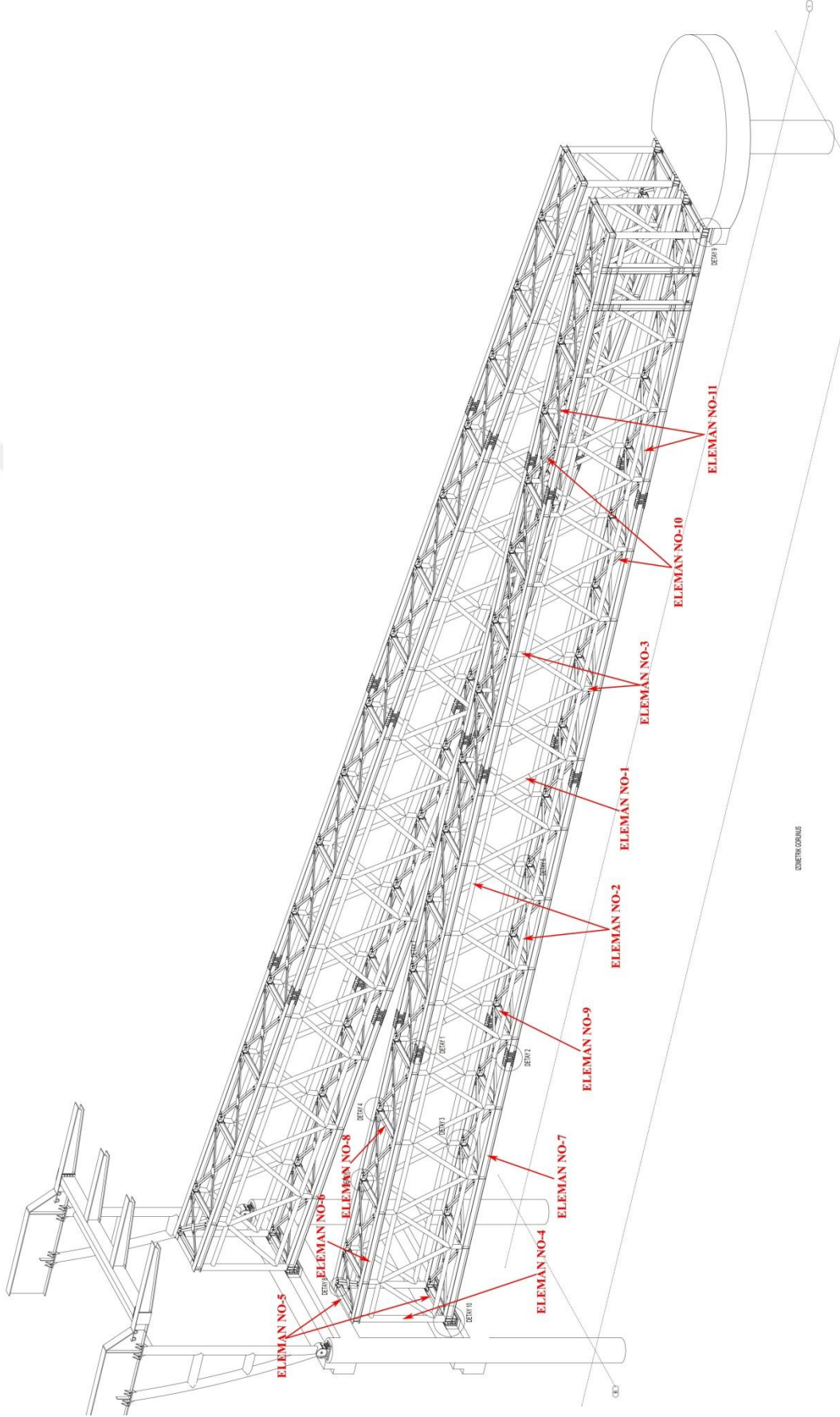
Terminal bağlantı köprülerinde kullanılan paralel başlıklı warren tipi çelik makaslar; alt başlıkları HEA280+CHS168.3x8 profillerden imal edilmiş vierendeel kafes kiriş, üst başlıkları ise HEA260+CHS168.3x8 profillerden imal edilmiş vierendeel kafes kirişlerden oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Bu kafes kirişler 3 metre yüksekliğindedir (Şekil 4.6). Makasların alt ve üst vierendeel kafes kirişleri birbirine bağlayan diyagonal elemanlarda ise CHS168.3x5 profiller kullanılmış olup bu profiller 3 metre aralıklı olarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.7). Oluşturulan paralel başlıklı warren tipi çelik makaslar alt döşemede IPE240, üst döşemede ise IPE220 profiller ile birleştirilerek kafes strüktür sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem 2,21 metre genişliğindedir. Köprünün alt ve üst döşemelerinde ise L80x8 ve 2L80x10 mm profillerden çapraz bağlantı elemanları kullanılmıştır. İncelenen terminal bağlantı köprüsünde toplamda 32.967 kg çelik profil kullanılmıştır.



Şekil 4.5 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-1 (STATICA, 2018)



Şekil 4.6 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-2 (STATICA, 2018)



Şekil 4.7 Adnan Menderes Havalimanı iç hatlar terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-3 (STATICA, 2018)

4.2 Esenboğa Havalimanı, Ankara – TÜRKİYE

Tablo 4.3 Esenboğa Havalimanı genel bilgiler

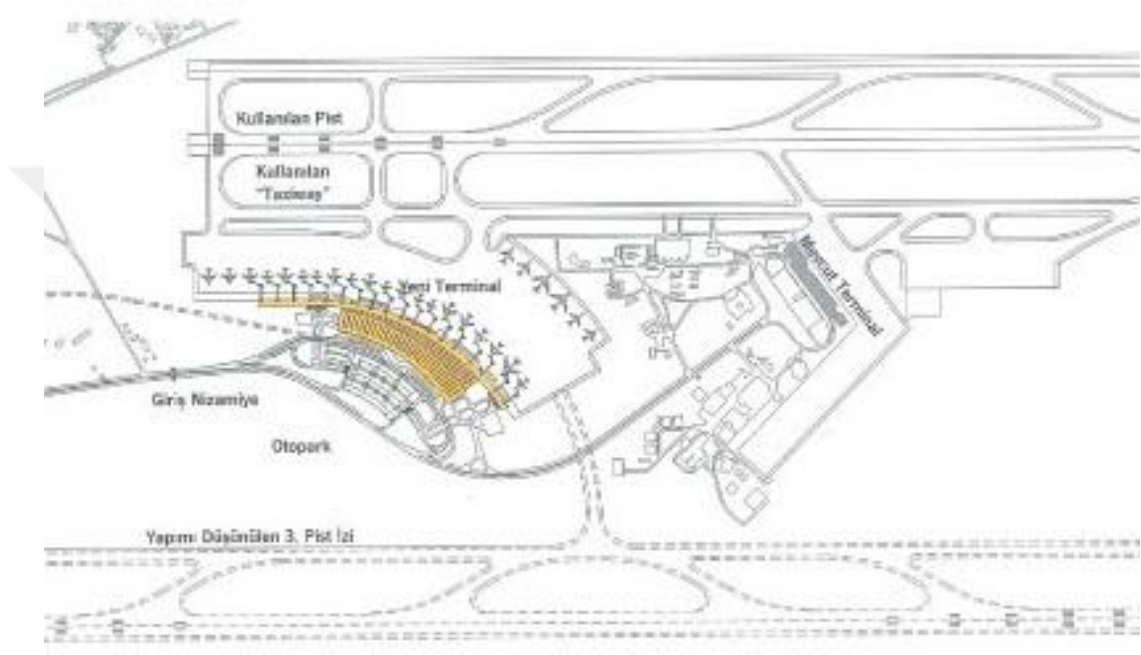
Havalimanı Bilgileri	
Havalimanı Yeri	Ankara, TÜRKİYE
Şehir Merkezinden Uzaklık	28 km
Havalimanı Toplam Kapasitesi	10 Milyon (Yolcu/Yıl)
2021 Yılı Yolcu Gerçekleşmesi	7.029.630 (Yolcu/Yıl)
Pist Sayısı	2 Adet
İç / Dış Hatlar Terminal Binası	
Hizmete Giriş Yılı	2006
Mimari Tasarım	ESSA Proje Danışmanlık VE Teknik Hizmetler İş Ortaklığı (Ercan ÇOBAN, Ahmet YERTUTAN, Suzan ESİRGİN, Süleyman BAYRAK)
Terminal Kapasitesi	10 Milyon (Yolcu/Yıl)
Terminal Toplam İnşaat Alanı	183.000 m ²
Yolcu Biniş Sistemi	18 Adet



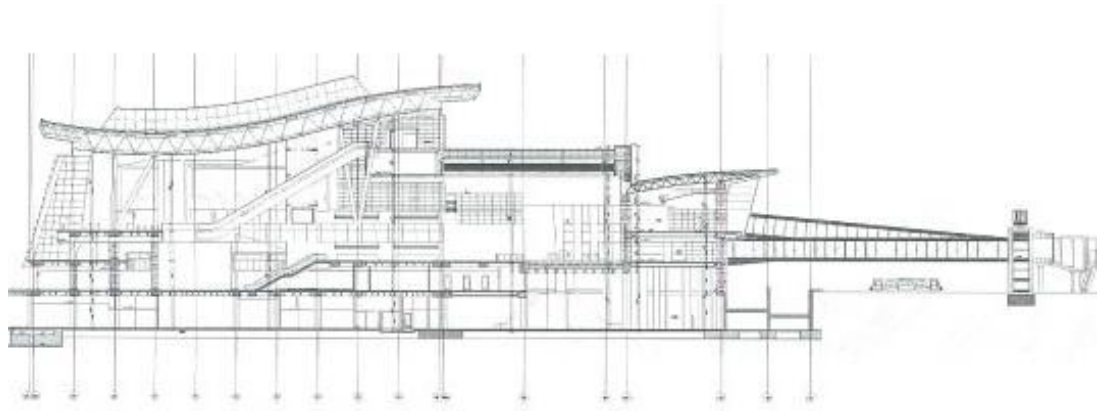
Şekil 4.8 Esenboğa Havalimanı uydu görüntüsü (Google Earth Pro, 2021)

Ankara şehrinde bulunan Esenboğa Havalimanının şehir merkezine uzaklığı 28 km olup havalimanına ulaşım karayolu ile sağlanabilmektedir. Ankara Esenboğa Havalimanı 2006 yılında hizmet vermeye başlamıştır (Tablo 4.3). DHMİ verilerine göre 2021 yılında 7,0 milyon yolcu havalimanını kullanmıştır (DHMİ-1, 2022).

Ankara Esenboğa Havalimanı uydu görüntüsü Şekil 4.8’de, genel yerleşim planı ise Şekil 4.9’da verilmiştir. Havalimanı bünyesinde iç hat ve dış hat uçuşlara hizmet veren bir terminal binası bulunmaktadır. Şekil 4.10’da yer alan kesitte terminal binaları gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj işlem seviyesi olmak üzere 3 ana işlem seviyeli olarak planlandığı görülmektedir. Terminal binasında 17 adet tekli ve 1 adet çoklu (MARS Tipi) olmak üzere toplam 18 adet yolcu biniş sistemi bulunmaktadır.



Şekil 4.9 Esenboğa Havalimanı vaziyet planı (YEM-219, 2013)



Şekil 4.10 Esenboğa Havalimanı terminal bina kesiti (YEM-219, 2013)

4.2.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri

Tablo 4.4 Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri

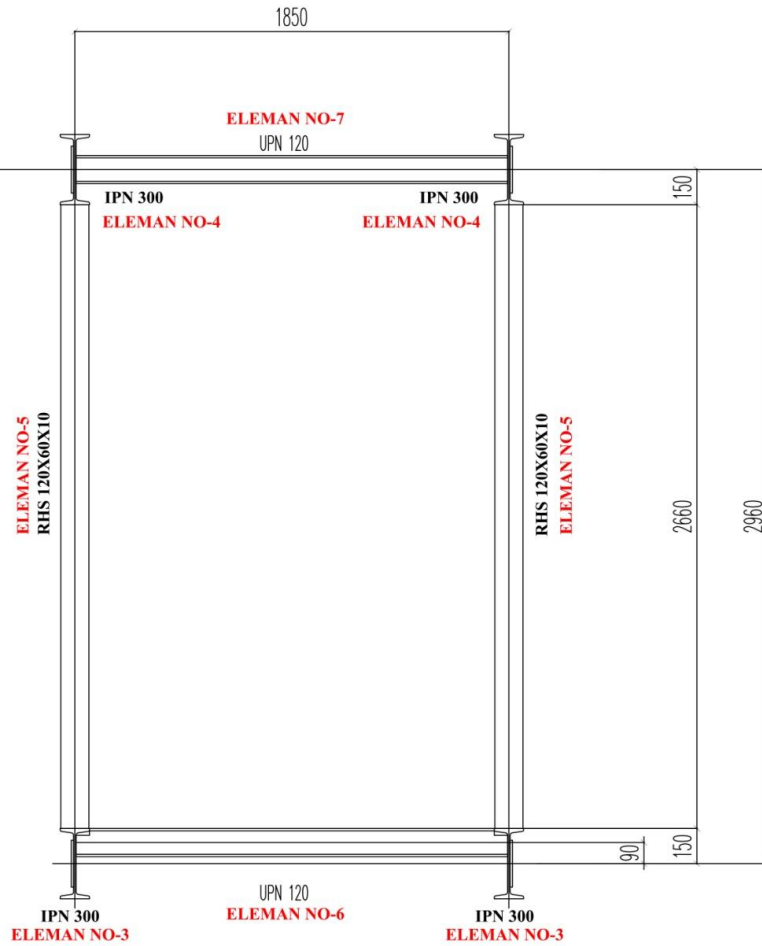
Terminal İşlem Seviyesi	Üç Seviye (gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj)
Yolcu Bindirme Sistemi ve Sayısı	17 Adet Tekli ve 1 Adet Çoklu (MARS tipi)
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Açıklığı	42,20 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Genişliği	1,85 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Yüksekliği	2,96 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Tali Kiriş / Dikme Aralığı	2,30 metre
Kullanılan Toplam Çelik Miktarı	18,4 ton
Mevcut Döşeme Sistemi	Kontrplak + Halı Kaplama

Ankara Esenboğa havalimanı terminal bağlantı köprülerine ait fotoğraf Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Terminal bağlantı köprüleri, gelen-giden yolcu işlem seviyelerine ayrı ayrı ulaşımı sağlamaktadır. Bu köprülerin taşıyıcı sistemlerinde; paralel başlıklı pratt tipi çelik makasların bir araya gelerek oluşturduğu kutu tipi çelik kafes strüktür sistemi kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprüleri ile toplamda 42,20 m açıklık geçilmiştir (Tablo 4.4).

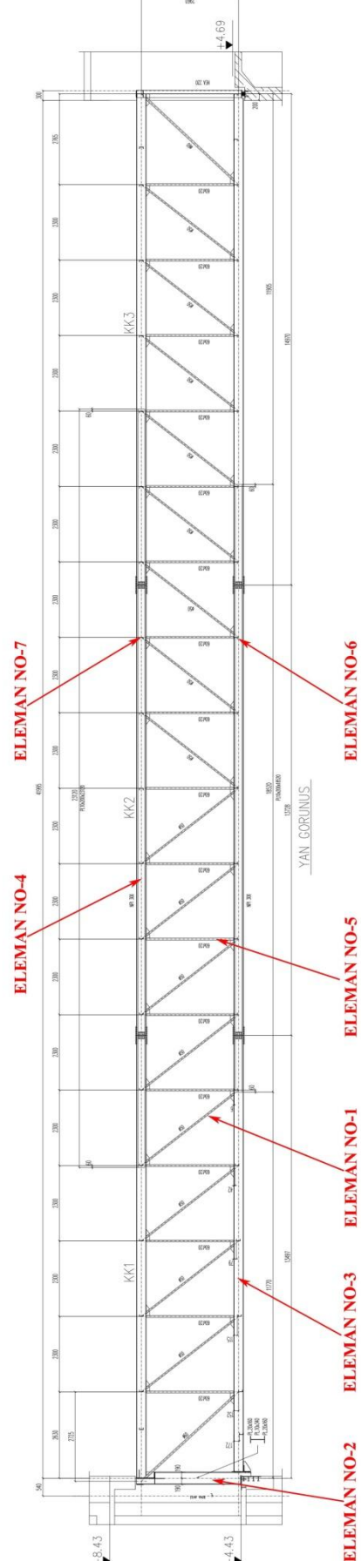
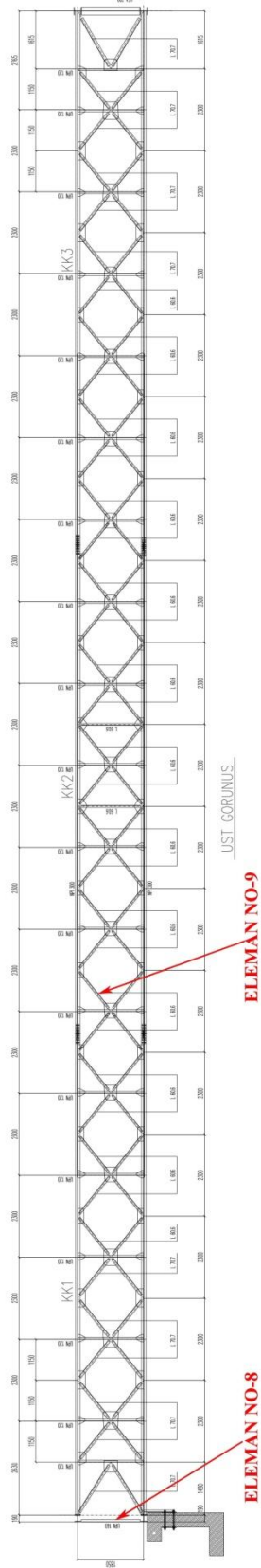


Şekil 4.11 Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüleri (TAV Airports, 2021)

Terminal bağlantı köprülerinde kullanılan paralel başlıklı pratt tipi çelik makasların alt ve üst başlıklarında; IPN-300 profil elemanlar kullanılmıştır. Bu kafes kirişler 2,96 metre yüksekliğindedir (Şekil 4.12). Makasların alt ve üst başlıklarını birbirine bağlayan 120x60 mm ebatlarında dikdörtgen kesitli kutu profiller 2,30 metre aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Sistemi oluşturan diyagonal elemanlarda ise Ø50/Ø60 dolu gövdeli çelik çubuklar kullanılmıştır. Oluşturulan paralel başlıklı pratt tipi çelik makaslar alt ve üst döşemede UPN120 profil elemanlar ile birleştirilerek kafes strüktür sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem 1,85 mt genişliğindedir. Köprünün alt ve üst döşemelerinde ise L60x6 ve L70x70mm profillerden çapraz bağlantı elemanları kullanılmıştır (Şekil 4.13). İncelenen terminal bağlantı köprüsünde toplamda 17.014 kg çelik profil kullanılmıştır.



Şekil 4.12 Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-1 (TAV, 2019)



Şekil 4.13 Esenboğa Havalimanı terminal bağlantı köprüsü yapısal sistem detayı-2 (TAV, 2019)

4.3 Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul – TÜRKİYE

Tablo 4.5 Sabiha Gökçen Havalimanı genel bilgiler

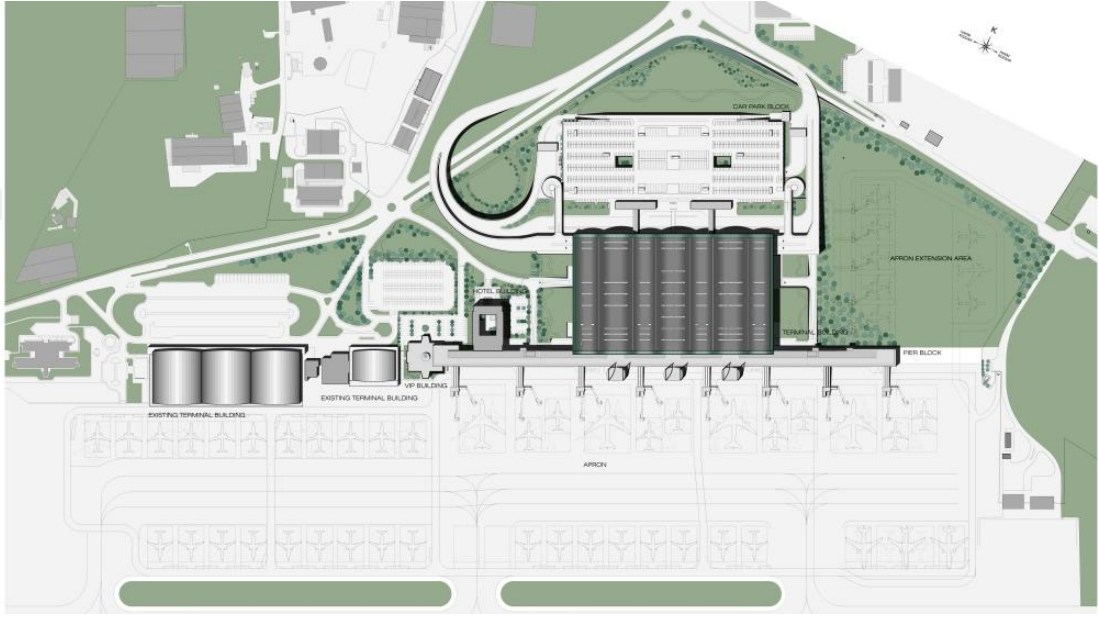
Havalimanı Bilgileri	
Havalimanı Yeri	İstanbul, TÜRKİYE
Şehir Merkezinden Uzaklık	50 km
Havalimanı Toplam Kapasitesi	41 Milyon (Yolcu/Yıl)
2021 Yılı Yolcu Gerçekleşmesi	24.900.907 (Yolcu/Yıl)
Pist Sayısı	1 Adet
Yeni Terminal Binası	
Hizmete Giriş Yılı	2009
Mimari Tasarım	Tekeli – Sisa Mimarlık
Terminal Kapasitesi	33 Milyon (Yolcu/Yıl)
Terminal Toplam İnşaat Alanı	227.000 m ²
Yolcu Biniş Sistemi	8 Adet MARS Tipi
Ek Terminal Binası	
Hizmete Giriş Yılı	2018
Mimari Tasarım	Tekeli – Sisa Mimarlık
Terminal Kapasitesi	8 Milyon (Yolcu/Yıl)
Terminal Toplam İnşaat Alanı	25.000 m ²
Yolcu Biniş Sistemi	2 Adet MARS Tipi



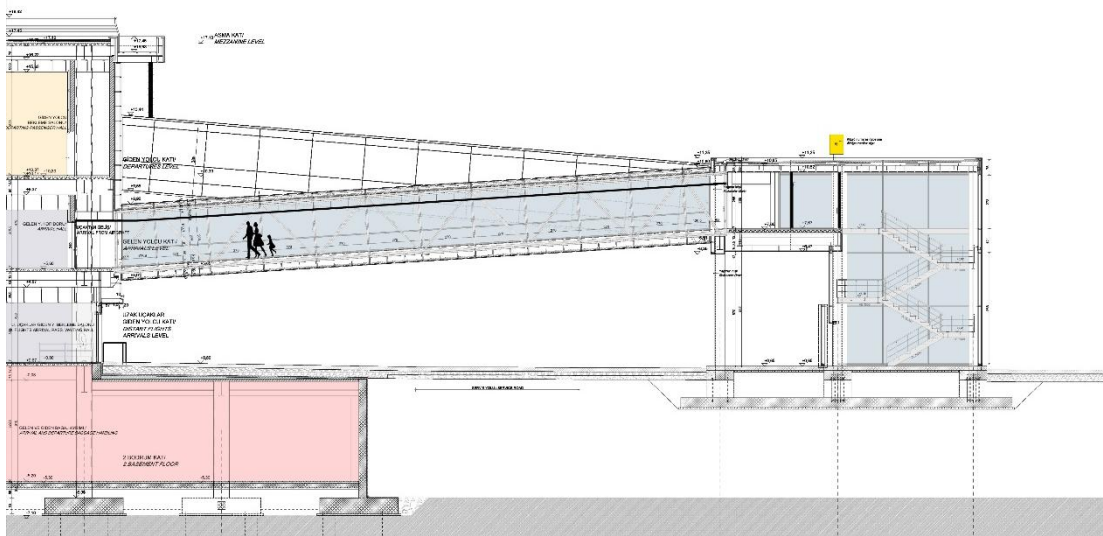
Şekil 4.14 Sabiha Gökçen Havalimanı uydu görüntüsü (Google Earth Pro, 2021)

İstanbul şehrinde bulunan Sabiha Gökçen Havalimanının şehir merkezine uzaklığı 50 km olup havalimanına ulaşım karayolu sağlanabilmektedir. Sabiha Gökçen Havalimanı iç hatlar yeni terminal binası 2009 yılında, ek terminal binası ise 2018

yılında hizmet vermeye başlamıştır (Tablo 4.5). DHMİ verilerine göre 2021 yılında 24,9 milyon yolcu havalimanını kullanmıştır (DHMİ-1, 2022). Havalimanı uydu Görüntüsü Şekil 4.14’te, genel yerleşim planı Şekil 4.15’te verilmiştir. Şekil 4.16’daki kesitte terminal binaları gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj işlem seviyesi olmak üzere 3 ana işlem seviyeli olarak planlandığı görülmektedir. Terminal binalarında toplam 10 adet çoklu (MARS Tipi) yolcu biniş sistemi bulunmaktadır.



Şekil 4.15 Sabiha Gökçen Havalimanı vaziyet planı (Hazan Mimarlık, 2021)



Şekil 4.16 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bina kesiti (Tekeli-Sisa Mimarlık, 2019)

4.3.1 Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Bilgileri

Tablo 4.6 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem bilgileri

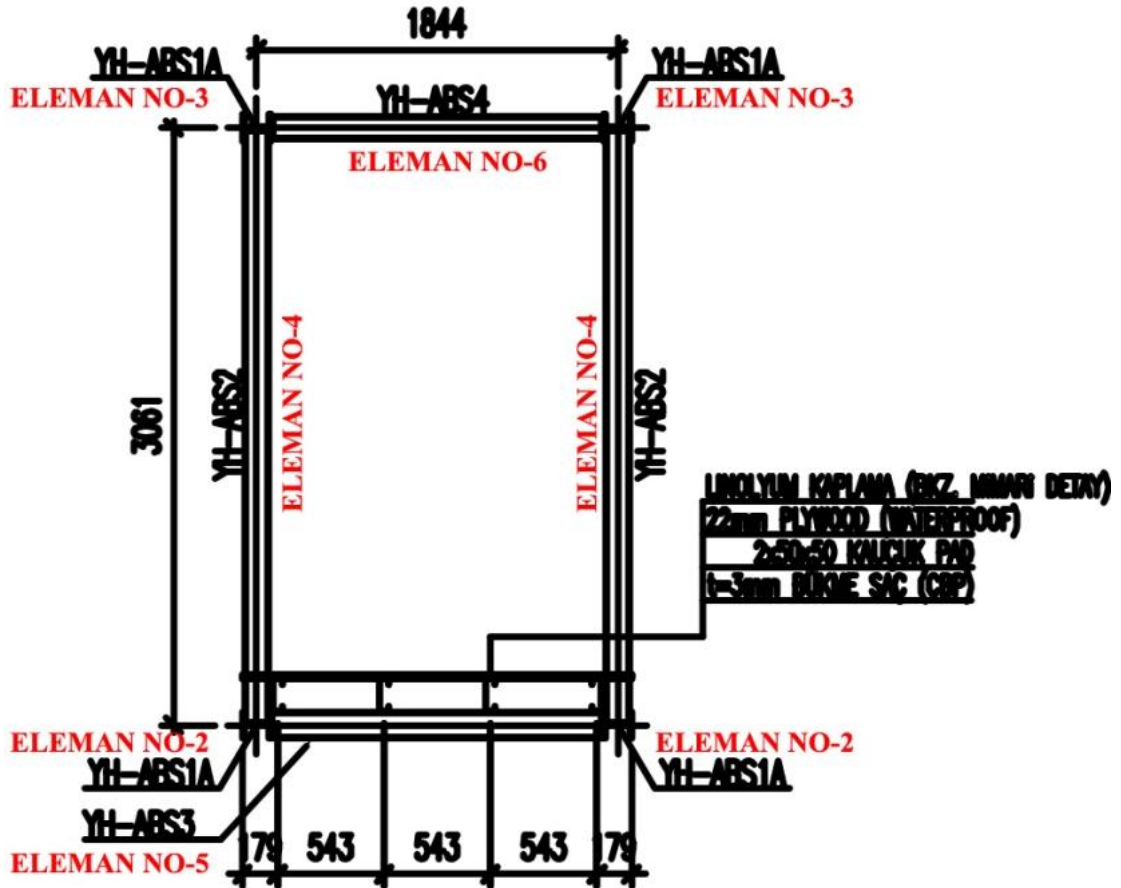
Terminal İşlem Seviyesi	Üç Seviye (gelen yolcu, giden yolcu ve bagaj)
Yolcu Bindirme Sistemi ve Sayısı	10 Adet Çoklu (MARS tipi)
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Açıklığı	31,40 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Genişliği	1,84 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Sistem Yüksekliği	3,06 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Tali Kiriş / Dikme Aralığı	2,70 metre
Terminal Bağlantı Köprüsü Kullanılan Çelik Miktarı	9,70 ton
Mevcut Döşeme Sistemi	Kontrplak + Halı Kaplama

Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprülerine ait uygulama fotoğrafı Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Terminal bağlantı köprüleri, gelen-giden yolcu işlem seviyelerine ayrı ayrı ulaşımı sağlamaktadır. Bu köprülerin taşıyıcı sistemlerinde; paralel başlıklı pratt tipi çelik makasların bir araya gelerek oluşturduğu kutu tipi çelik kafes strüktür sistemi kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprüleri ile toplamda 31,4 metre açıklık geçilmiştir (Tablo 4.6).



Şekil 4.17 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü uygulama resmi (BCES, 2021)

Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprülerinde; paralel başlıklı Pratt tipi çelik makasların bir araya gelerek oluşturduğu kutu tipi çelik kafes strüktür sistemi kullanılmıştır (Şekil 4.18). Makasların alt ve üst başlıkları; 136x144 mm en-kesit ölçülerinde yapma H profillerden oluşturulmuştur. Makasların alt ve üst başlıkları birbirine bağlayan dikmelerde; 100x120 mm en-kesit ölçülerinde yapma H profiller, diyagonal elemanlarda ise 136x136 ve 100x120 mm en-kesit ölçülerinde yapma H profiller kullanılmıştır. Makaslar alt döşemede 80x136 mm en-kesit ölçülerinde yapma H profiller , üst döşemede ise 120x120 mm en-kesit ölçülerinde yapma H profiller ile birleştirilerek kafes strüktür sistemi oluşturulmuştur. Ayrıca köprünün alt ve üst döşemelerinde 80x80x4 mm kutu kesitli profillerden çapraz bağlantı elemanları kullanılmıştır (Şekil 4.19). İncelenen terminal bağlantı köprüsünde toplamda 9.703 kg çelik profil kullanılmıştır.



Şekil 4.18 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü sistem detayı-1 (Nestçelik, 2019)

BÖLÜM BEŞ

TERMİNAL BAĞLANTI KÖPRÜLERİNİN YAPISAL ANALİZİ

Bu bölümde tez kapsamında incelenen mevcut terminal bağlantı köprülerinin SAP2000 analiz programında strüktürel sistem modelleri oluşturularak yapısal analizleri yapılacak ve mevcut terminal bağlantı köprülerinde meydana gelen titreşim ivmesinin azaltılmasına yönelik terminal bağlantı köprülerin strüktür sistemlerinde yapılabilecek revizyonlar ele alınacaktır. Bu kapsamda önce terminal bağlantı köprü sisteminde kullanılan çelik yapı malzemeleri ve döşeme sistemleri tanımlanacaktır.

5.1 Yapı Malzemesi Olarak “Çelik”

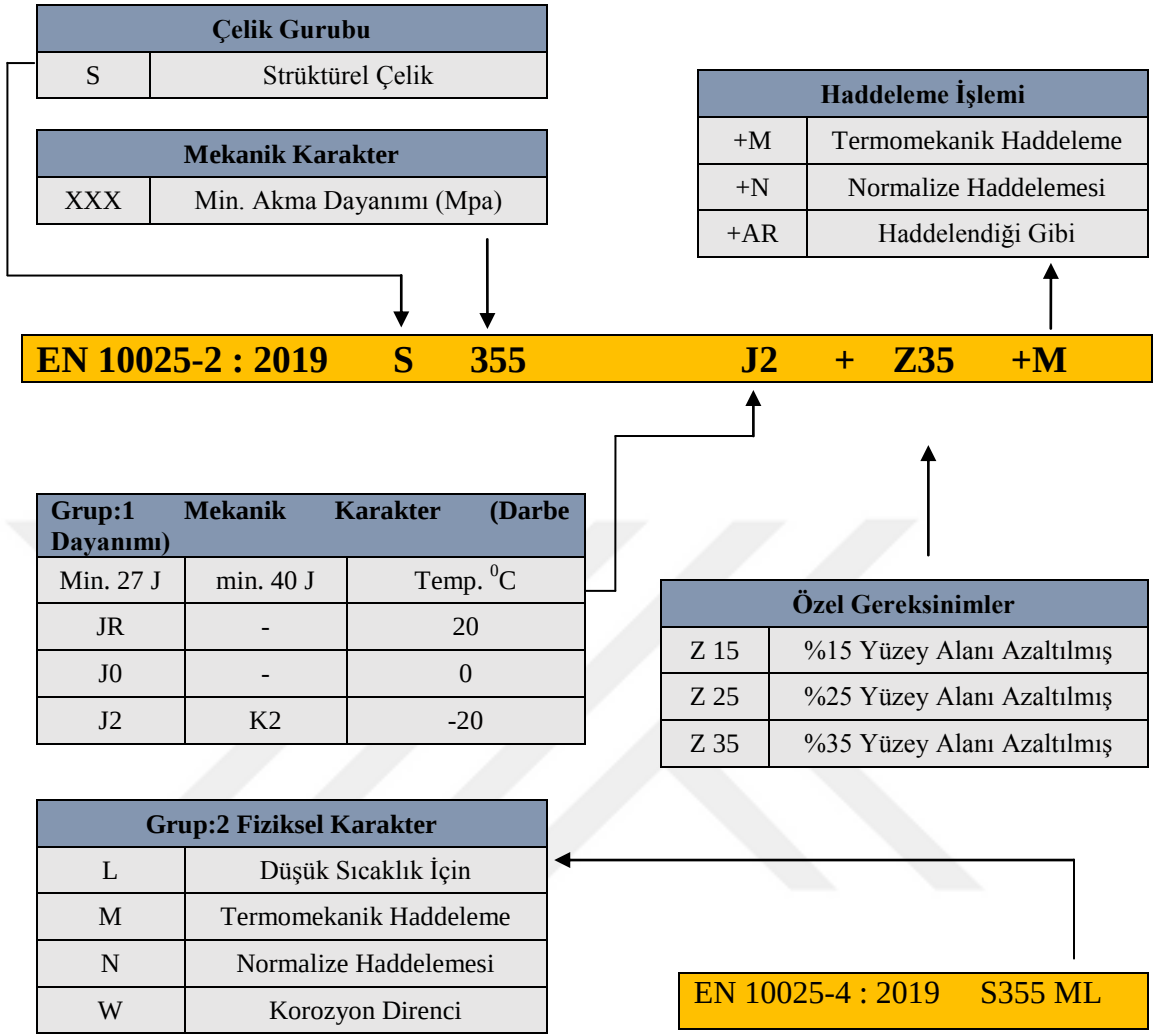
Çelik; ana maddesi demir olan ve bileşiminde % 2’den az oranda karbon (C) içeren, mekanik direnci yüksek, mekanik olarak işlenebilen bir demir - karbon alaşımıdır (Bruno vd., 2009).

Çeşitli mekanik ve ısı işlemleri sonucu istenilen sertlik düzeyine getirilebilir. Yapısında bulunan karbon miktarı çeliğin karakteristik özelliğini belirler. Yapılarda kullanılan çelikler genel olarak akma sınırı ve çekme dayanımına bağlı olarak sınıflandırılırlar. Çeliğin içeriğindeki karbon miktarı çeliğin karakteristiğini belirlemektedir. Ayrıca çelik içeriğine manganez, silisyum bakır, nikel gibi farklı elementler ilave edilmesi ve çeliğin farklı sıcaklıklarda işlenmesi ile yapısal çeliğin mukavemet, süneklik, kaynaklanabilirlik, işlenme özelliği ve korozyona olan direnci geliştirilebilir.

Türkiye’de Avrupa Standartları esas alınarak hazırlanmış, sıcak haddelenmiş yapı çelikleri ile yapı çeliklerinin teknik teslim koşullarını belirten TS EN 10025-1/6:2019 standartları uygulanmaktadır.

Bu standartlara göre yapılarda kullanılan yapısal çeliklerin kalite sembol ve açıklamaları Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Tablo 5.2’de ise yapısal çeliklere ait mekanik özellikler verilmiştir.

Tablo 5.1 Yapısal çelik kalite, sembol ve anlamları (ArcelorMittal, 2021)



Tablo 5.2 Yapısal çeliklere ait mekanik özellikler (ArcelorMittal, 2021)

STANDART	KALİTE	AKMA DAYANIMI (Mpa)		ÇEKME DAYANIMI (Mpa)		Vurma Dayanımı, Uzunlamasına	
		Anma Kalınlığı (mm)		Anma Kalınlığı (mm)		Sıcaklık	Asgari Enerji
		≤16	16<t≤40	3<t≤100	100<t≤140	°C	J
EN 10025-2 2019	S235J0	235	225	360-510	350-500	0	27
	S275J0	275	265	410-560	400-540	0	27
	S355JR	355	345	470-630	450-600	+20	27
	S460J2	460	440	550-720	530-700	-20	27

5.2 Terminal Bağlantı Köprülerinde Kullanılan Döşeme Sistemleri

5.2.1 Kontrplak (Plywood) Döşeme Sistemi

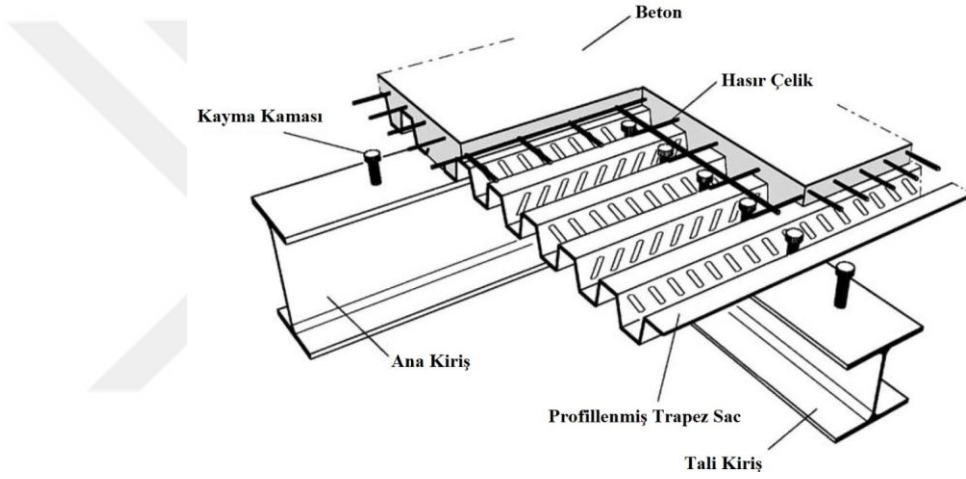
Kontrplak (plywood); ince ağaç tabakalarının birbirlerine dik olacak şekilde bir araya gelmesiyle oluşan bir paneldir. Hafif olmasına karşın yüksek bir mekanik dayanıma sahiptir. Yaygın olarak üretilen panel boyutları 2500 mm x 1250 mm olup, kalınlığı 6 – 30 mm arasında değişmektedir. Şekil 5.1’de Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsüne ait kontrplak döşeme fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 5.1 Sabiha Gökçen Havalimanı terminal bağlantı köprüsü kontrplak döşeme uygulaması (Nestçelik, 2019)

5.2.2 Betonarme Kompozit Döşeme Sistemi

Betonarme kompozit döşemeler, çelik kirişler üzerine döşenmiş çelik sacların beton ile birlikte çalıştırılmasıyla ortaya çıkan kompozit taşıyıcı elemanlardır. Betonarme kompozit döşeme sistemleri ile betonarme döşeme sistemlerine göre daha hafif ve daha yüksek dayanımlı döşemeler elde edilebilmektedir. Betonarme kompozit döşeme sistemleri; yapısal çelik kiriş, kayma kaması, profillenmiş çelik sac ve donatılı betondan bileşenlerinden oluşmaktadır (Aydın, 2020). Şekil 5.2’de kompozit döşeme sistemine ait görsel verilmiştir.

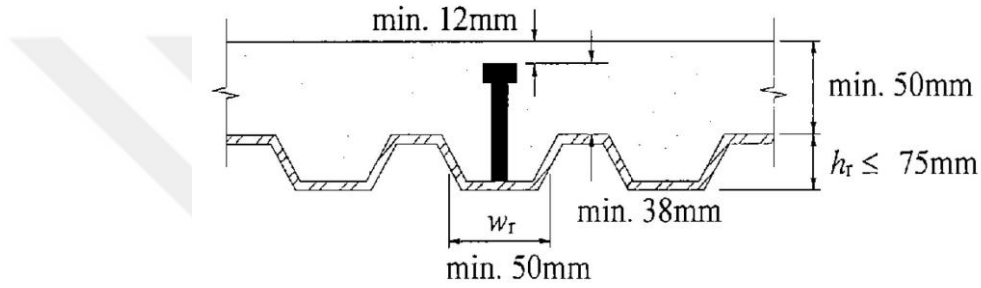


Şekil 5.2 Betonarme kompozit döşeme sistemi (Crisinel, 2004)

Betonarme kompozit döşeme sisteminde profillenmiş çelik saclar; beton dökümü sırasında kalıp görevi üstlenmekle beraber üzerindeki girintiler sayesinde beton ile mekanik kenetlenmeyi sağlar. Yapısal çelik üzerine yerleştirilen profillenmiş çelik sac ve donatılı betondan oluşturulmuş kompozit döşemenin birlikte çalışabilmesi için başlıklı kayma kamalarının kullanılması gerekmektedir. Kayma kamaları sayesinde yapısal çelik ile profillenmiş çelik sac arasında oluşabilecek kayma hareketlerinin önüne geçilebilmektedir (Aydın, 2020).

Şekil 5.3’te Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmeliğinde şekil verilmiş çelik saclarla ait yapısal esaslar verilmiştir. İlgili yönetmelikte;

- h_r olarak gösterilen çelik sac hadve yüksekliğinin en fazla 75 mm olması gerektiği, w_r olarak gösterilen ortalama hadve genişliğinin ise en az 50 mm olması gerektiği,
- Başlıklı kayma kamasının yapısal çelik kirişe kaynaklanmasından sonra çelik sacın hadve üst kotu üstünde kalan kısmı en az 38 mm olması gerektiği ve beton döşeme üst kotu ile arasında en az 12 mm olması gerektiği,
- Hadve üst kotu ile beton döşeme üst kotu arasında en az 50 mm olması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 5.3 Şekil verilmiş çelik sac için yapısal esaslar (CSB, 2016)

5.3 Terminal Bağlantı Köprü Sistemlerinde Tanımlanan Yükler

SAP2000 analiz programı ile oluşturulan terminal bağlantı köprülerine ait yapısal sistem modellerinde tanımlanan sabit, hareketli ve diğer yükler Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Sap2000 sistem modelinde tanımlanan sabit ve hareketli yükler

Yükler	:	kgf / m ²
Zati Yükler	:	Sap2000 programı tarafından tanımlanacaktır.
Q – Hareketli Yükler (TS 498'e göre)	:	500 kgf/m ²
Betonarme Kompozit Döşeme Yükü (h:120 mm)	:	300 kgf/m ²
Kontrplak Döşeme Yükü	:	20 kgf/m ²
Cam ve Kaplama Yükü	:	228 kgf/m ²
Diğer Yükler	:	75 kgf/m ²
Üst Aşık Yükü	:	110 kgf/m ²
Alt Aşık Yükü	:	65 kgf/m ²

5.4 Adnan Menderes Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü

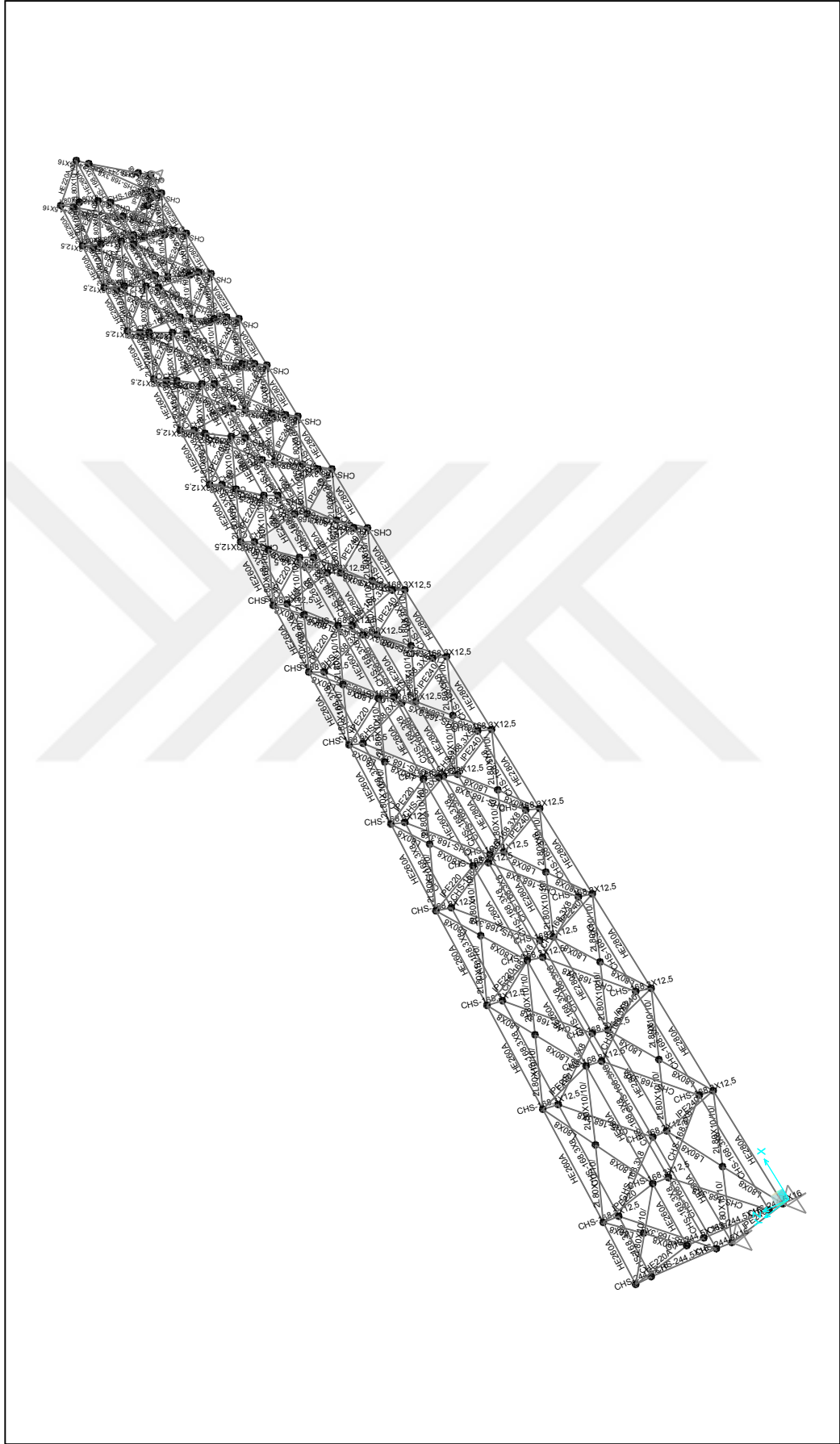
5.4.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde toplamda 32.967 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.4’te listelenmiştir.

Tablo 5.4 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Kafes Kiriş Diyagonallerde	CHS-168,3X5	S235	25,65	1.635
Eleman No-2	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kirişlerde	CHS-168,3X8	S235	40,29	8.752
Eleman No-3	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kiriş Ara Dikmelerde	CHS-168,3X12,5	S235	61,18	1.635
Eleman No-4	Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	CHS-244,5X16	S235	114,86	1.278
Eleman No-5	Kafes Sistem Mesnet Kirişlerinde	HE220A	S275	64,3	223
Eleman No-6	Üst Vierendeel Kafes Kiriş Üst Başlıklarında	HE260A	S275	86,8	6.336
Eleman No-7	Alt Vierendeel Kafes Kiriş Alt Başlıklarında	HE280A	S275	97,3	7.102
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	IPE220	S275	33,4	869
Eleman No-9	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	IPE240	S275	39,1	1.153
Eleman No-10	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	2L80X10	S235	30,21	2.777
Eleman No-11	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L80X8	S235	12,27	1.128

Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.4’te gösterilmiştir. Şekil 5.6’da ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre mevcut sistemin frekansı 1,57860 Hz’dir.

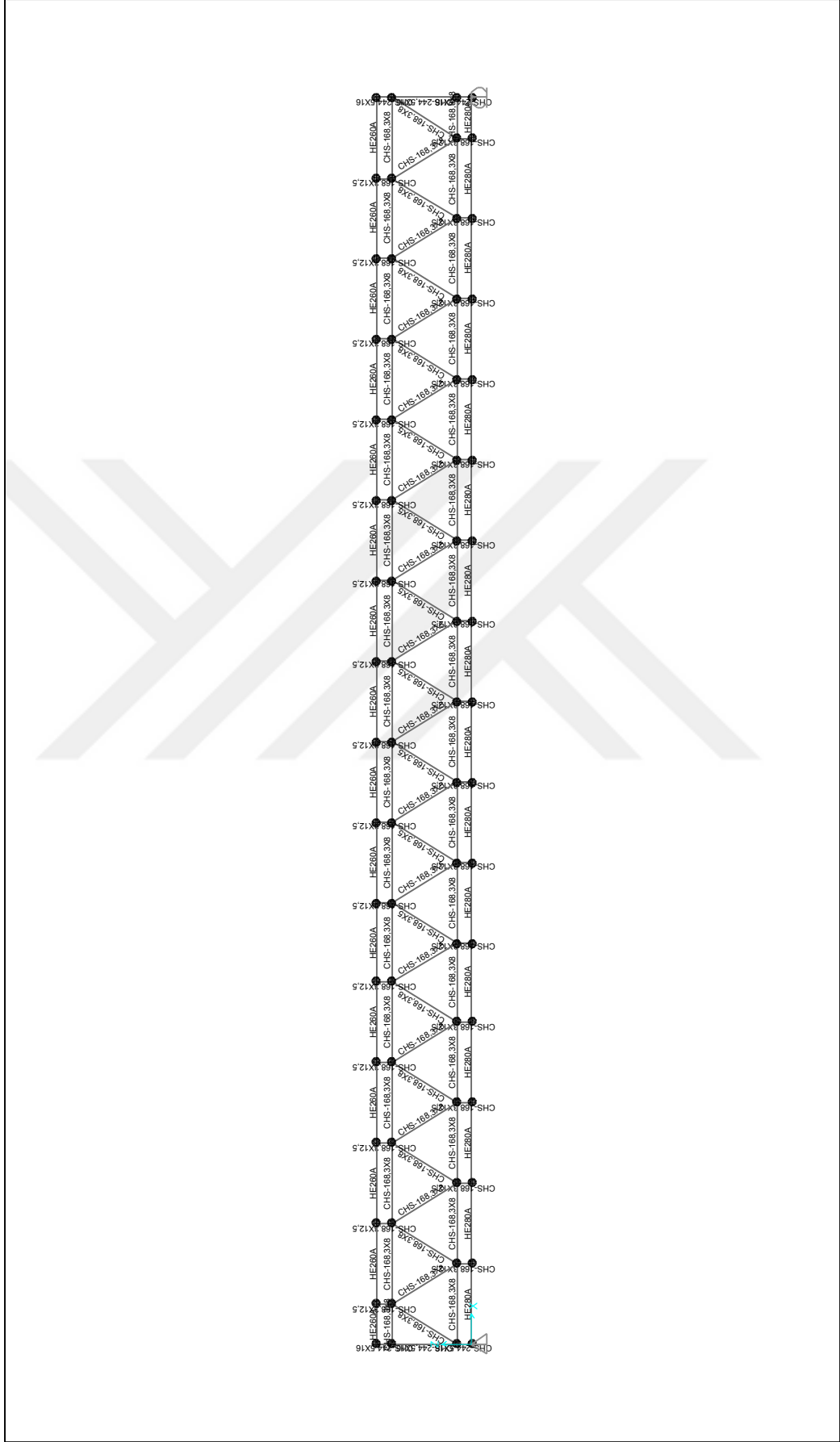


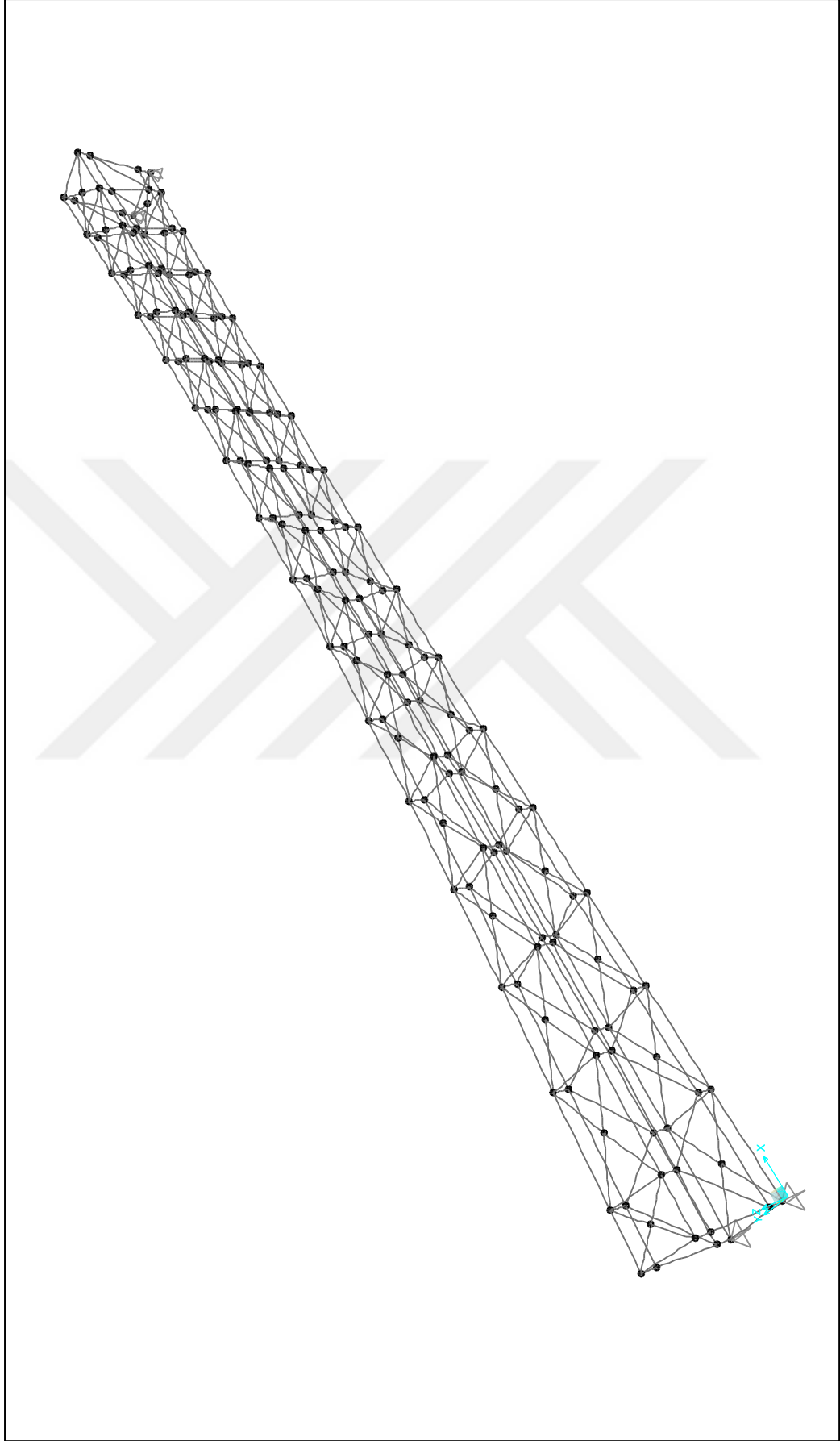
Kgf, cm, C

3-D View

Şekil 5.4 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli

SAP2000 20.2.0





SAP2000 20.2.0

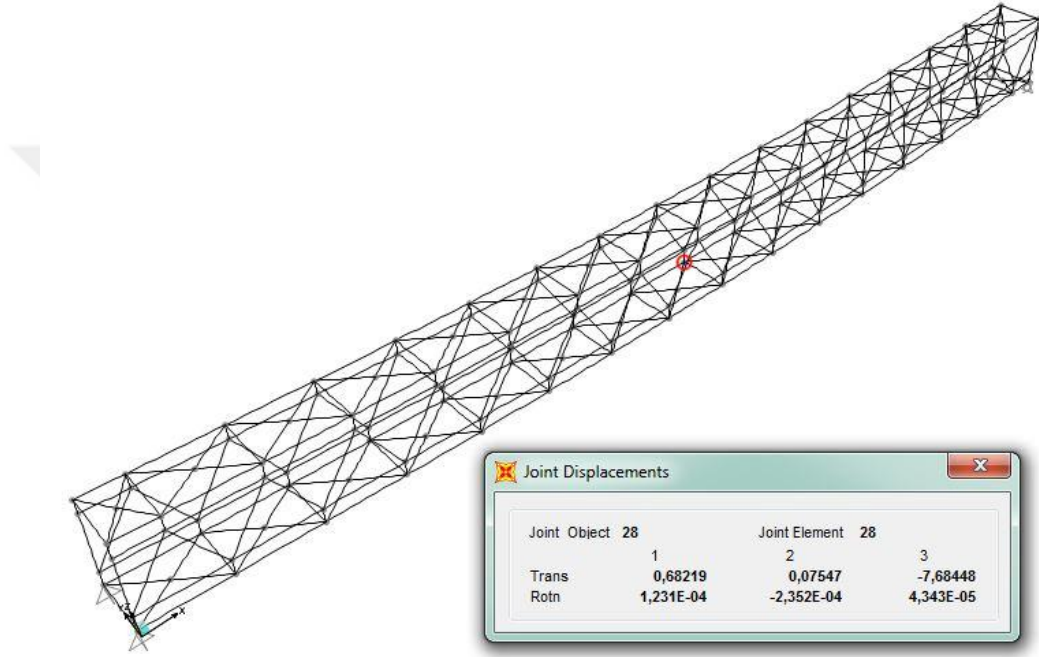
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.63347; f = 1.5786

Kg,cm, C

Şekil 5.6 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.4.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.7’de Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -7,68448 cm’dir.



Şekil 5.7 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$7,68448 \text{ cm} < 15,50 \text{ cm} (46,50 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan kafes sistem düşey yer değiştirme kontrolü açısından yeterlidir.

5.4.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı

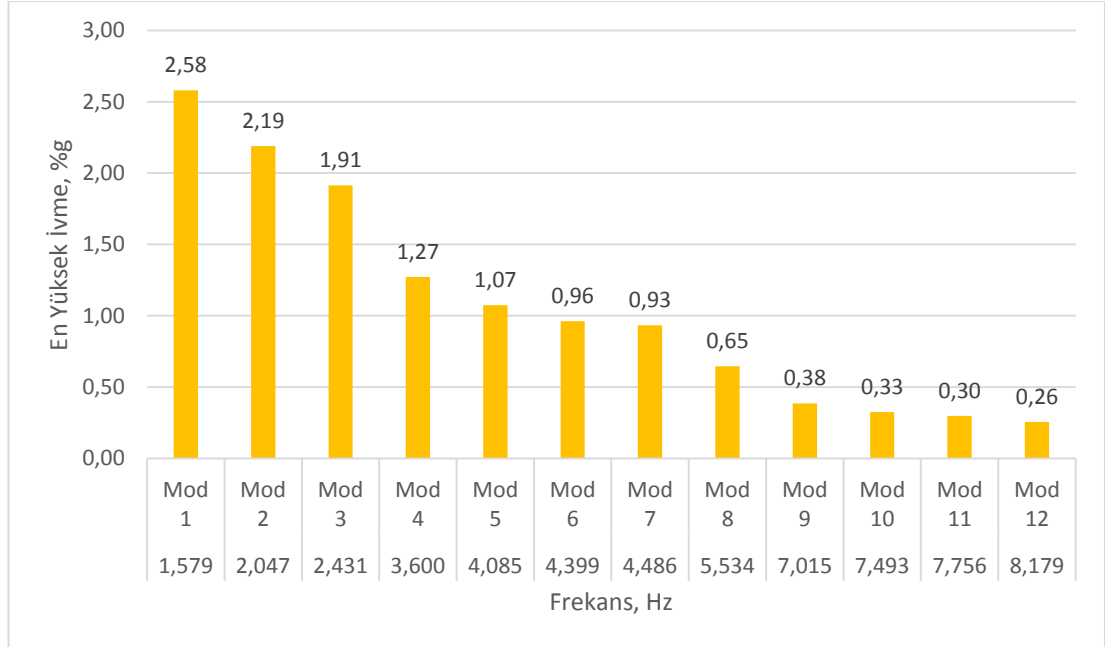
Tablo 5.5'te Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1'de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 2,58 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.8'de ise mevcut sistem tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.5 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Mevcut Yapısal Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		46,50		y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65
X: Sistem Genişliği (m):		2,21		y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110
Z: Sistem Yüksekliği (m):		3,54		y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		3,00		y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		2,21		y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228
b: Birim Genişlik (m)		1,00		y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	143,65	+	1105	+	44,20
w _j	=	1293				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1293	*	46,50		
W	=			60.115		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	32.967		kgf
W (Toplam)			=	93.082		kgf

Tablo 5.5 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	93.082	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,57860	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_o \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0258	►	2,58	%g



Şekil 5.8 Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

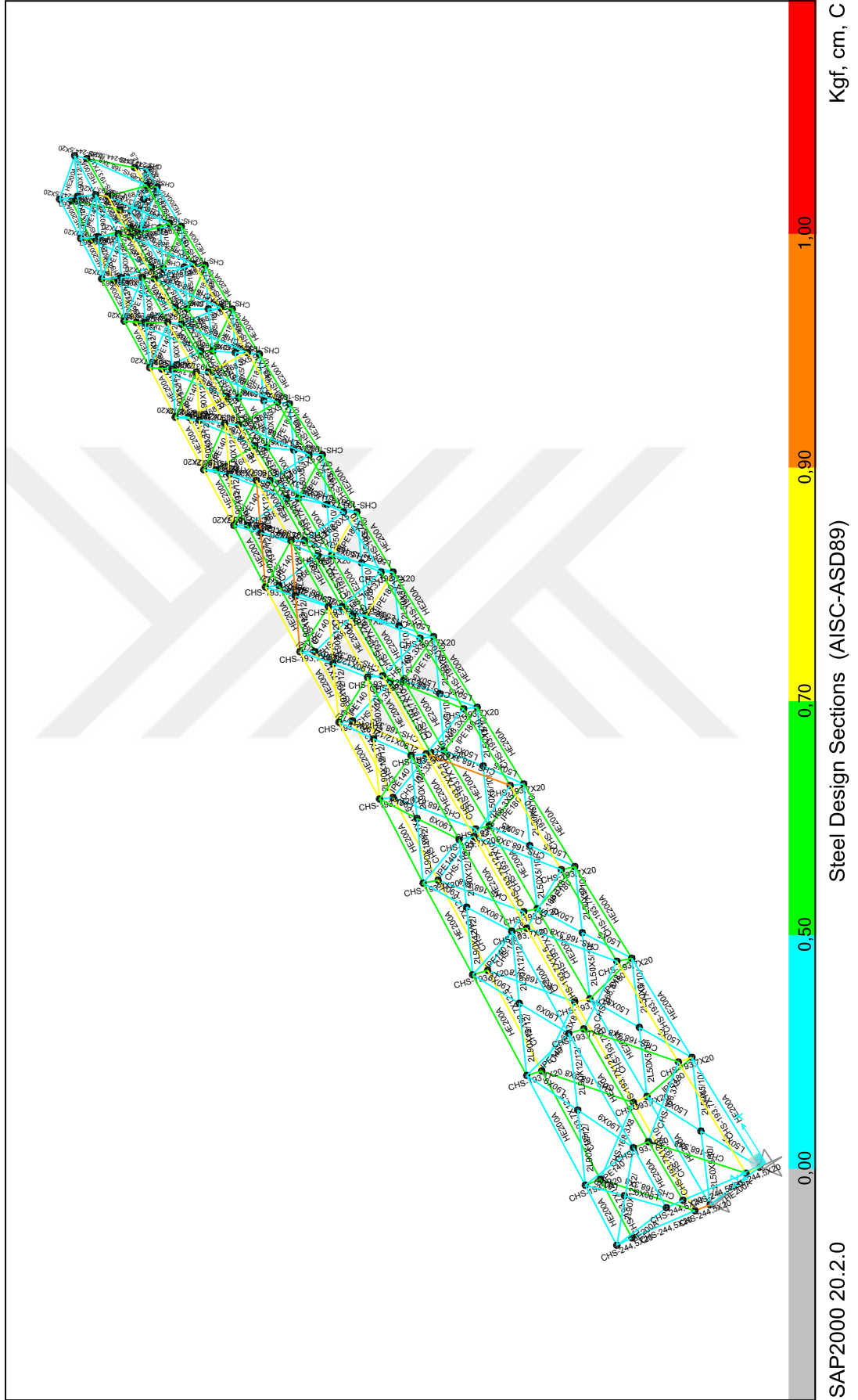
5.4.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuştur. Strüktür sistemi ise S235 ve S275 kalite çelik profiller S355 kalite olacak şekilde revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre öneri model-1 terminal bağlantı köprü strüktür sisteminde S355 kalite çelik profiller tercih edildiğinde mevcut profillere göre daha düşük kesit alanları ile sistemin çözülebildiği görülmüştür. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde 31.555 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.6’da listelenmiştir.

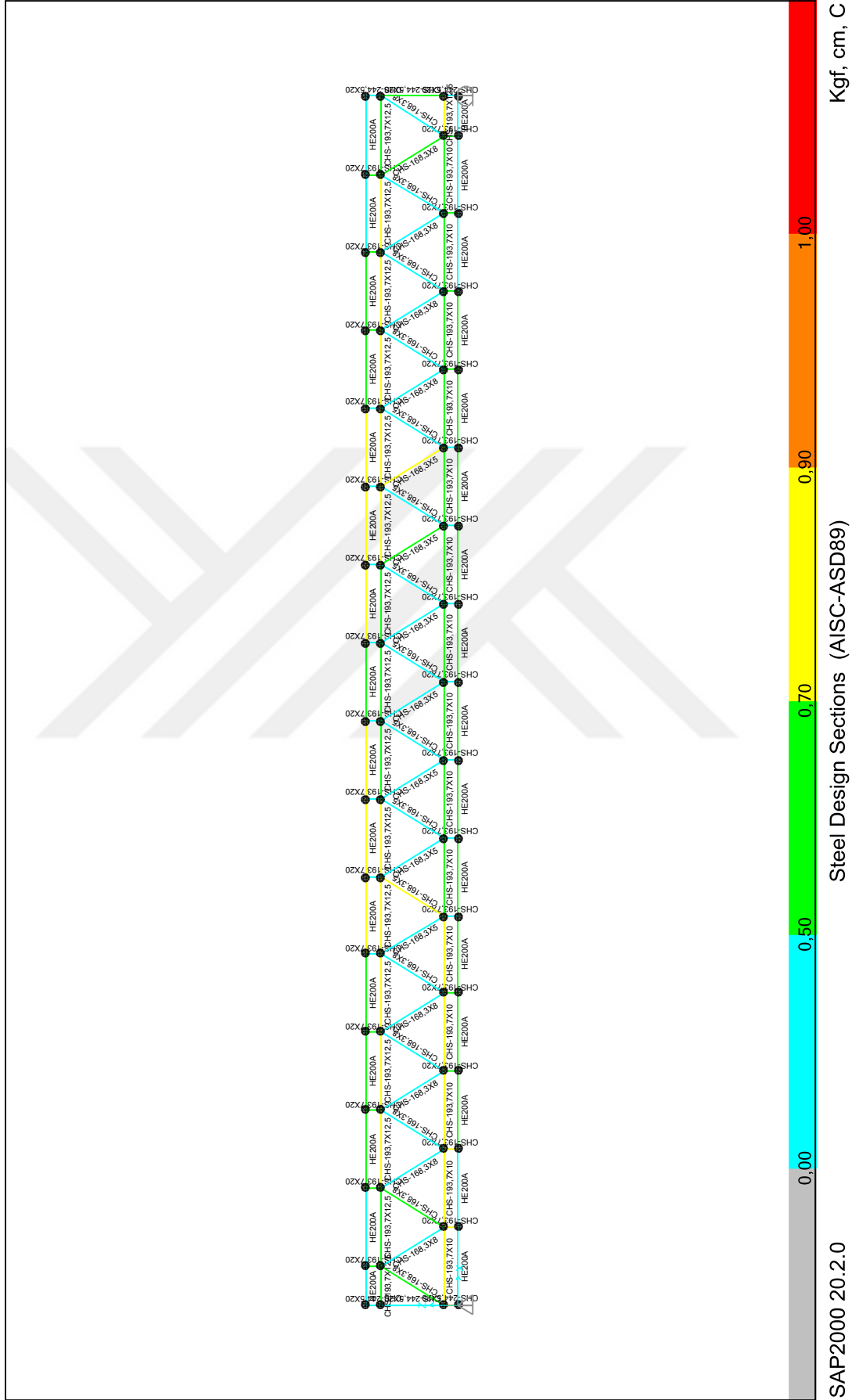
Tablo 5.6 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

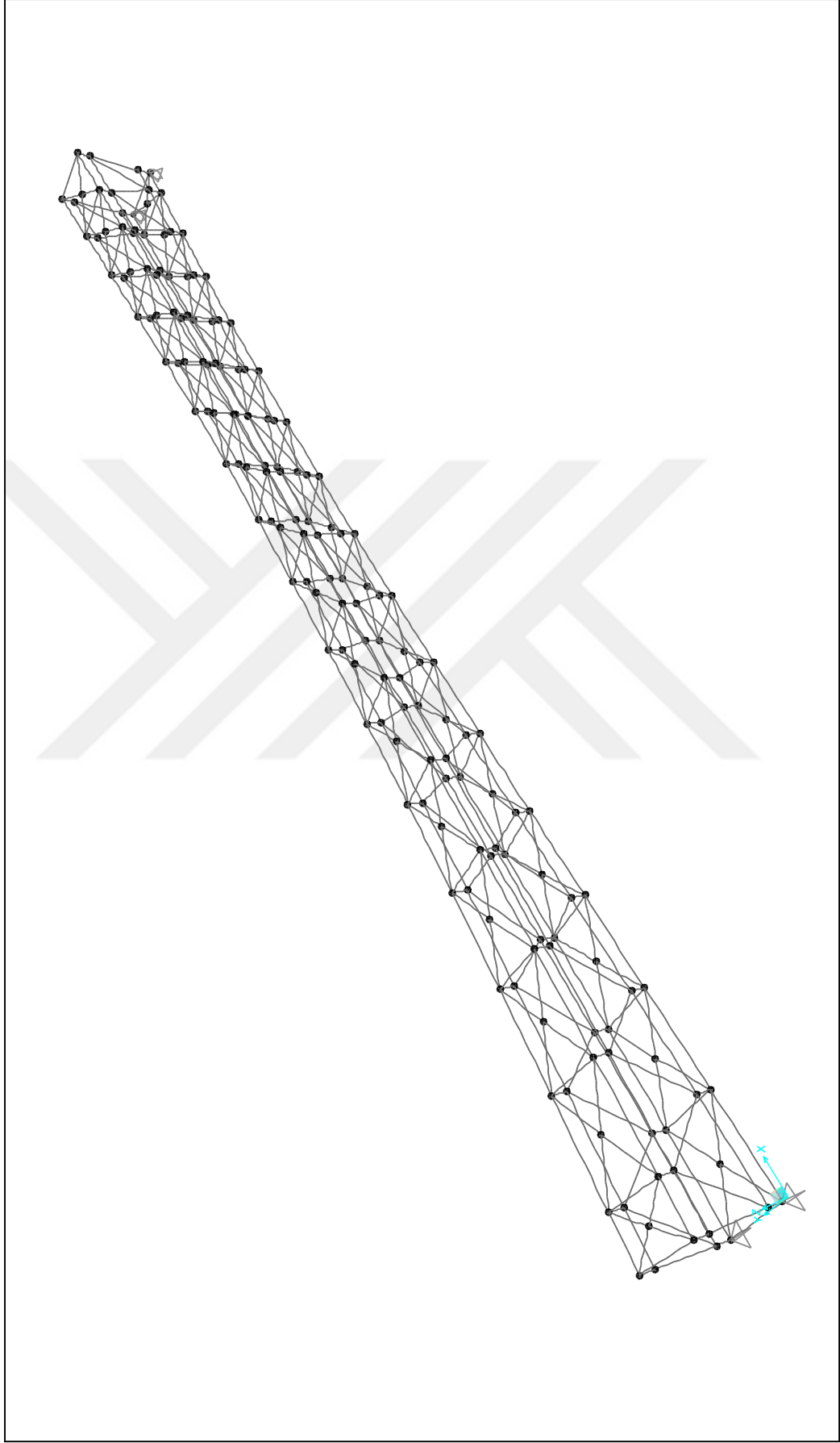
Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Kafes Kiriş Diyagonallerde	CHS-168,3X5	S355	25,65	1.714
		CHS-168,3X8	S355	40,29	2.871
Eleman No-2	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kirişlerde	CHS-193,7X10	S355	57,71	4,075
		CHS-193,7X12,5	S355	71,16	5.196
Eleman No-3	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kiriş Ara Dikmelerde	CHS-193,7X20	S355	109,14	3.174
Eleman No-4	Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	CHS-244,5X20	S355	141,06	1.569
Eleman No-5/6/7	Vierendeel Kafes Kiriş Alt ve Üst Başlıkları ile Mesnet Kirişlerinde	HE200A	S355	53,8	8.227
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	IPE140	S355	16,4	427
Eleman No-9	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	IPE180	S355	23,9	622
Eleman No-10 /11	Üst Döşeme Diyagonallerinde	2L90X12	S355	40,58	2.578
		L90X9	S355	15,52	441
Eleman No-10/11	Alt Döşeme Diyagonallerinde	2L50X5	S355	9,61	441
		L50X5	S355	4,8	221

Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.9’da gösterilmiştir. Şekil 5.11’de ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 1,46180 Hz’dir.



Şekil 5.9 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli





SAP2000 20.2.0

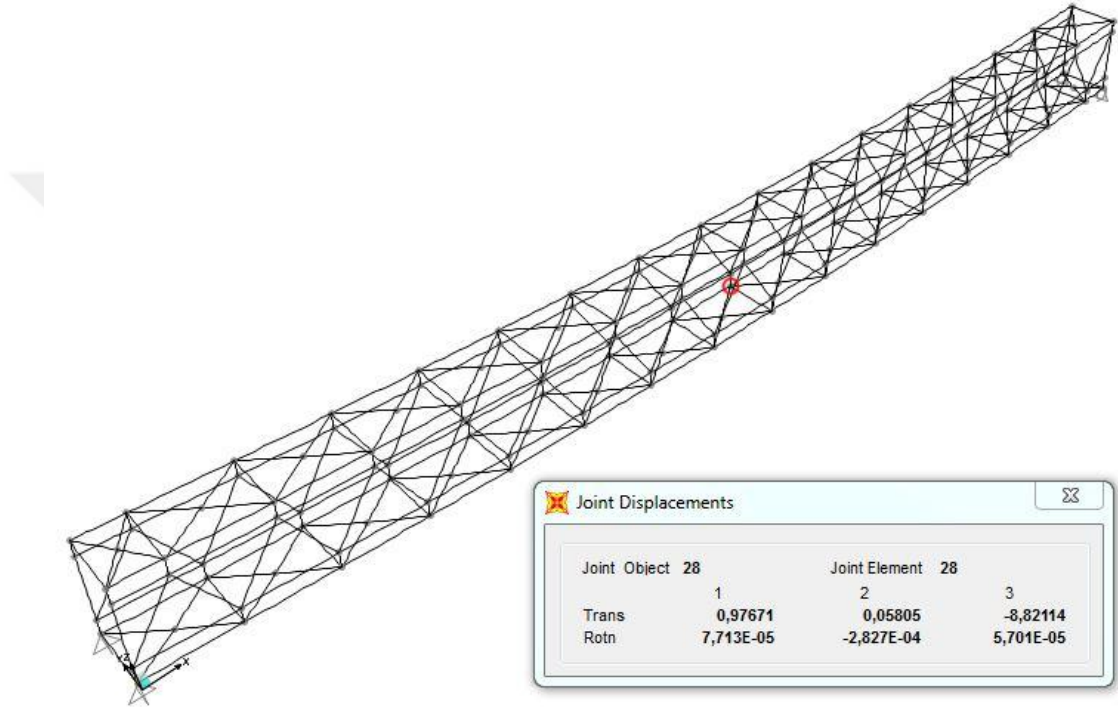
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0,68409; f = 1,4618

Kg, cm, C

Şekil 5.11 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.4.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.12’de ise model-1 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -8,82114 cm’dir.



Şekil 5.12 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$8,82114 \text{ cm} < 15,50 \text{ cm} (46,5 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.4.2.2 Öneri Model-1 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

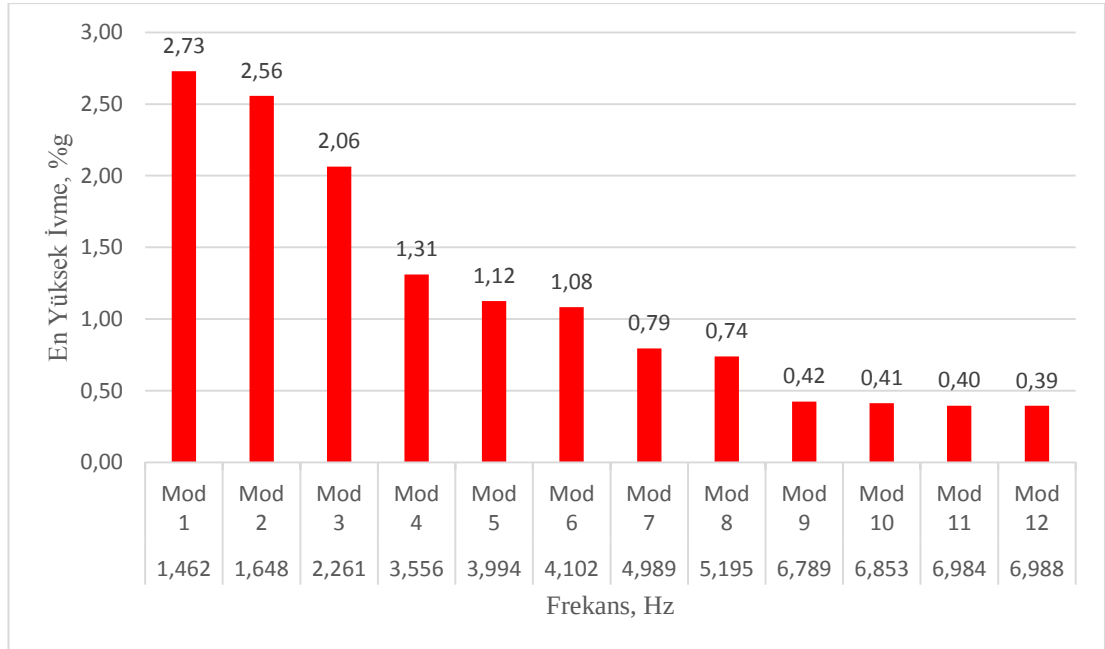
Tablo 5.7’de Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 2,73 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.13’te ise öneri model-1 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.7 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Mevcut Yapısal Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		46,50		y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65
X: Sistem Genişliği (m):		2,21		y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110
Z: Sistem Yüksekliği (m):		3,54		y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		3,00		y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		2,21		y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228
b: Birim Genişlik (m)		1,00		y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	143,65	+	1105	+	44,20
w _j	=	1293				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1293	*	46,50		
W	=			60.115		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	31.555		kgf
W (Toplam)			=	91.670		kgf

Tablo 5.7 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	91.670	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,46180	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0273	►	2,73	%g



Şekil 5.13 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

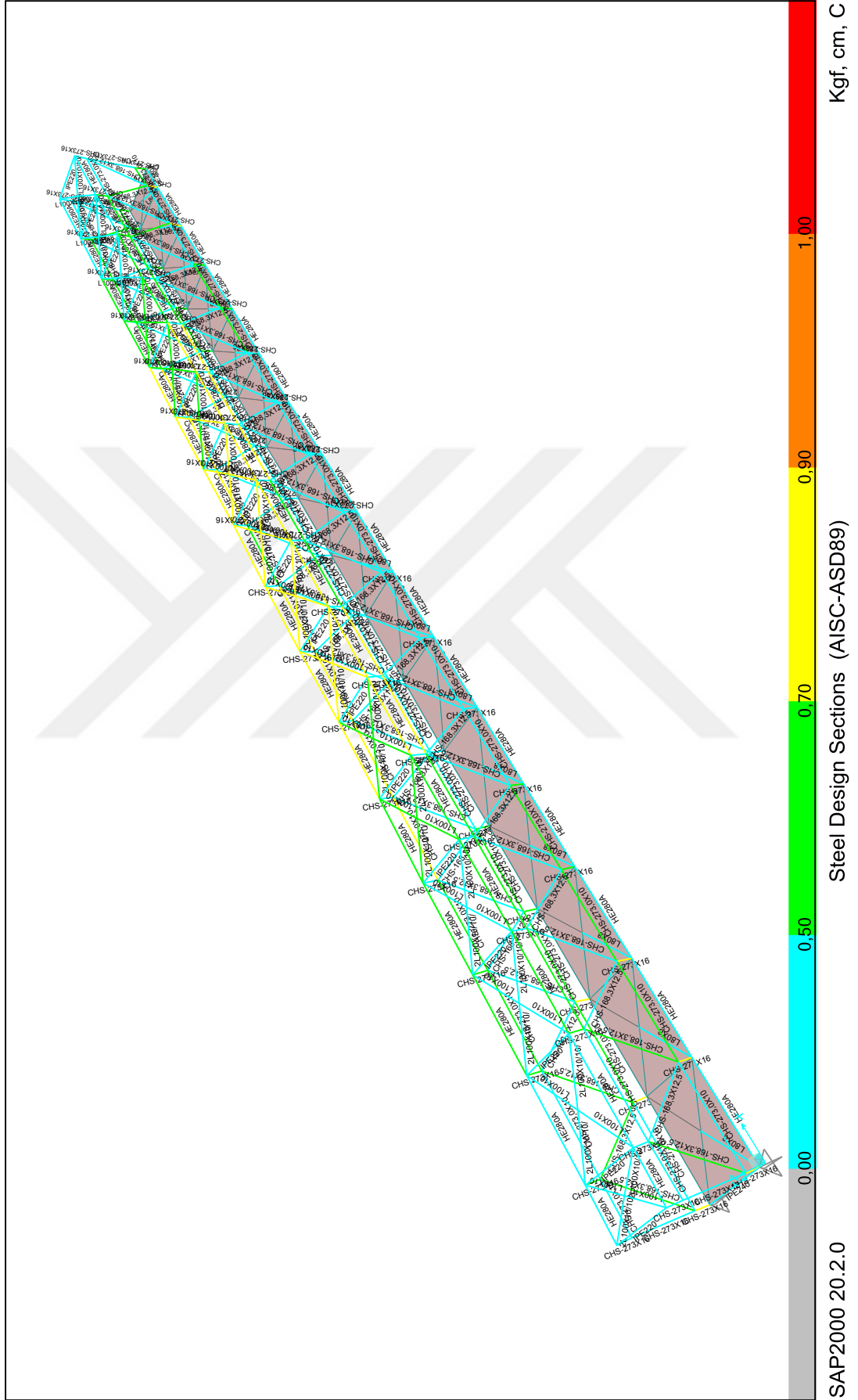
5.4.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-2 kapsamında mevcut yapısal çelik kalitelerinde değişim yapılmadan kontrplak döşeme sistemi yerine kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre mevcut döşeme sistemi yerine kompozit döşeme sistemi tercih edildiğinde mevcut yapısal çelik profillerin taşıma kapasitesinin aşıldığı görülmüştür. Bu sebeple gerilme değeri taşıma kapasitesini aşan çelik profillerde çelik kalitesi değiştirilmeden sadece kesit alanları arttırılmıştır. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde 45.510 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.8’de listelenmiştir.

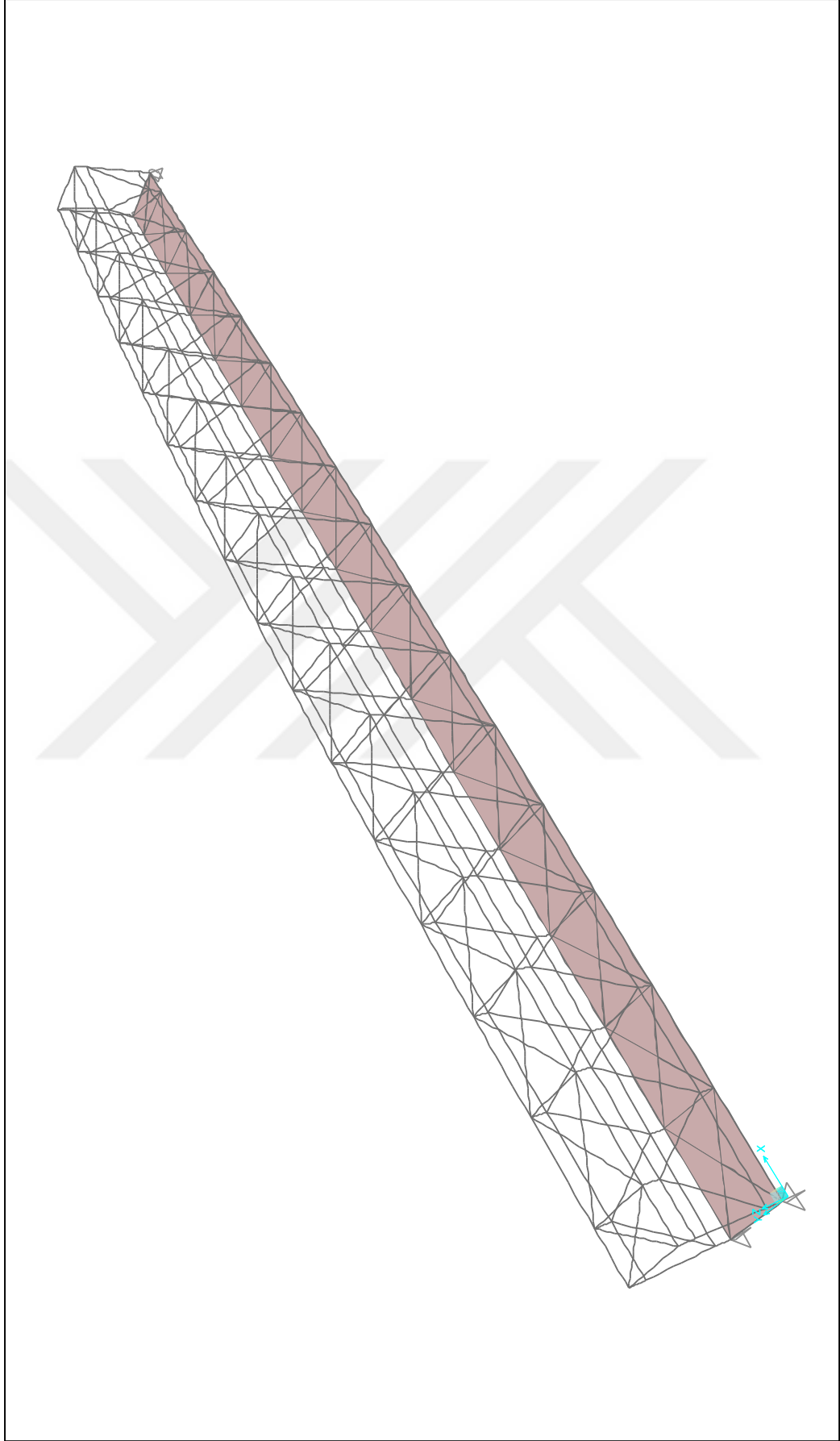
Tablo 5.8 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Kafes Kiriş Diyagonallerde	CHS-168,3X12,5	S235	61,18	8.447
Eleman No-2	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kirişlerde	CHS-273,0X10	S235	82,62	12.062
Eleman No-3/4	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kiriş Ara Dikmeler ile Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	CHS-273,0X16	S235	129,18	4.890
Eleman No-6/7	Vierendeel Kafes Kiriş Alt ve Üst Başlıklarında	HE280A	S275	97,30	14.205
Eleman No-5/8	Kafes Sistem Üst Tali Kirişler ile Mesnet Kirişlerinde	IPE220	S275	33,40	985
Eleman No-5/9	Kafes Sistem Alt Tali Kirişler ile Mesnet Kirişlerinde	IPE240	S275	39,10	1.153
Eleman No-10 /11	Üst Döşeme Diyagonallerinde	2L100X10	S235	38,31	1.761
Eleman No-10/11	Üst Döşeme Diyagonallerinde	L100X10	S235	19,15	880
Eleman No-10/11	Alt Döşeme Diyagonallerinde	L80X8	S235	12,27	1.128

Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.14’te gösterilmiştir. Şekil 5.16’da ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 1,71398 Hz’dir.



Şekil 5.14 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli



SAP2000 20.2.0

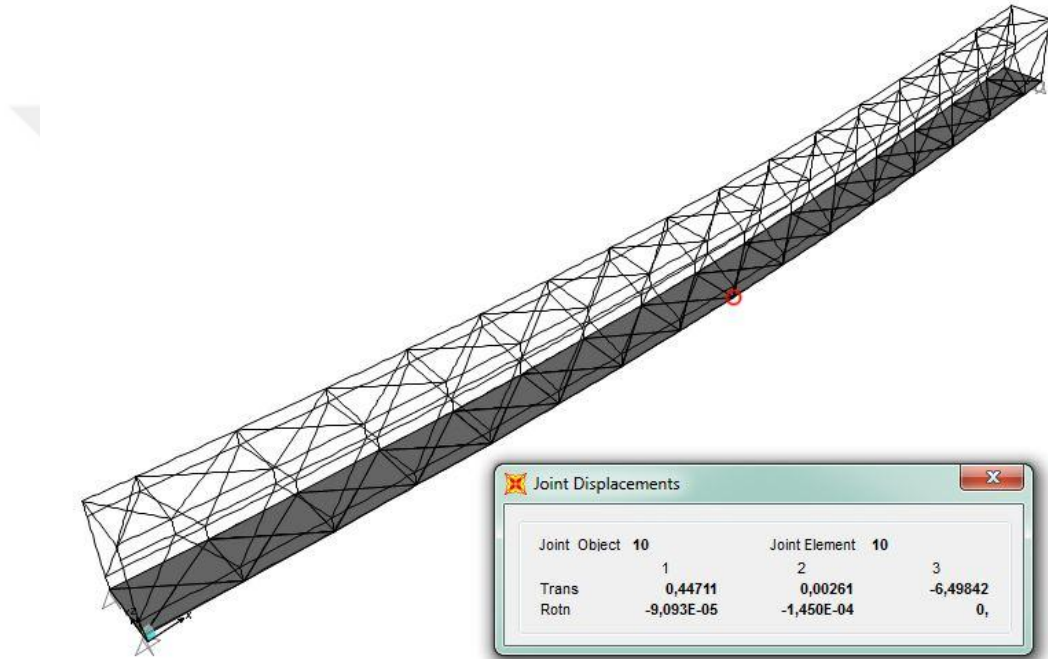
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 0,58344$; $f = 1,71398$

Kgf, cm, C

Şekil 5.16 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.4.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.17’de ise öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -6,49842 cm’dir.



Şekil 5.17 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$6,49842 \text{ cm} < 15,50 \text{ cm} (46,50 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.4.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

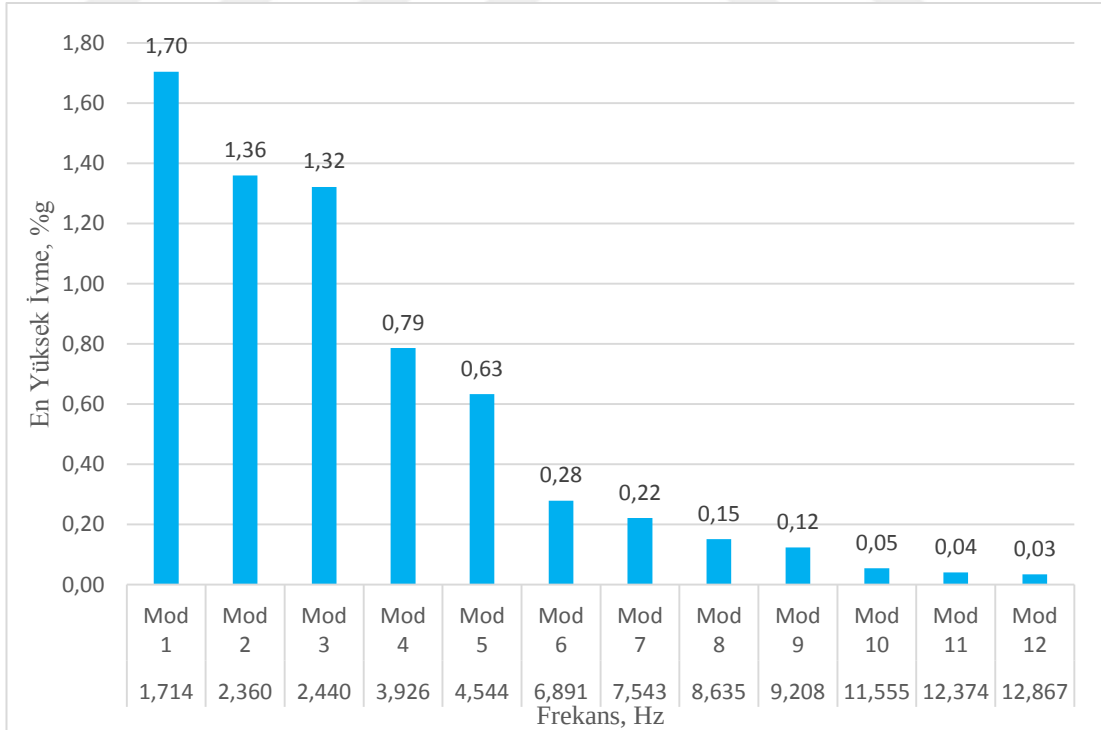
Tablo 5.9’da Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 1,70 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.18’de ise öneri model-2 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.9 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):	46,50	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	2,21	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	3,54	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	3,00	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ : Tali Kiriş Genişliği(m):	2,21	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	143,65	+	1105	+	663
wj	=	1912				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1912	*	46,50		
W	=			88.888		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	45.510		kgf
W (Toplam)			=	134.398		kgf

Tablo 5.9 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	134.398	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,71398	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0170	►	1,70	%g



Şekil 5.18 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

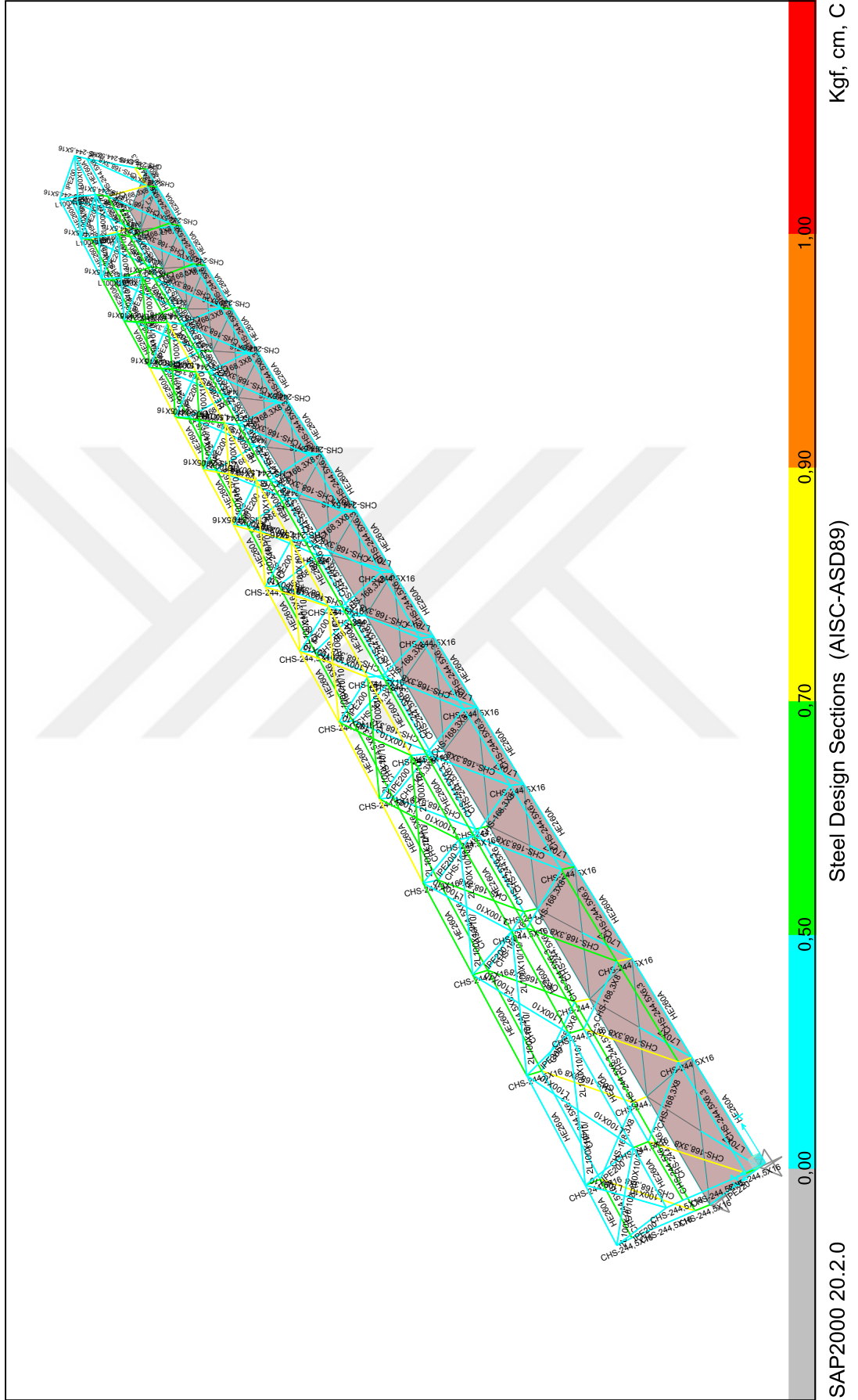
5.4.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Adnan Menderes Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-3 kapsamında model-2'den farklı olarak mevcut yapısal çelik kaliteleri ve kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamaları doğrultusunda öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde 34.794 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.10'da listelenmiştir.

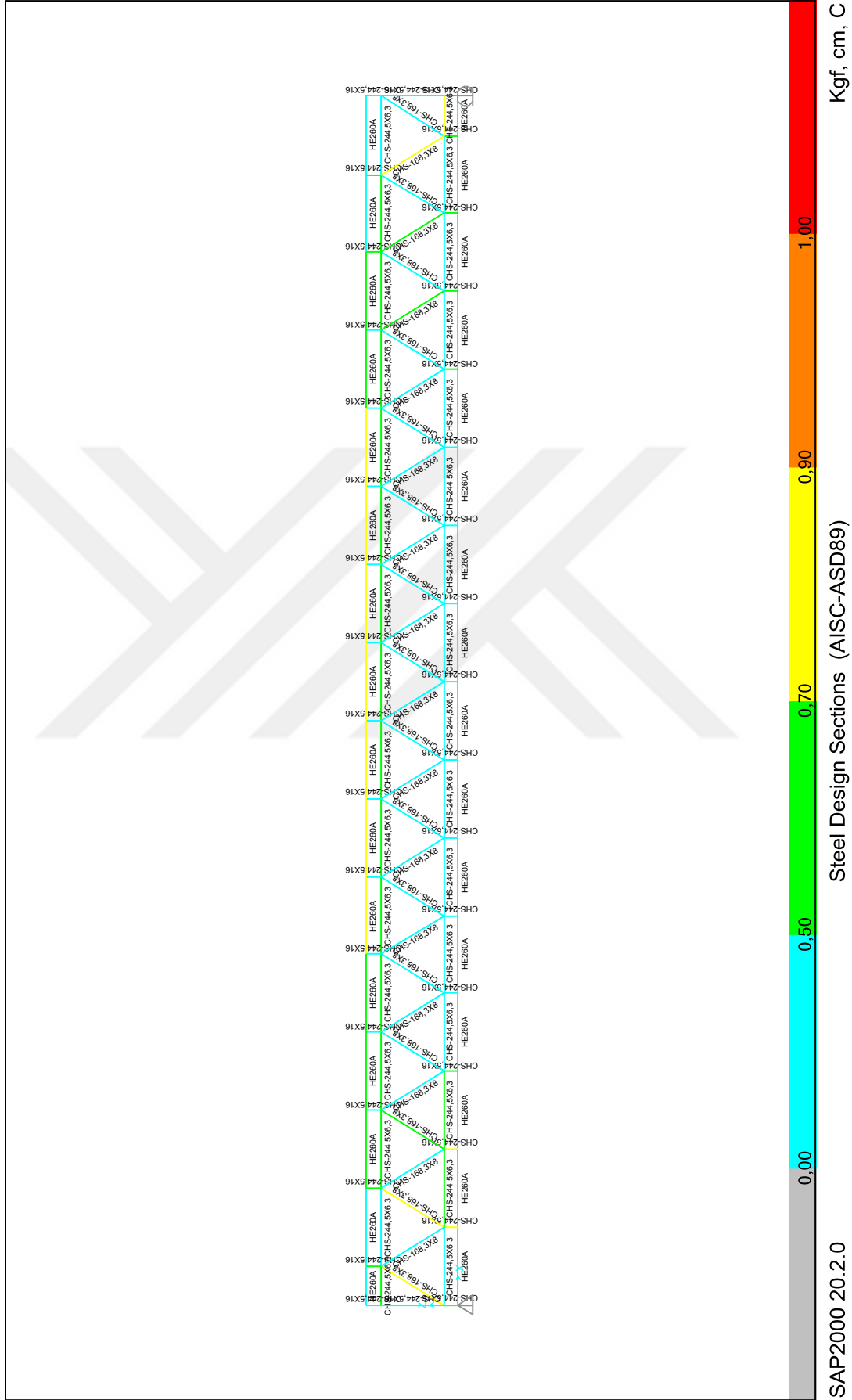
Tablo 5.10 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Kafes Kiriş Diyagonallerde	CHS-168,3X8	S355	40,29	5.562
Eleman No-2	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kirişlerde	CHS-244,5X6,3	S355	47,14	6.883
Eleman No-3/4	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kiriş Ara Dikmeler ile Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	CHS-244,5X16	S355	114,86	4.347
Eleman No-6/7	Vierendeel Kafes Kiriş Alt ve Üst Başlıklarında	HE260A	S355	86,8	12.672
Eleman No-5/8	Kafes Sistem Üst Tali Kirişler ile Mesnet Kirişlerinde	IPE200	S355	28,5	840
Eleman No-5/9	Kafes Sistem Alt Tali Kirişler ile Mesnet Kirişlerinde	IPE220	S355	33,4	985
Eleman No-10 /11	Üst Döşeme Diyagonallerinde	2L100X10	S355	38,31	1.761
Eleman No-10/11	Üst Döşeme Diyagonallerinde	L100X10	S355	19,15	880
Eleman No-10/11	Alt Döşeme Diyagonallerinde	L70X7	S355	9,4	864

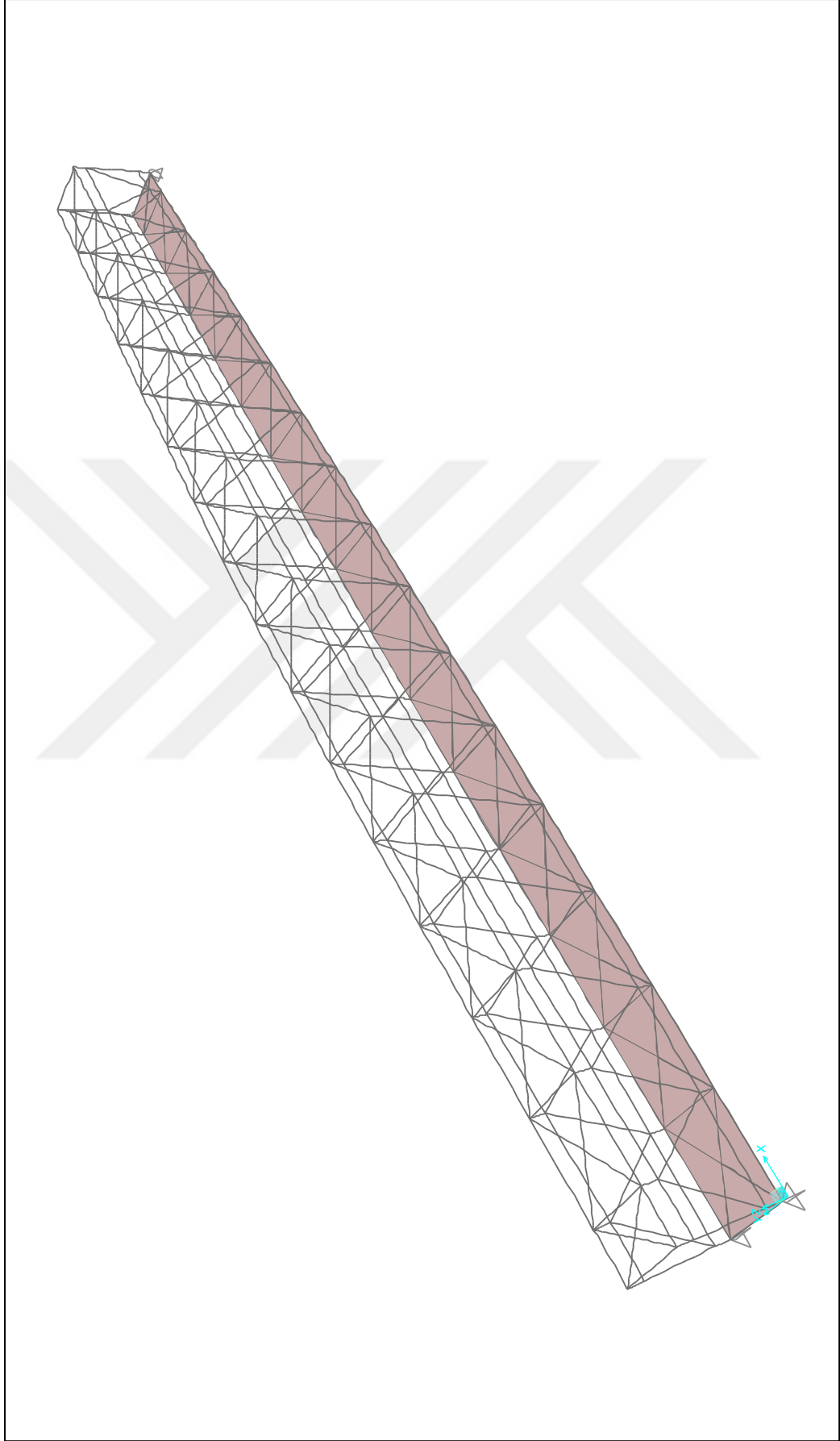
Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Şekil 5.21'de ise öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1'de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 1,57815 Hz'dir.



Şekil 5.19 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli



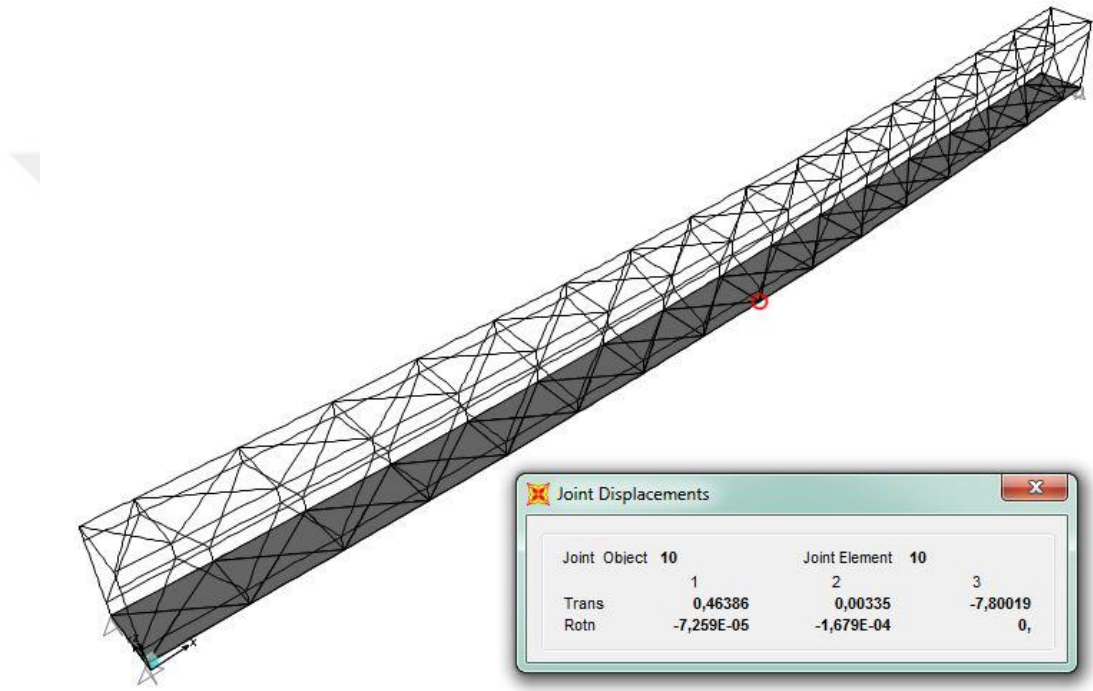
Şekil 5.20 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti



Şekil 5.21 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı

5.4.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.22’de öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -7,80019 cm’dir.



Şekil 5.22 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$7,80019 \text{ cm} < 15,50 \text{ cm} (46,50 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.4.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

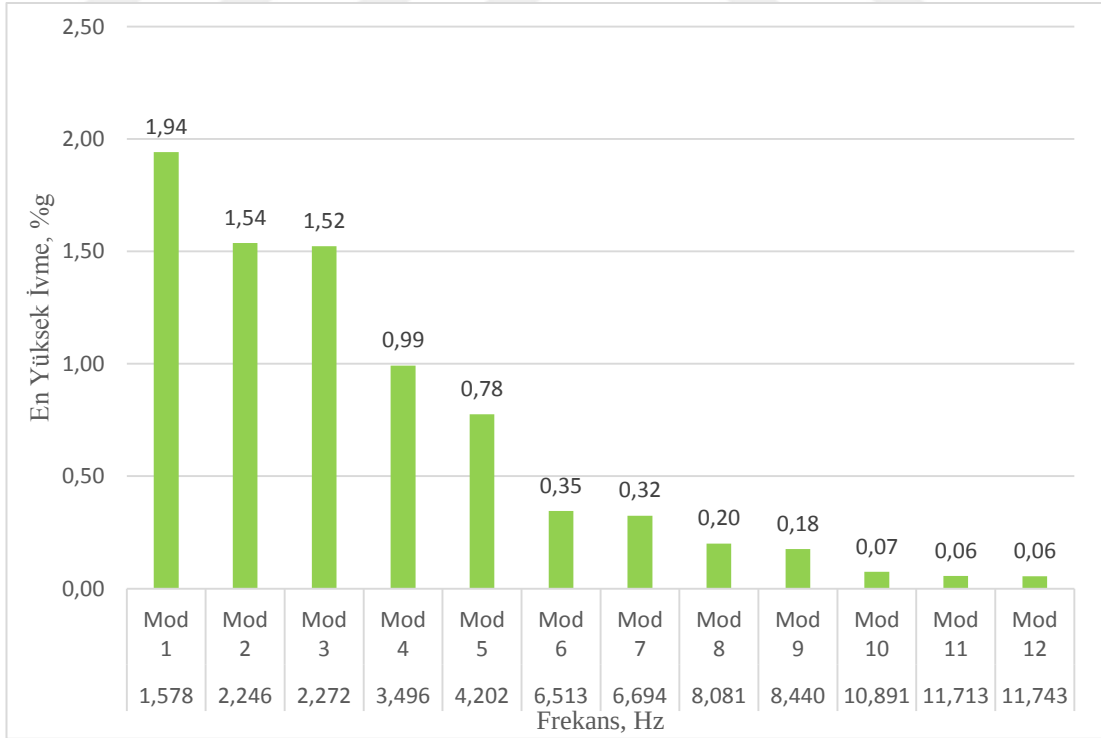
Tablo 5.11’de Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 1,94 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.23’te ise öneri model-3 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.11 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):	46,50	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	2,21	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	3,54	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	3,00	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ : Tali Kiriş Genişliği(m):	2,21	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	143,65	+	1105	+	663
wj	=	1912				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1912	*	46,50		
W	=			88.888		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	34.794		kgf
W (Toplam)			=	123.682		kgf

Tablo 5.11 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	123.682	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,57815	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35fn)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0194	►	1,94	%g



Şekil 5.23 Adnan Menderes Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

5.5 Esenboğa Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü

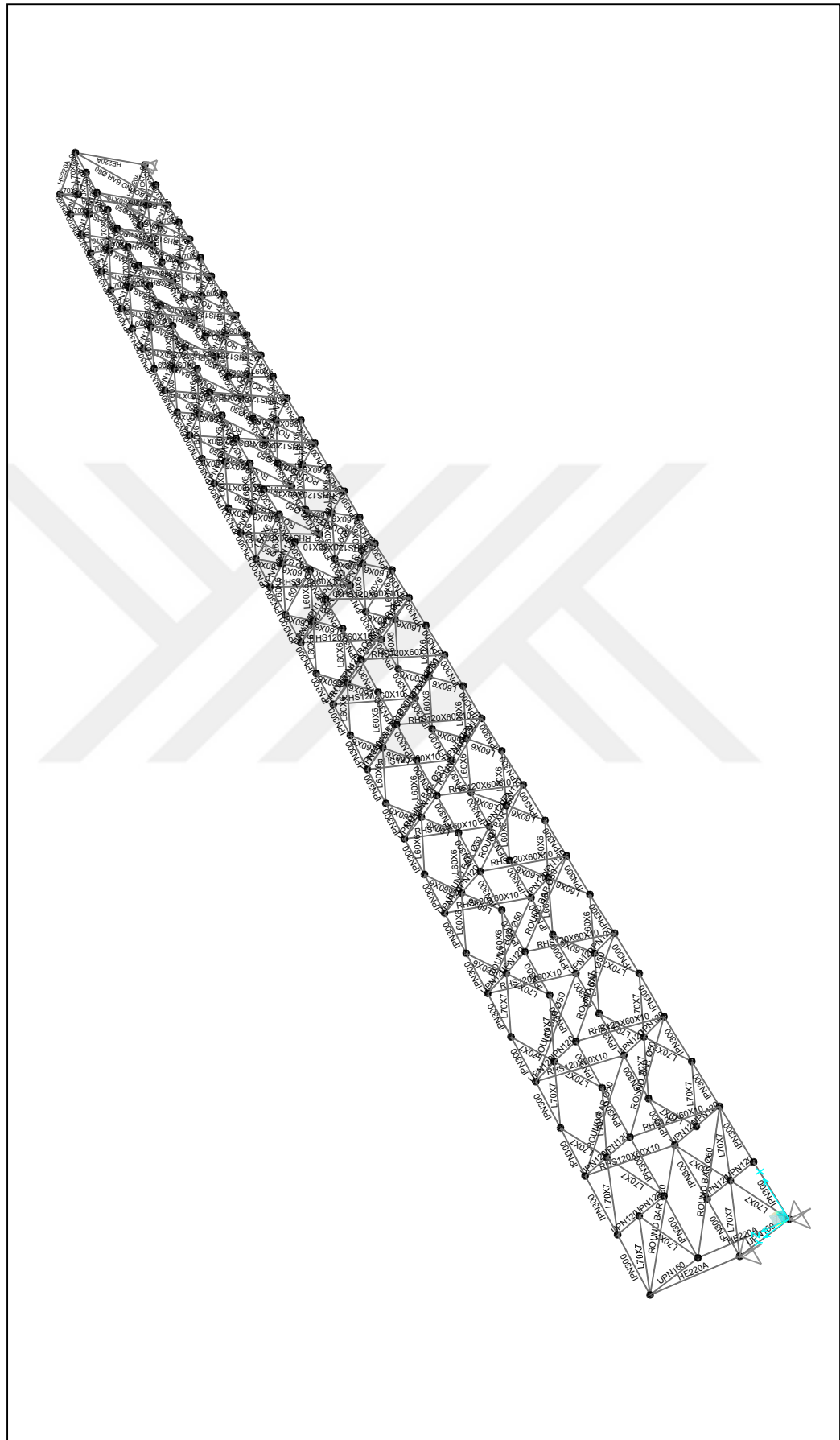
5.5.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde toplamda 17.014 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.12’de listelenmiştir.

Tablo 5.12 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Kullanım Yeri	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ50	S235	19,63	1.849
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ60	S235	28,27	356
Eleman No-2	Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	HE220A	S275	64,30	784
Eleman No-3/4	Pratt Tipi Makas Alt ve Üst Başlıklarında	IPN300	S275	69,00	9.141
Eleman No-5	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	RHS120X60X10	S235	32,00	2.528
Eleman No-6/7	Kafes Sistem Alt ve Üst Tali Kirişlerde	UPN120	S235	16,98	937
Eleman No-8	Kafes Sistem Mesnet Tali Kirişlerinde	UPN160	S235	24,02	70
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L60X6	S235	6,91	808
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L70X7	S235	9,40	541

Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.24’te gösterilmiştir. Şekil 5.26’da ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre mevcut sistemin frekansı 1,44607 Hz’dir.

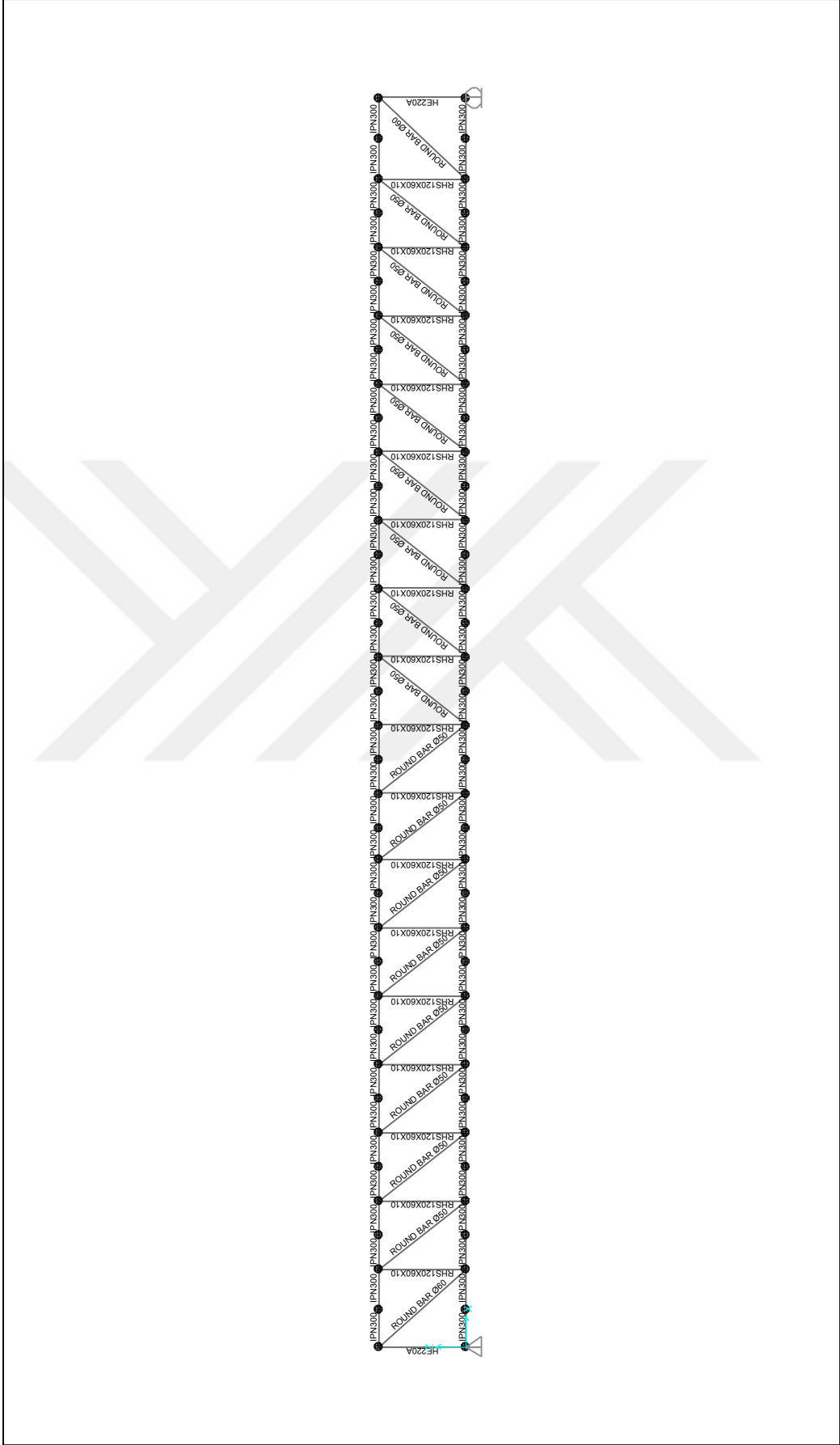


SAP2000 20.2.0

3-D View

Kgf, cm, C

Şekil 5.24 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli

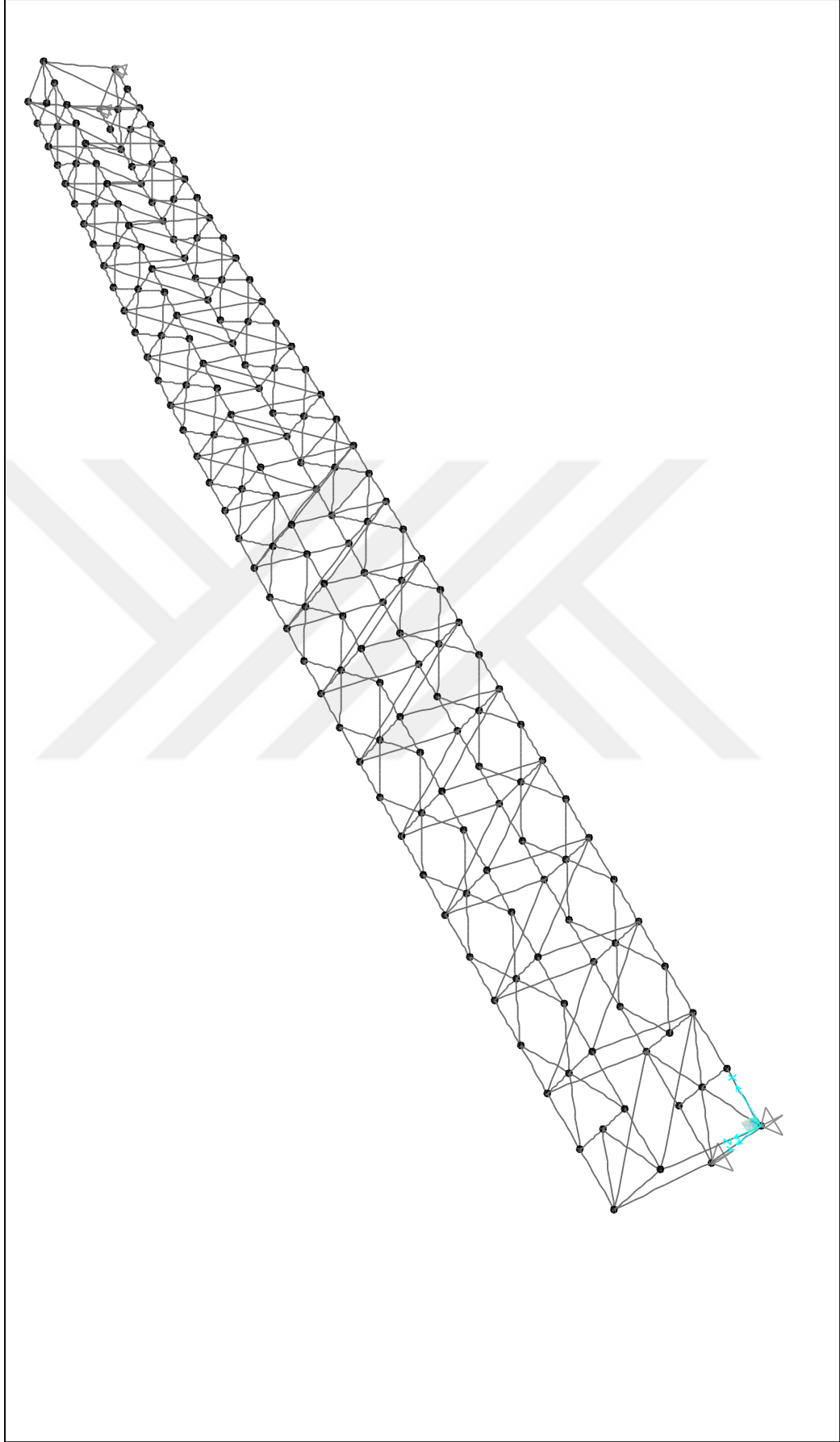


SAP2000 20.2.0

X-Z Plane @ Y=0

Kg, cm, C

Şekil 5.25 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti



SAP2000 20.2.0

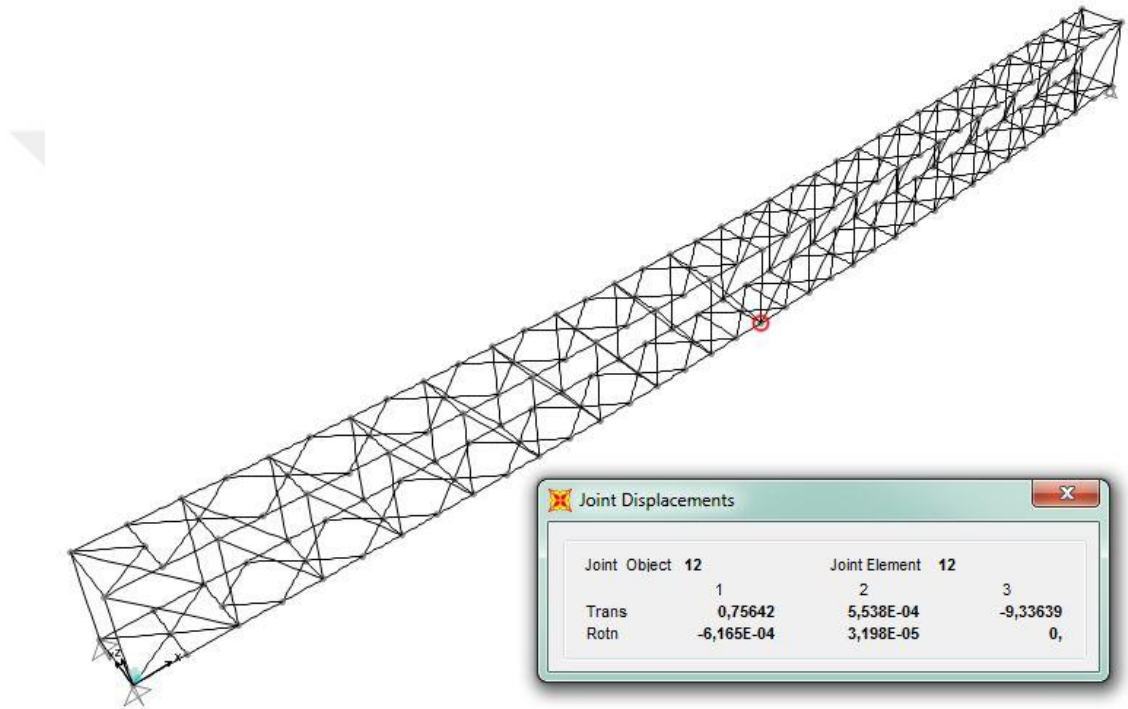
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 0,69153$; $f = 1,44607$

Kgf, cm, C

Şekil 5.26 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.5.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.27’de Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -9,33639 cm’dir.



Şekil 5.27 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$$9,33639 \text{ cm} < 14,06 \text{ cm} \left(\frac{42,20 \text{ m}}{300} \right) = \text{Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.}$$

5.5.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı

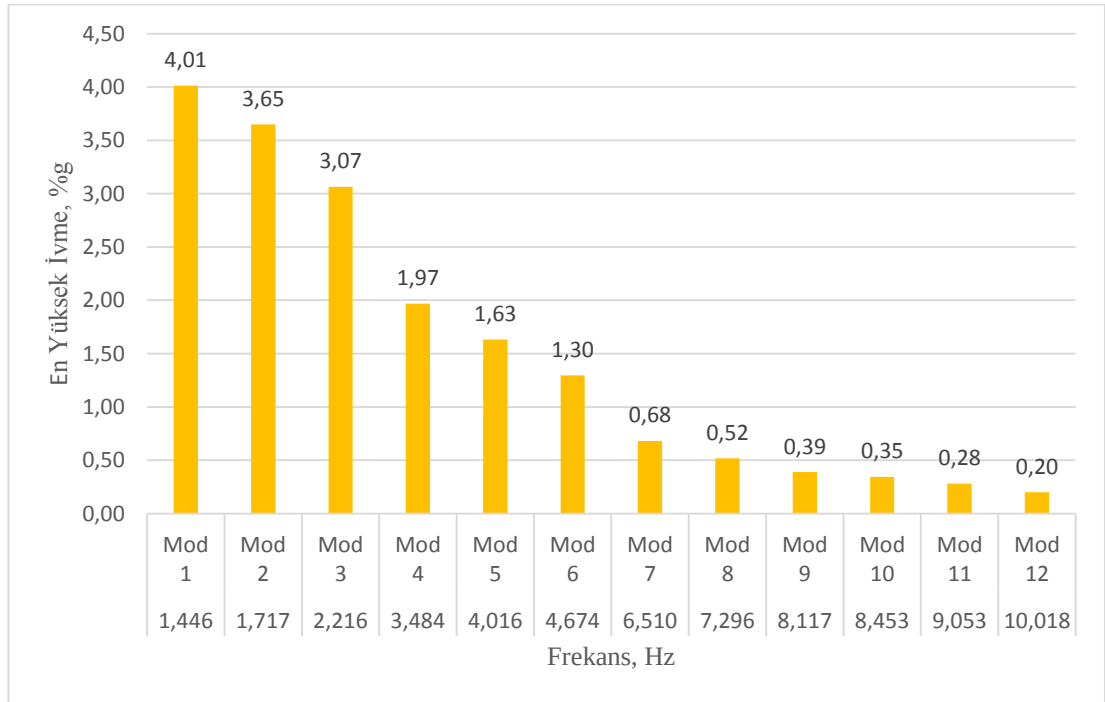
Tablo 5.13'te Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1'de sistemde oluşan ivmelenmenin 4,01 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.28'de ise mevcut sistem tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.13 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		42,20	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65	
X: Sistem Genişliği (m):		1,85	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110	
Z: Sistem Yüksekliği (m):		2,96	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500	
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		2,30	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75	
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		1,85	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228	
b: Birim Genişlik (m)		1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20	
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	120,25	+	925	+	37
wj	=	1082				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1082	*	42,20		
W	=			45.666		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	17.014		kgf
W (Toplam)			=	62.680		kgf

Tablo 5.13 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	62.680	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,44607	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0401	►	4,01	%g



Şekil 5.28 Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

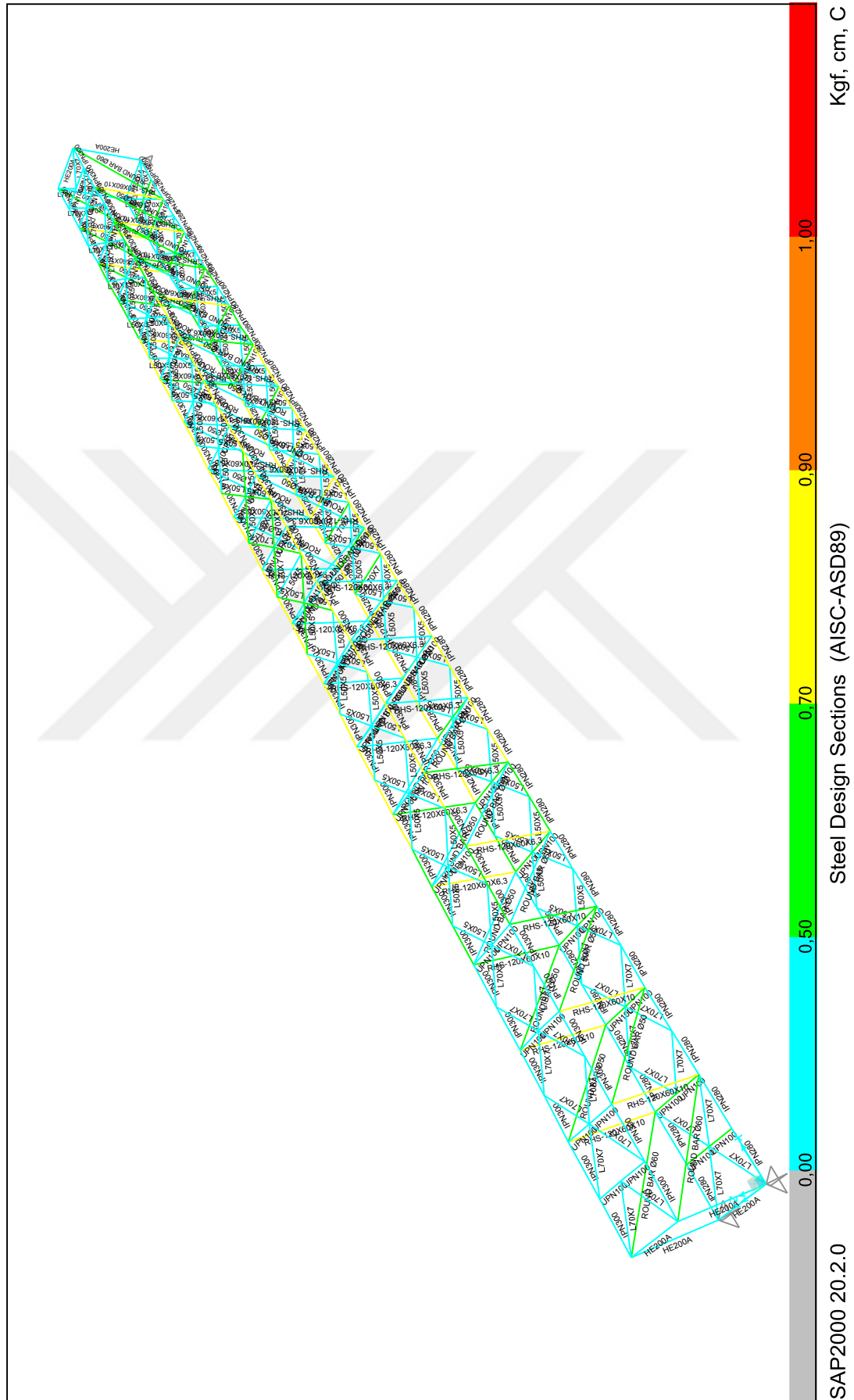
5.5.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

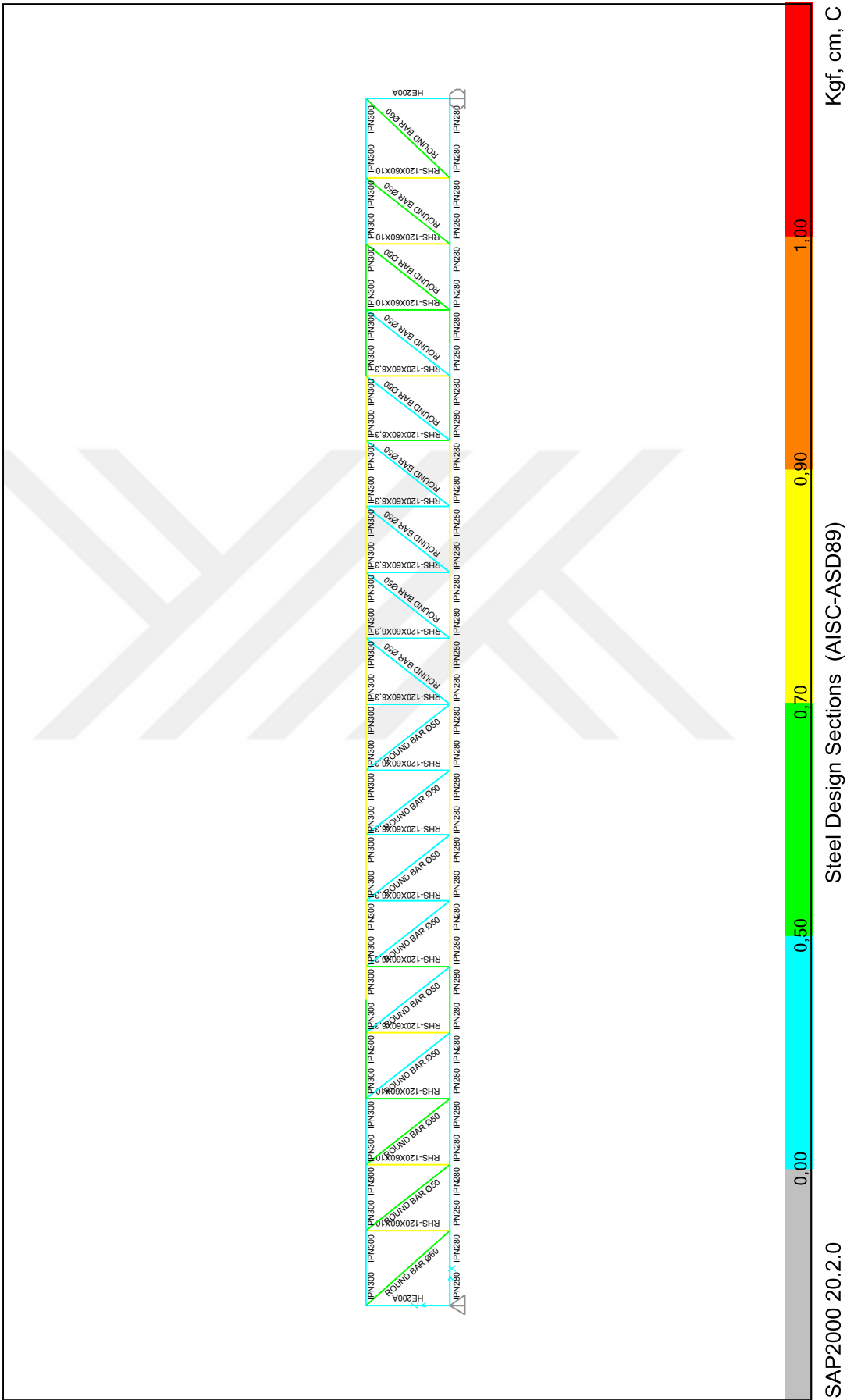
Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuştur. Strüktür sistemi ise S235 ve S275 kalite çelik profiller S355 kalite olacak şekilde revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre öneri model-1 terminal bağlantı köprü strüktür sisteminde S355 kalite çelik profiller tercih edildiğinde mevcut profillere göre daha düşük kesit alanları ile sistemin çözülebildiği görülmüştür. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde 15.630 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.14’te listelenmiştir.

Tablo 5.14 Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

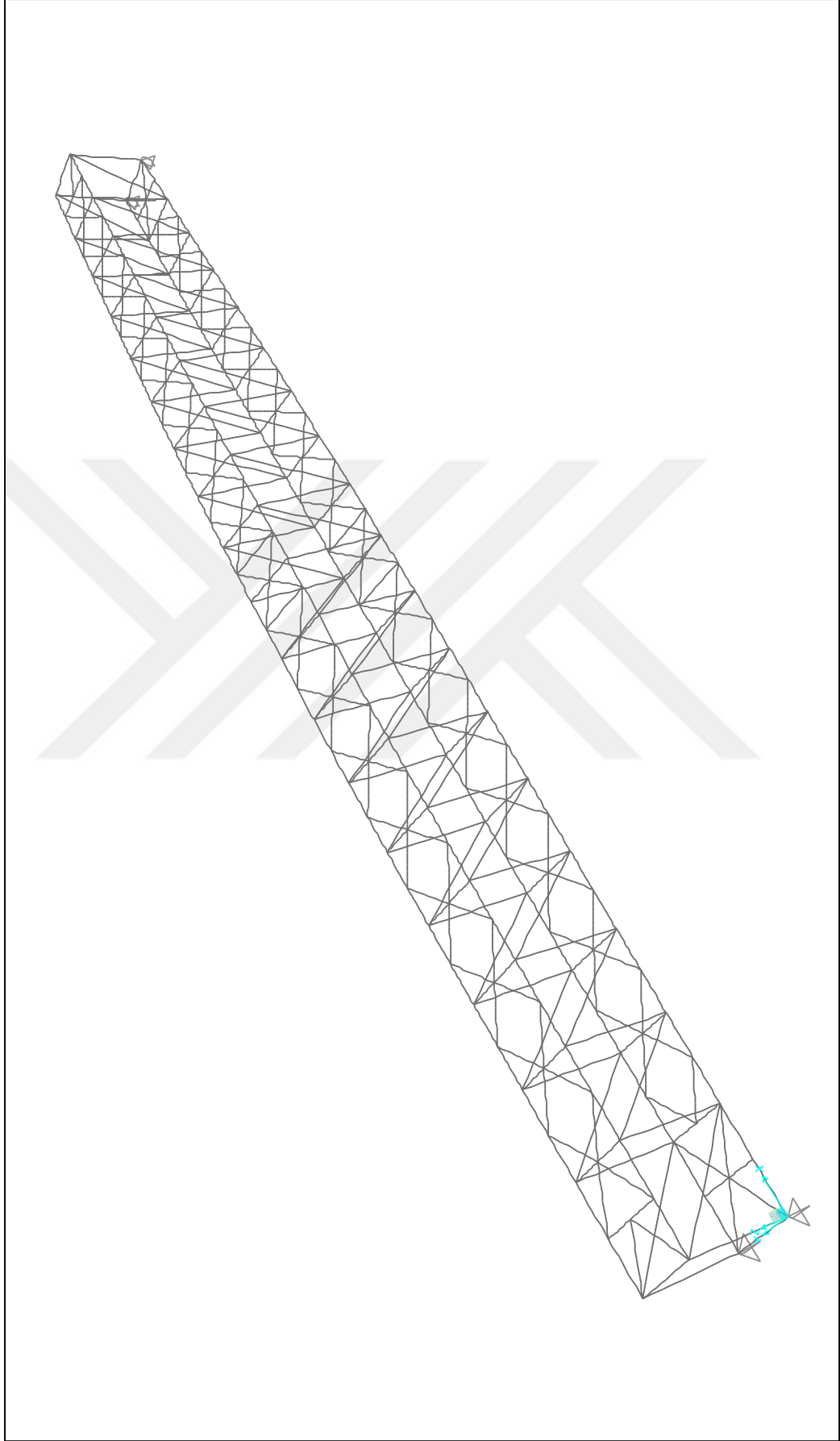
Kullanım Yeri	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ50	S355	19,63	1.849
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ60	S355	28,27	356
Eleman No-2/8	Kafes Sistem Mesnet Dikme ve Kirişlerde	HE200A	S355	53,80	812
Eleman No-3	Pratt Tipi Makas Alt Başlıklarda	IPN280	S355	61,00	4.041
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Üst Başlıklarda	IPN300	S355	69,00	4.570
Eleman No-5	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	RHS120X60X6,3	S355	21,09	1.078
		RHS120X60X10	S355	37,44	1.044
Eleman No-6/7	Kafes Sistem Alt ve Üst Tali Kirişlerde	UPN100	S355	13,46	743
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L50X5	S355	4,8	526
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L70X7	S355	9,40	612

Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.29’da gösterilmiştir. Şekil 5.31’de ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre mevcut sistemin frekansı 1,44986 Hz’dir.





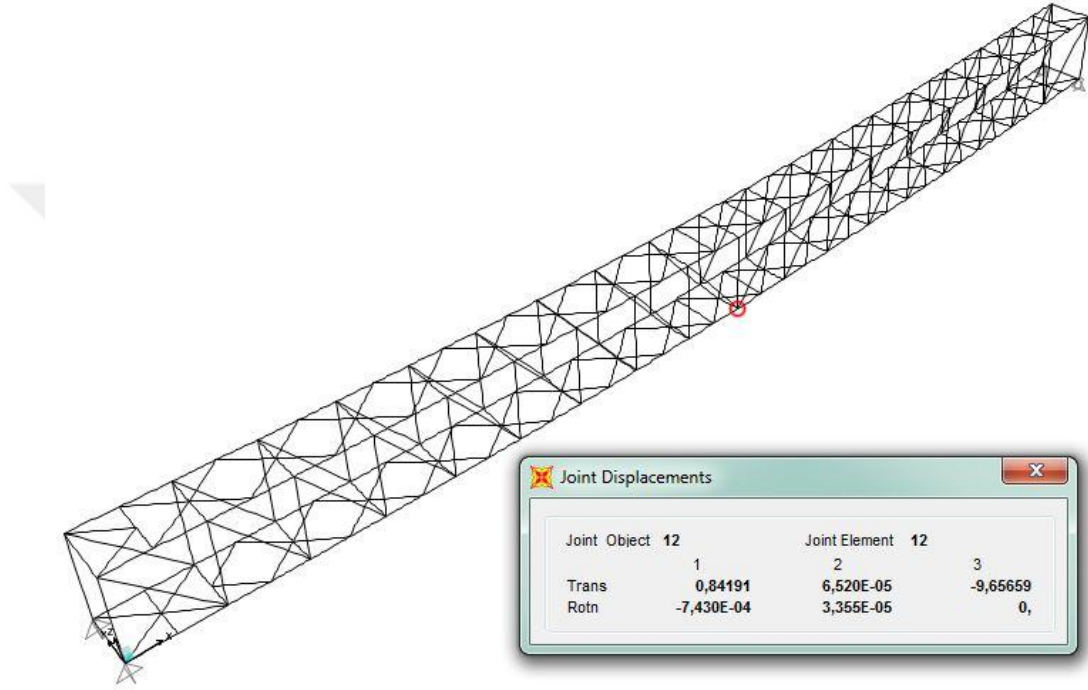
Şekil 5.30 Esenboga Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti



Şekil 5.31 Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.5.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.32’de Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -9,65659 cm’dir.



Şekil 5.32 Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000 v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$9,65659 \text{ cm} < 14,06 \text{ cm} (42,20 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.5.2.2 Öneri Model-1 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

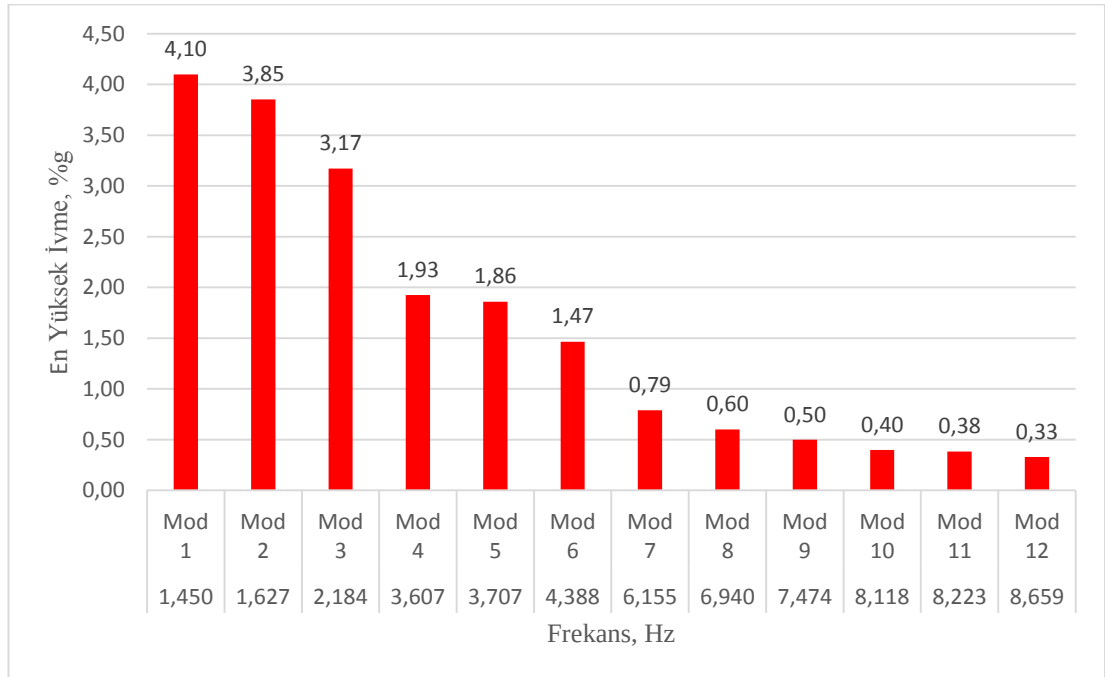
Tablo 5.15'te Ankara Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1'de sistemde oluşan ivmelenmenin 4,10 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.33'te ise öneri model-1 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.15 Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		42,20	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65	
X: Sistem Genişliği (m):		1,85	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110	
Z: Sistem Yüksekliği (m):		2,96	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500	
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		2,30	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75	
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		1,85	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228	
b: Birim Genişlik (m)		1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20	
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	120,25	+	925	+	37
wj	=	1082				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1082	*	42,20		
W	=			45.666		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	15.630		kgf
W (Toplam)			=	61.296		kgf

Tablo 5.15 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	61.296	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,44986	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0410	►	4,10	%g



Şekil 5.33 Esenboğa Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

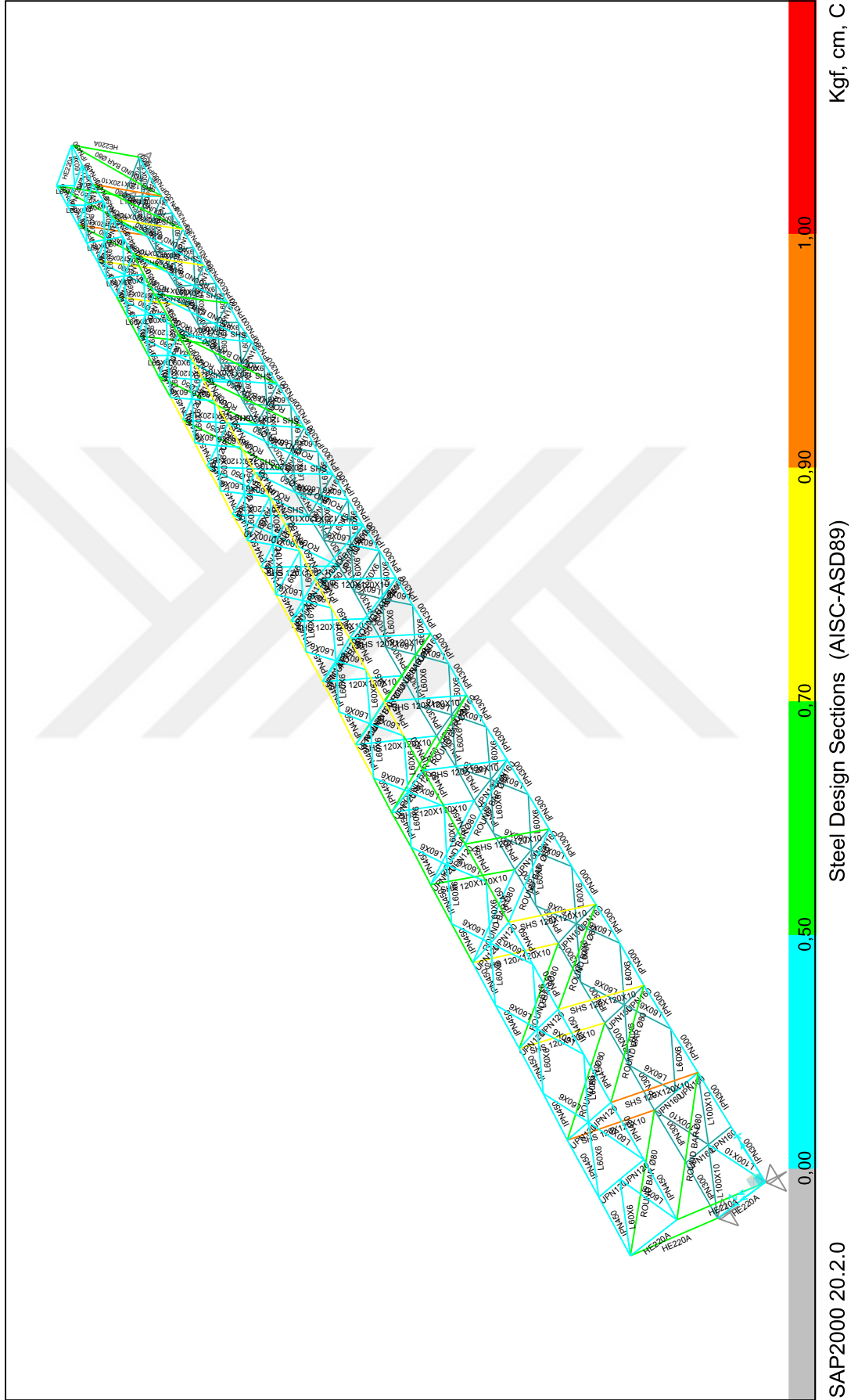
5.5.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-2 kapsamında mevcut yapısal çelik kalitelerinde değişim yapılmadan kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. Mevcut döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi tercih edildiğinde taşıma kapasitesini aşan mevcut çelik profillerde çelik kalitesi değiştirilmeden sadece kesit alanları arttırılmıştır. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde 23.882 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.16’da listelenmiştir.

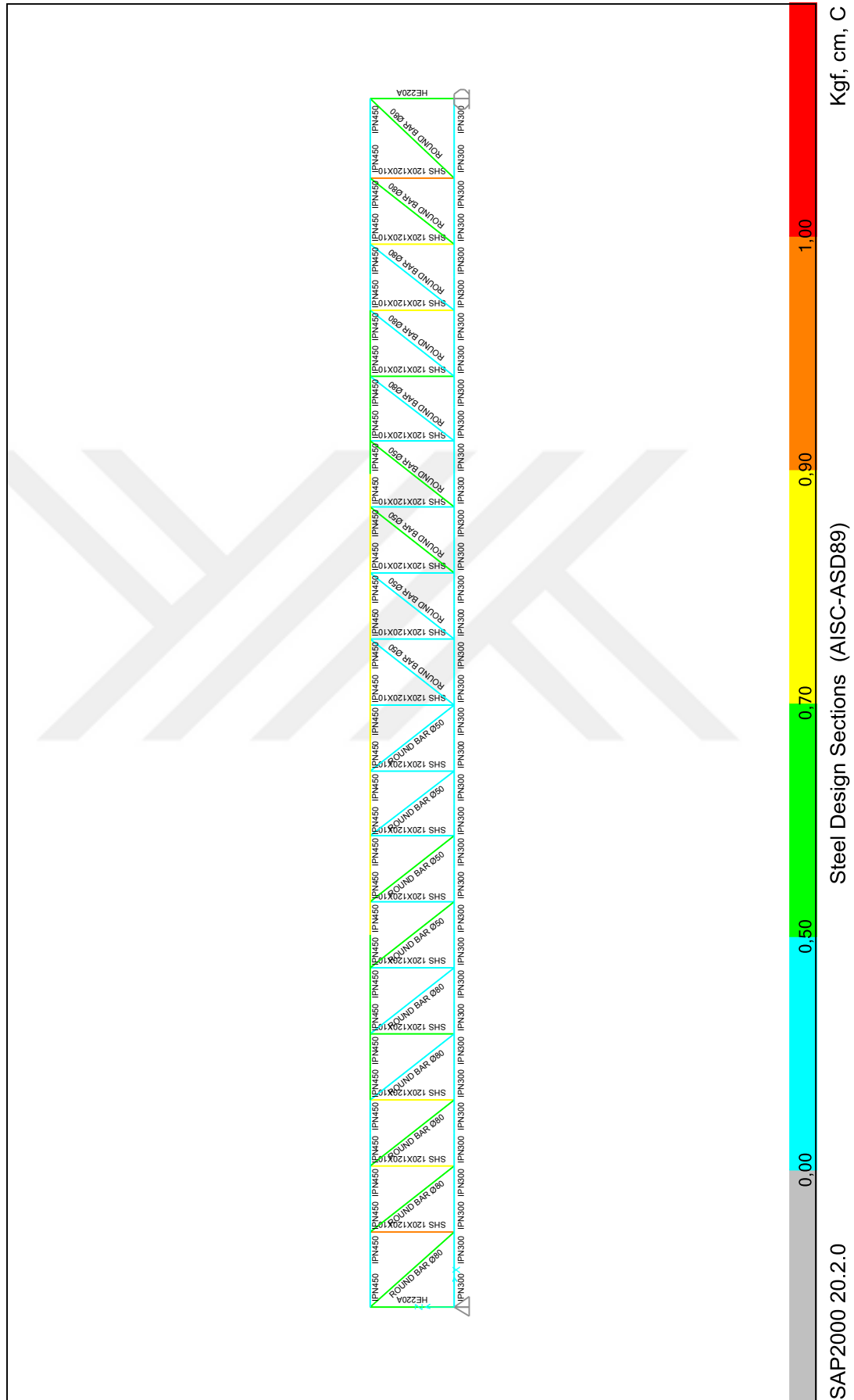
Tablo 5.16 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

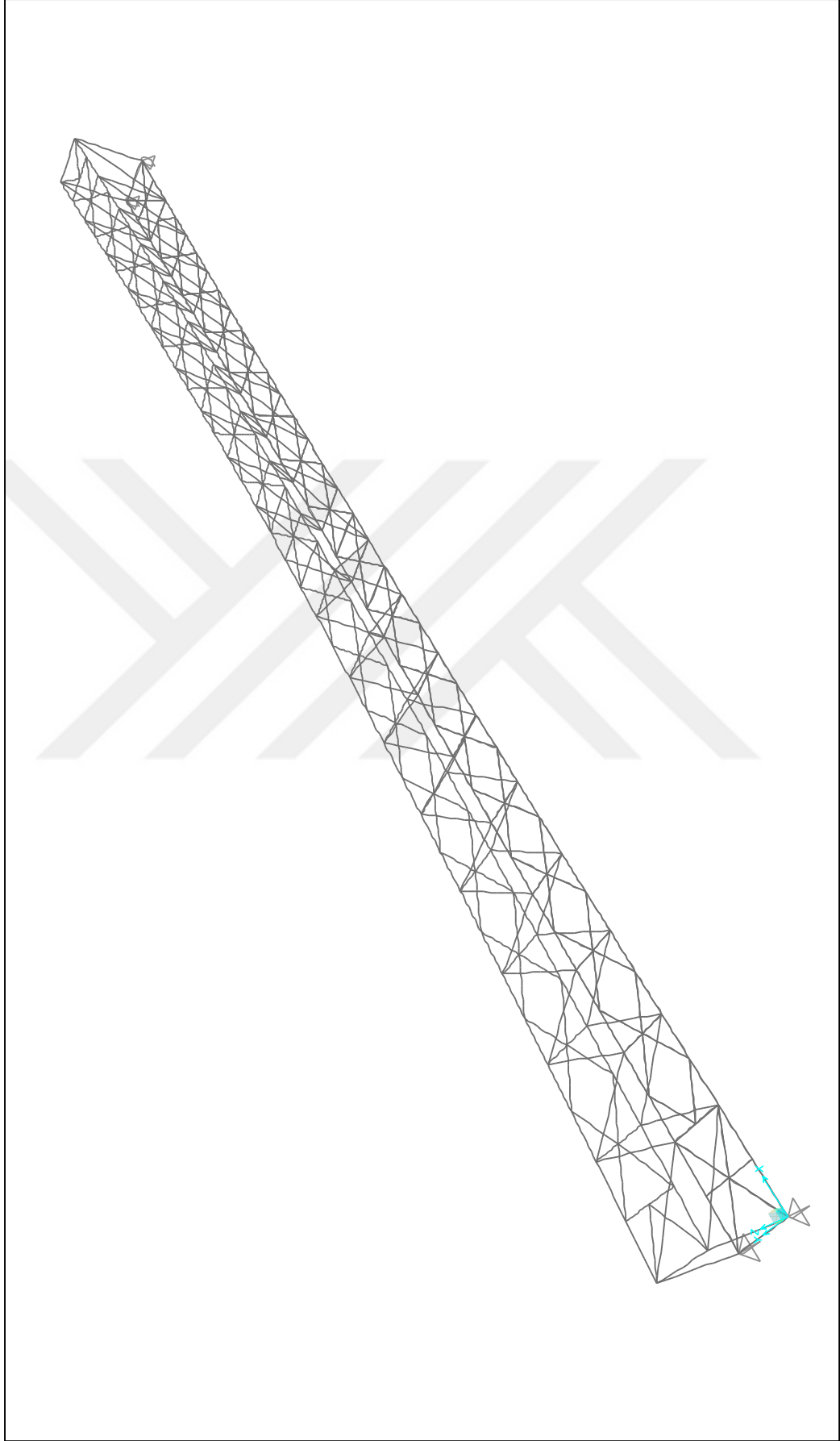
Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ50	S235	19,63	924
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ80	S235	50,27	2.998
Eleman No-2/8	Kafes Sistem Mesnet Dikme ve Tali Kirişlerde	HE220A	S275	64,30	971
Eleman No-3	Pratt Tipi Makas Alt Başlıklarında	IPN300	S275	69,00	4.570
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Üst Başlıklarında	IPN450	S275	147,00	9.737
Eleman No-5	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	SHS120X120X10	S235	27,36	2.161
Eleman No-6	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	UPN160	S235	24,02	663
Eleman No-7	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	UPN120	S235	16,98	468
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L60X6	S235	6,91	1.104
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L100X10	S235	19,15	285

Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.34’te gösterilmiştir. Şekil 5.36’da ise öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 Analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 1,6656 Hz’dir.



Şekil 5.34 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli





SAP2000 20.2.0

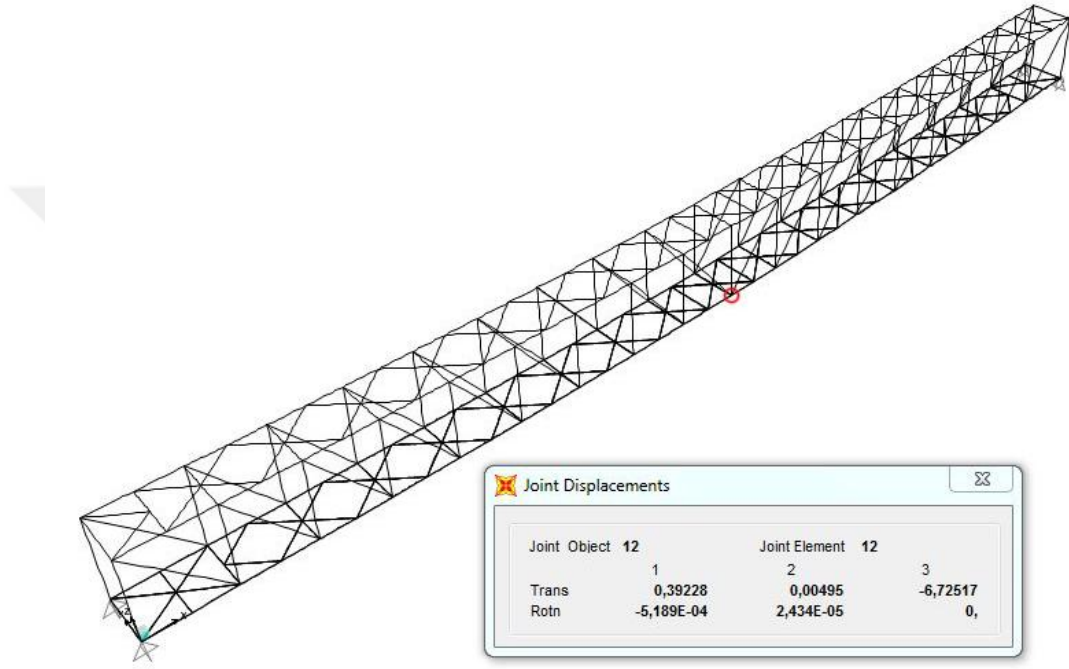
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 0,60038$; $f = 1,6656$

Kgf, cm, C

Şekil 5.36 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.5.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.37’de öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -6,72517 cm’dir.



Şekil 5.37 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$$6,72517 \text{ cm} < 14,06 \text{ cm} \left(\frac{42,20 \text{ m}}{300} \right) = \text{Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.}$$

5.5.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

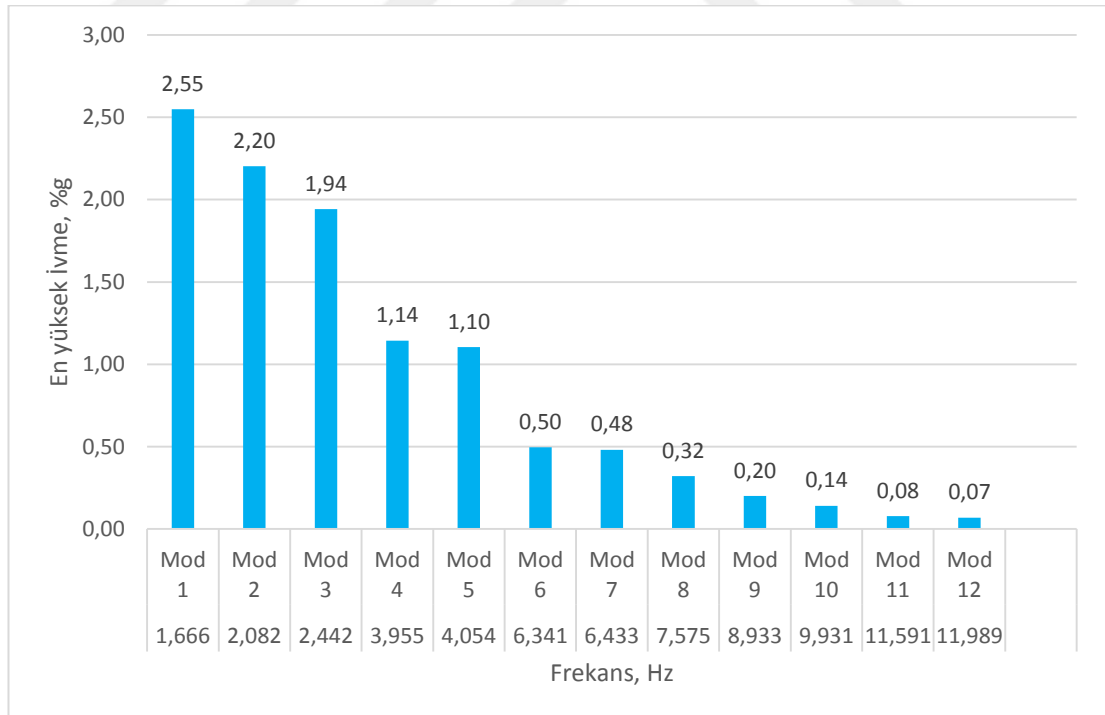
Tablo 5.17’de Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan ivmelenmenin 2,55 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.38’de ise öneri model-2 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.17 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
L _j : Sistem Açıklığı (m):	42,20	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	2,21	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	2,96	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	2,30	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):	1,85	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	120,25	+	925	+	555
w _j	=	1600				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1600	*	42,20		
W	=			67.523		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı	=			23.882		kgf
W (Toplam)	=			91.405		kgf

Tablo 5.17 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değeri	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	91.405	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,66560	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35f_n)}{\beta \cdot W}$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)	
	=	0,0255	►	2,55	%g



Şekil 5.38 Esenboğa Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

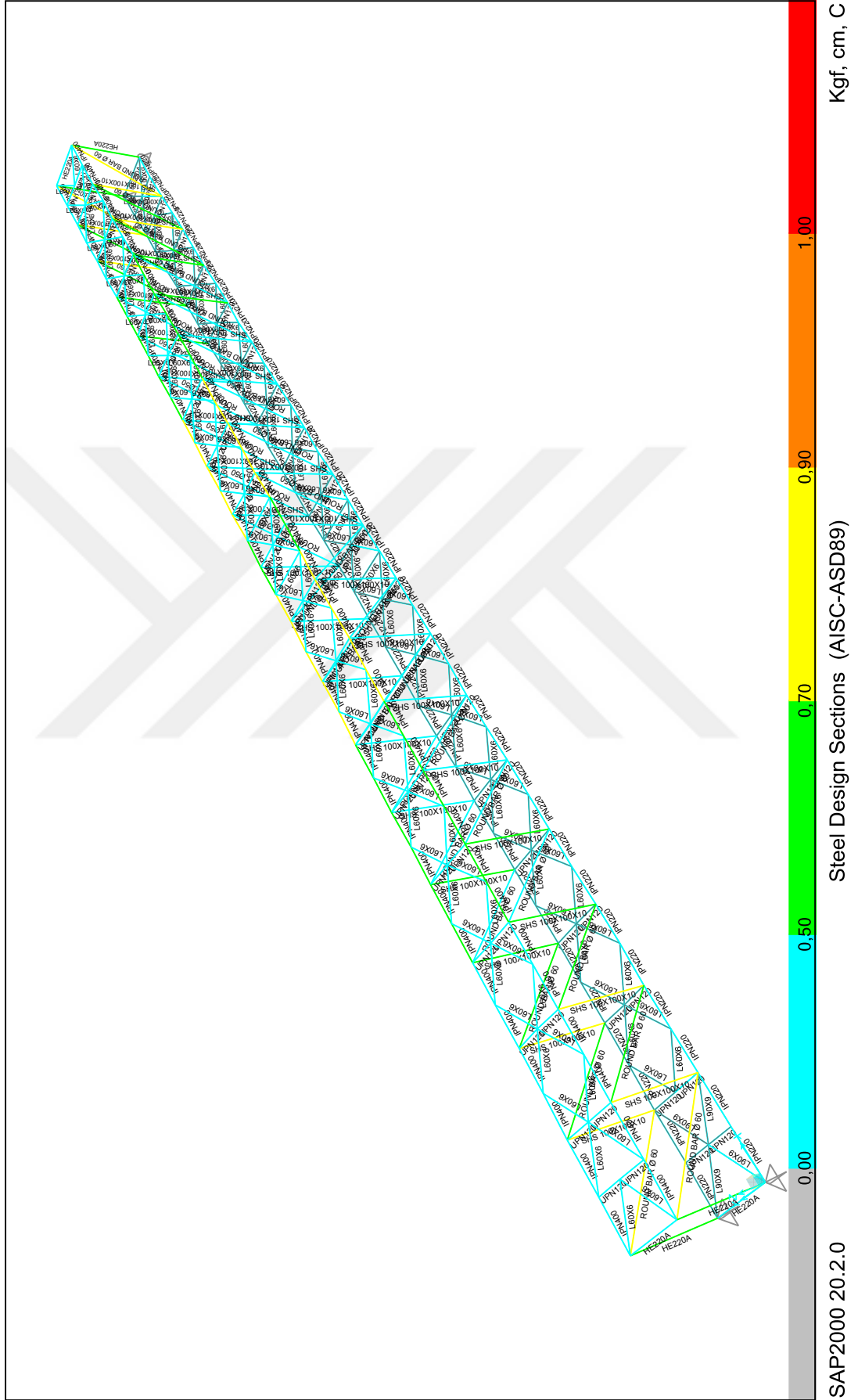
5.5.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

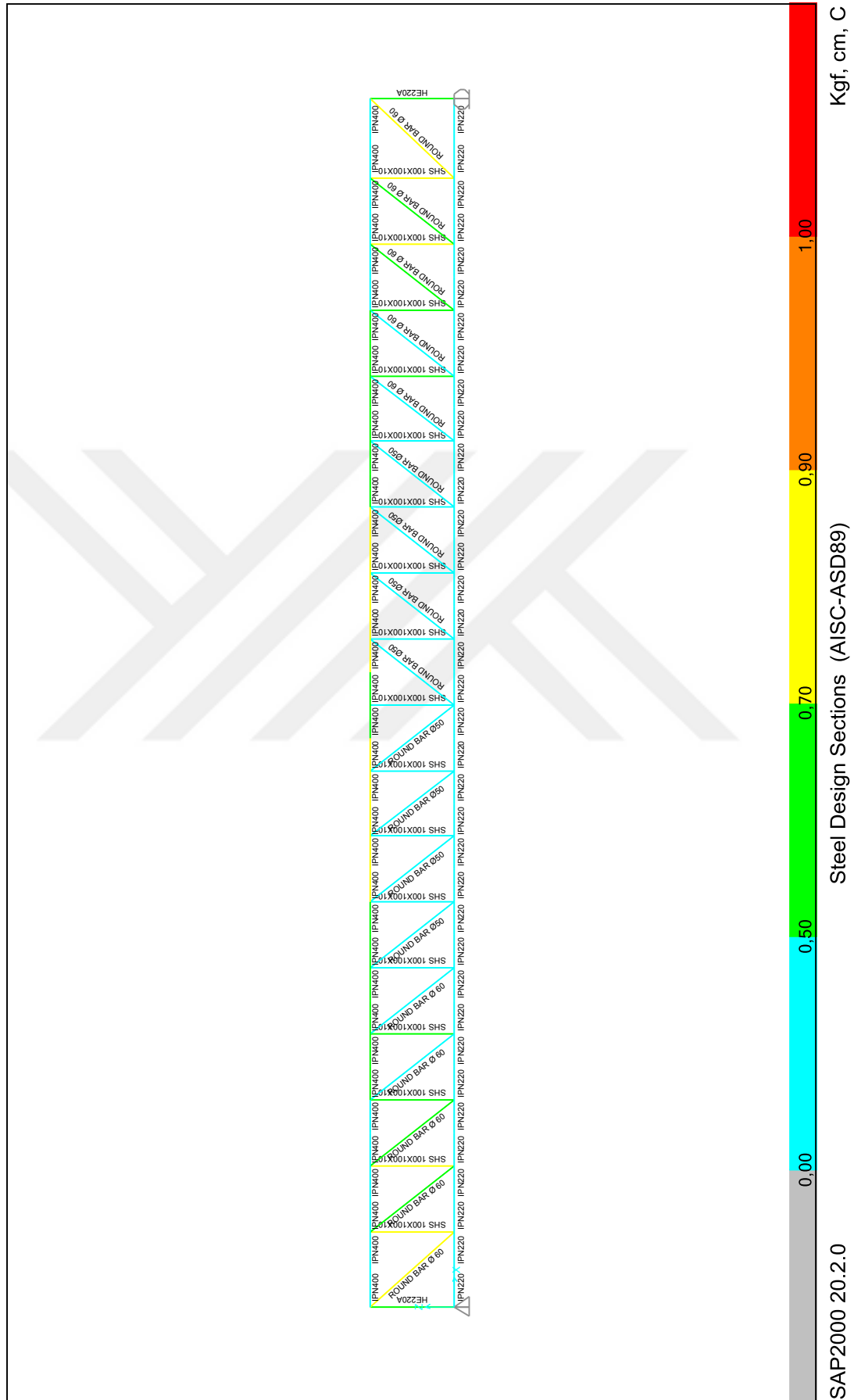
Esenboğa Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-3 kapsamında model-2'den farklı olarak mevcut yapısal çelik kaliteleri ve kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamaları doğrultusunda öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde 18.068 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.18'de listelenmiştir.

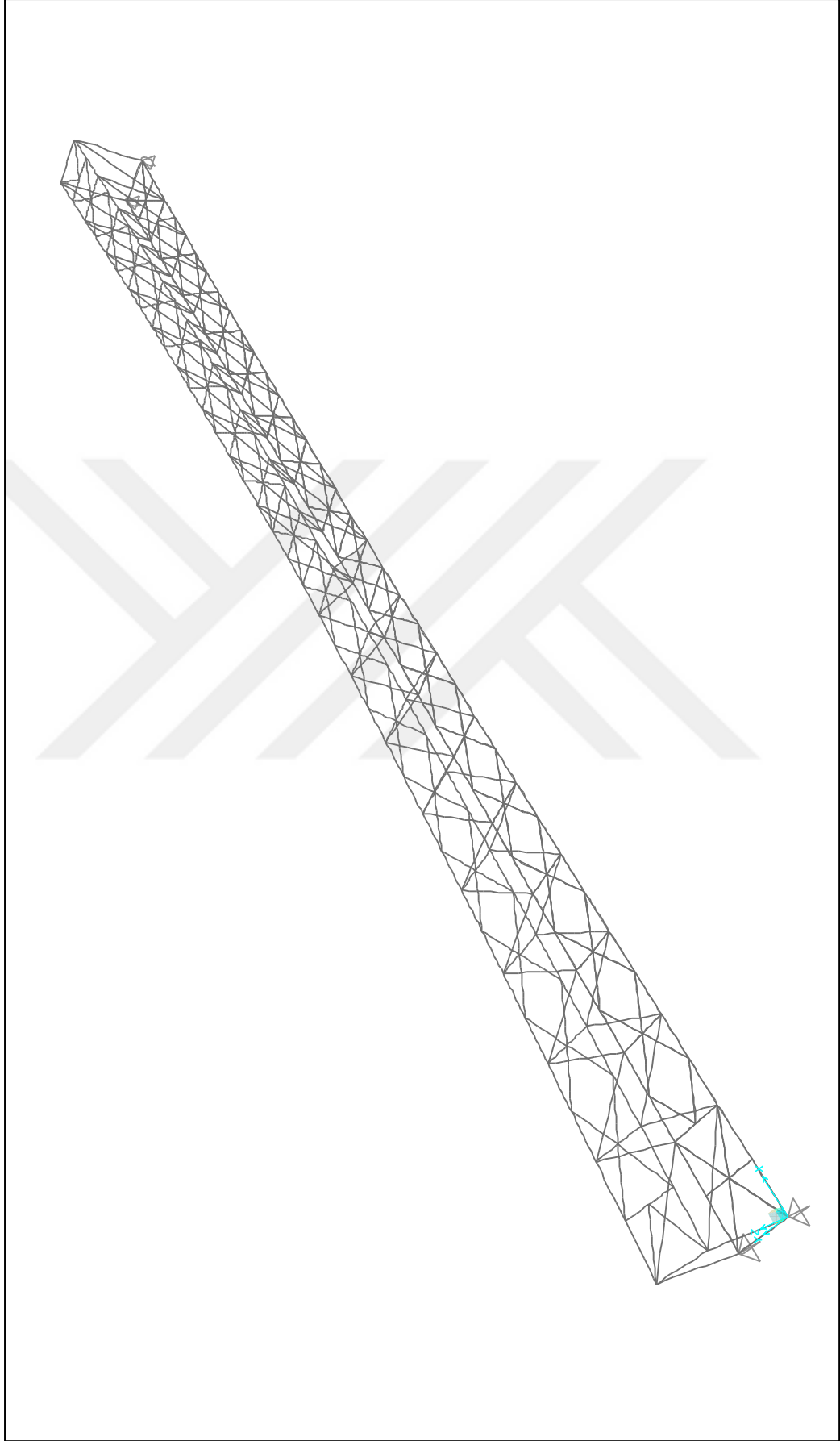
Tablo 5.18 Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ50	S355	19,63	924
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BARØ60	S355	28,27	1.687
Eleman No-2/8	Kafes Sistem Mesnet Dikme ve Tali Kirişlerde	HE220A	S355	64,30	971
Eleman No-3	Pratt Tipi Makas Alt Başlıklarında	IPN220	S355	39,50	2.616
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Üst Başlıklarında	IPN400	S355	118,00	7.816
Eleman No-5	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	SHS100X100X10	S355	22,56	1.782
Eleman No-6/7	Kafes Sistem Alt ve Üst Tali Kirişlerde	UPN120	S355	16,98	937
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L60X6	S355	6,91	1.104
Eleman No-9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L90X9	S355	15,52	231

Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Şekil 5.41'de ise öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1'de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 1,66653 Hz'dir.







SAP2000 20.2.0

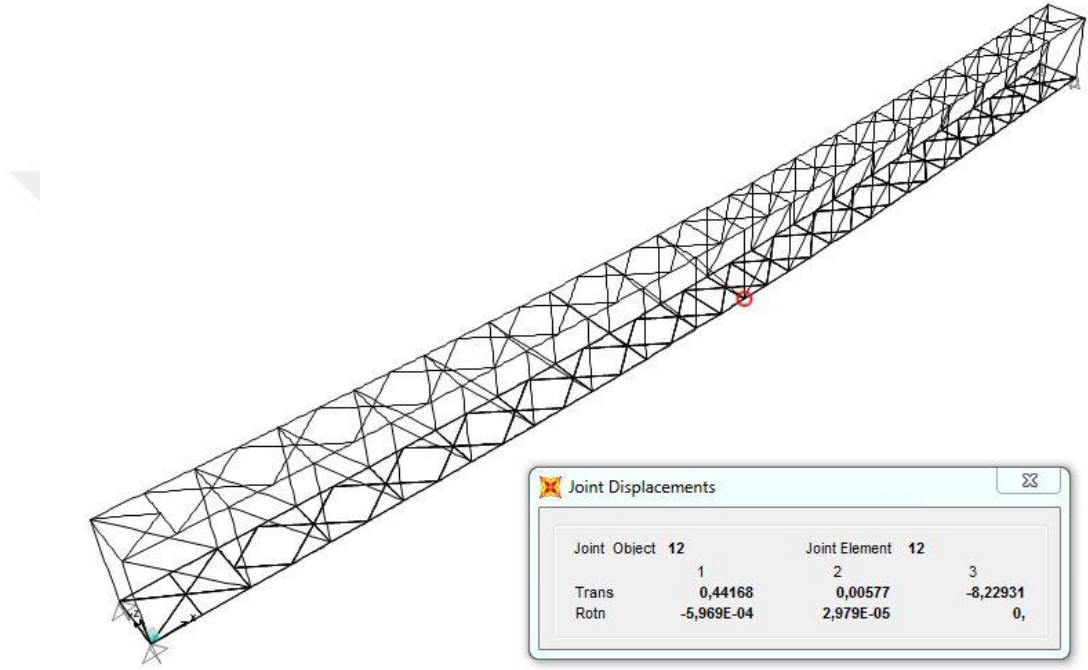
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 0,60005$; $f = 1,66653$

Kgf, cm, C

Şekil 5.41 Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.5.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.42’de öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -8,22931 cm’dir.



Şekil 5.42 Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$8,22931 \text{ cm} < 14,06 \text{ cm} (42,20 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.5.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

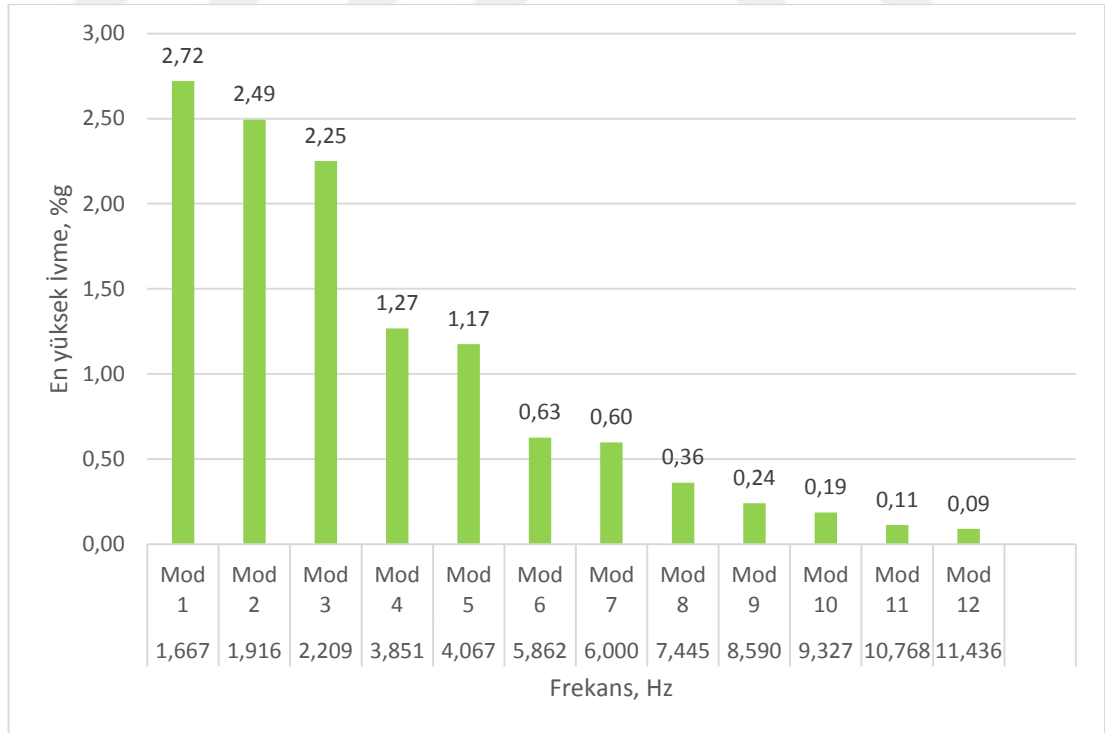
Tablo 5.19’da Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan ivmelenmenin 2,72 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.43’te ise öneri model-3 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.19 Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar			Yükler			
L _j : Sistem Açıklığı (m):	42,20	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	2,21	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	2,96	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	2,30	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):	1,85	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	120,25	+	925	+	555
w _j	=	1600				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1600	*	42,20		
W	=			67.523		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	18.068		kgf
W (Toplam)			=	85.591		kgf

Tablo 5.19 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler	Değer		Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	85.591	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	1,66653	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_o \cdot \exp(-0,35f_n)}{\beta \cdot W}$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)	
	=	0,0272	►	2,72	%g



Şekil 5.43 Esenboğa Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

5.6 Sabiha Gökçen Havalimanı Terminal Bağlantı Köprüsü

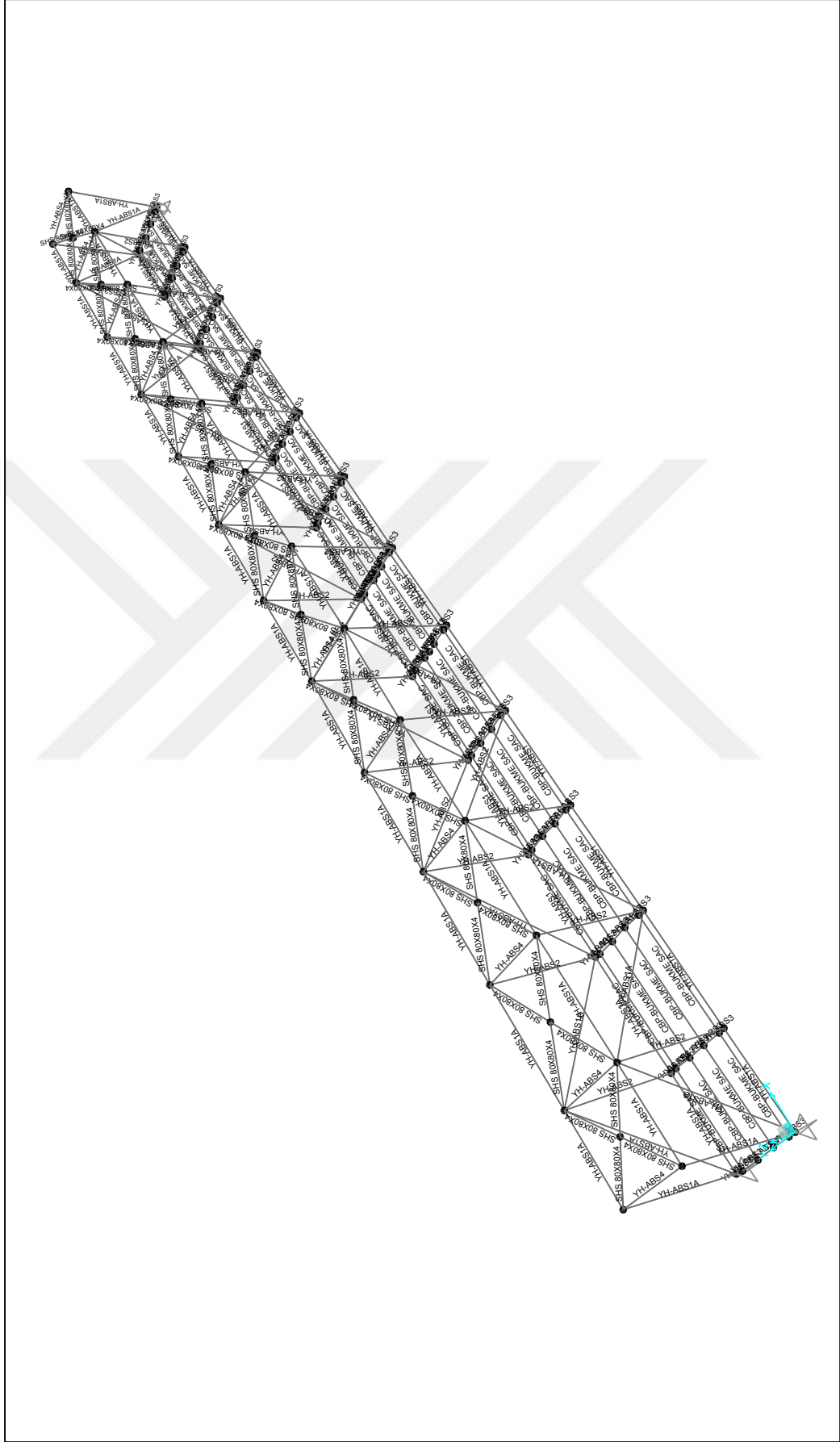
5.6.1 Mevcut Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde toplamda 9.703 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup, kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.20’de listelenmiştir.

Tablo 5.20 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	YH-ABS1	S355	27,76	882
Eleman No-2/3	Pratt Tipi Makas Alt Başlık, Üst Başlık ve Diyagonallerde	YH-ABS1A	S355	39,84	5.035
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	YH-ABS2	S355	16,32	1.230
Eleman No-5	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	YH-ABS3	S355	17,60	331
Eleman No-6	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	YH-ABS4	S355	24,40	535
Eleman No-7	Kafes Sistem Alt Döşemesinde	CBP-BUKME SAC	S235	9,72	960
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Döşeme Diyagonallerinde	SHS80X80X4	S235	12,16	730

Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.44’te gösterilmiştir. Şekil 5.46’da ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre mevcut sistemin frekansı 0,15862 Hz’dir.

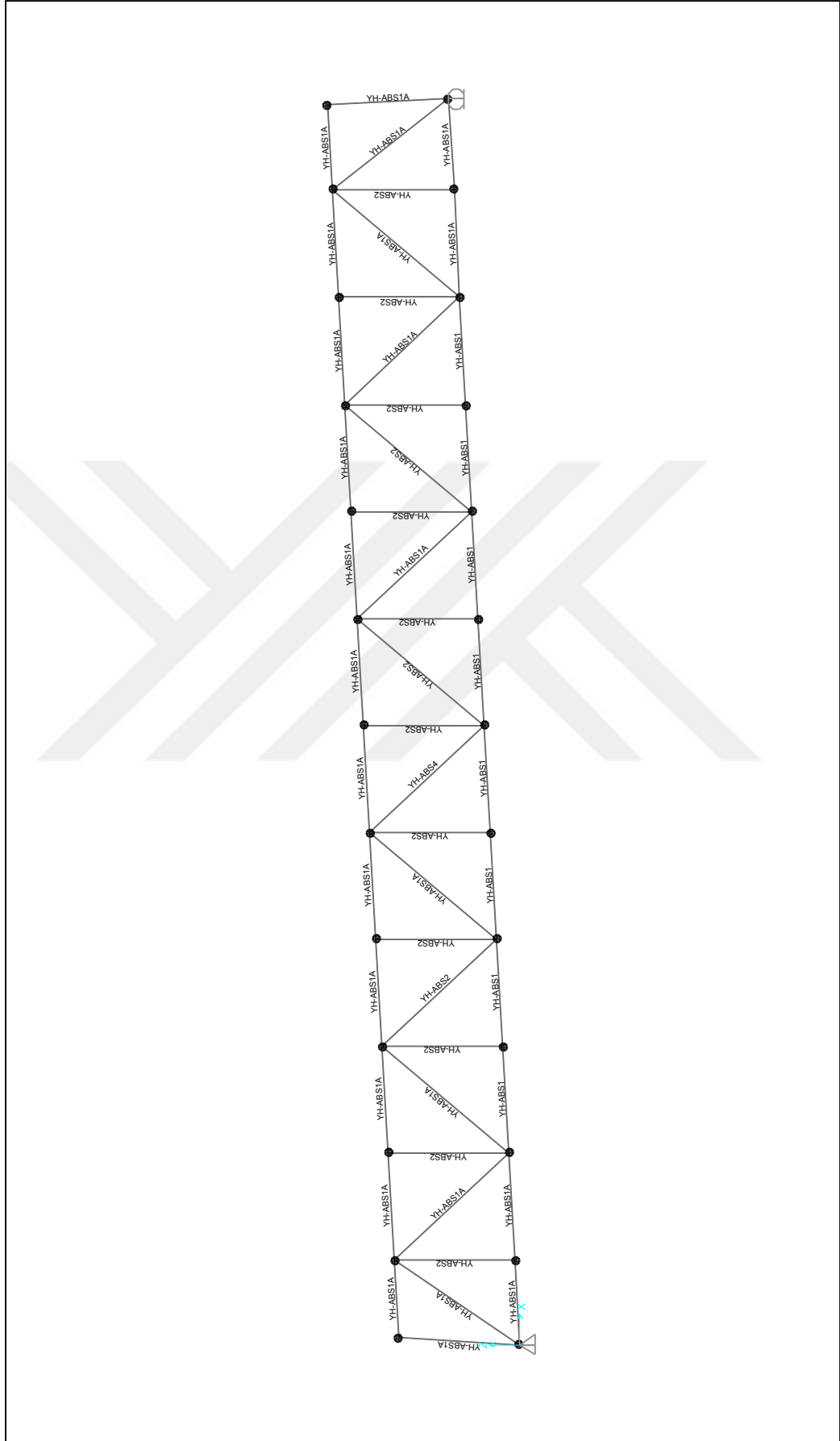


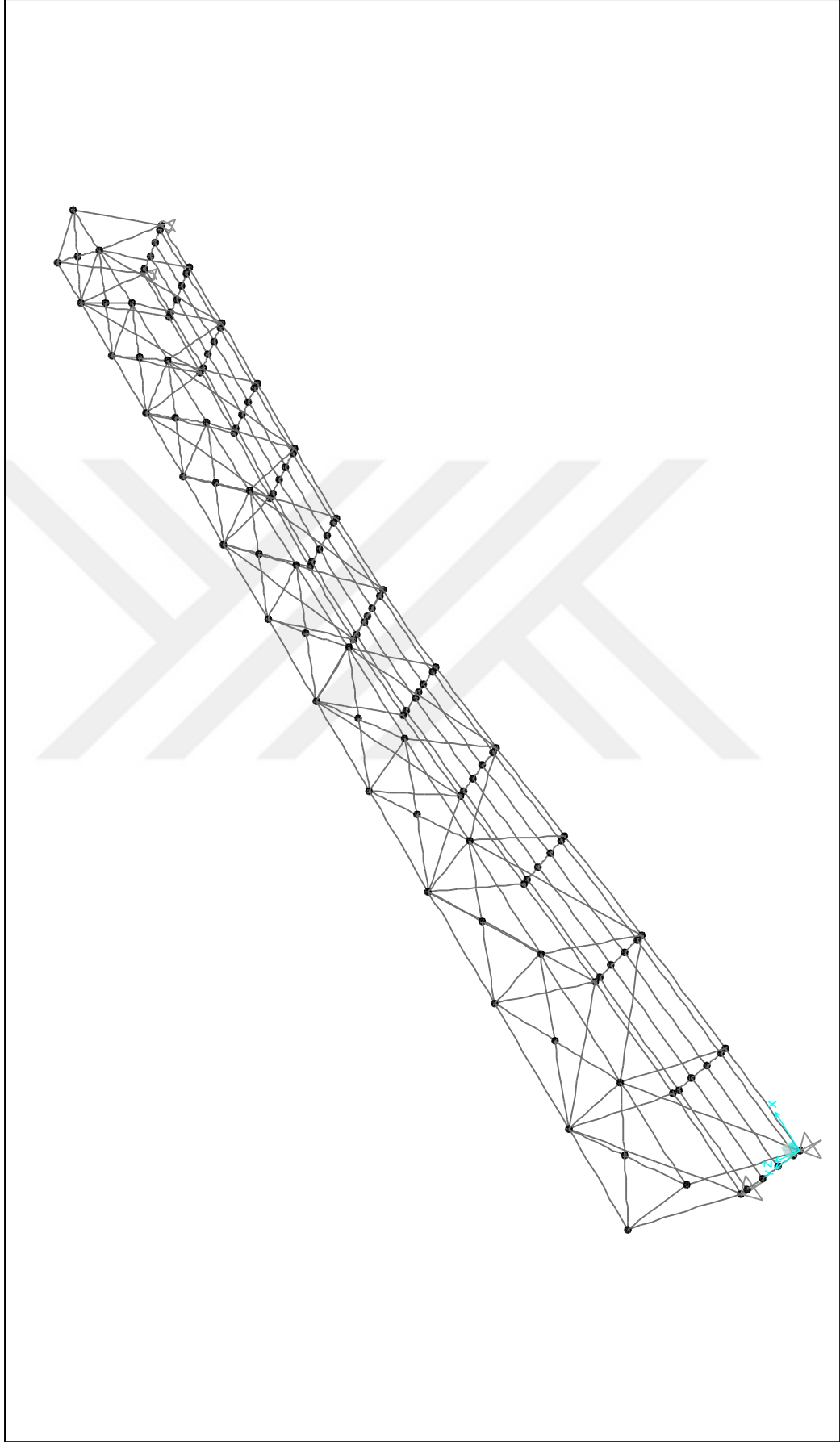
SAP2000 20.2.0

3-D View

Kgf, cm, C

Şekil 5.44 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem modeli





SAP2000 20.2.0

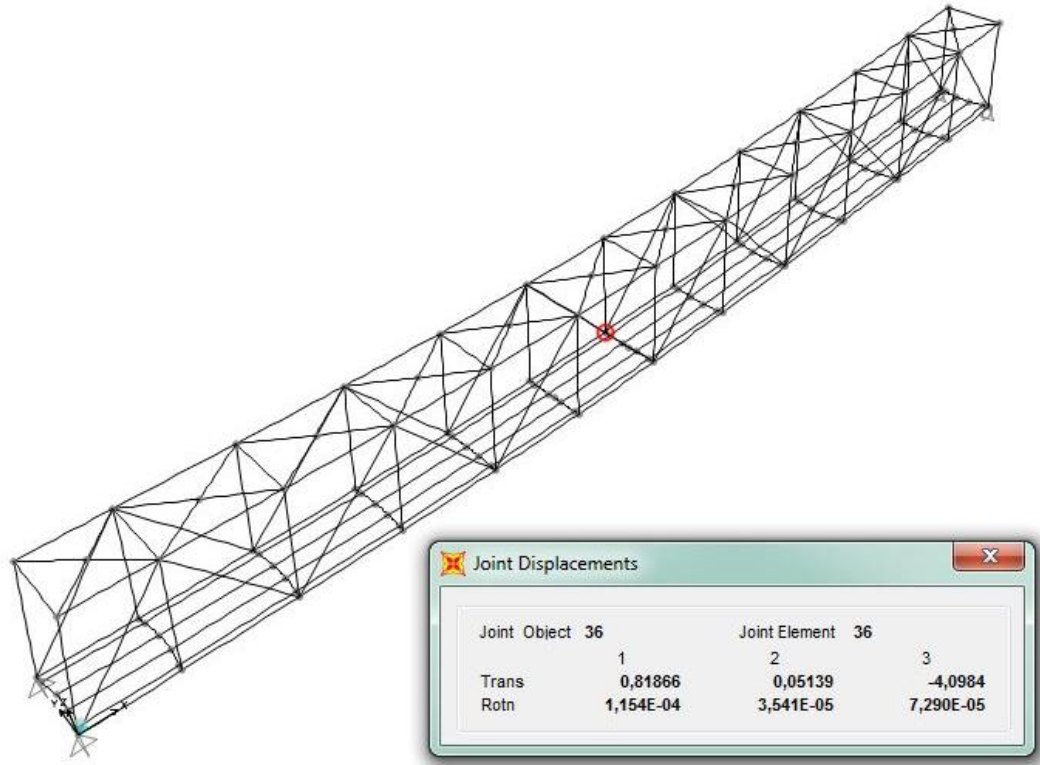
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; $T = 6,3044$; $f = 0,15862$

Kgf, cm, C

Şekil 5.46 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.6.1.1 Mevcut Sistem Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.47’de Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan Maksimum düşey yer değiştirme -4,0984 cm’dir.



Şekil 5.47 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$4,0984 < 10,46 \text{ cm } (31,40 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.6.1.2 Mevcut Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı

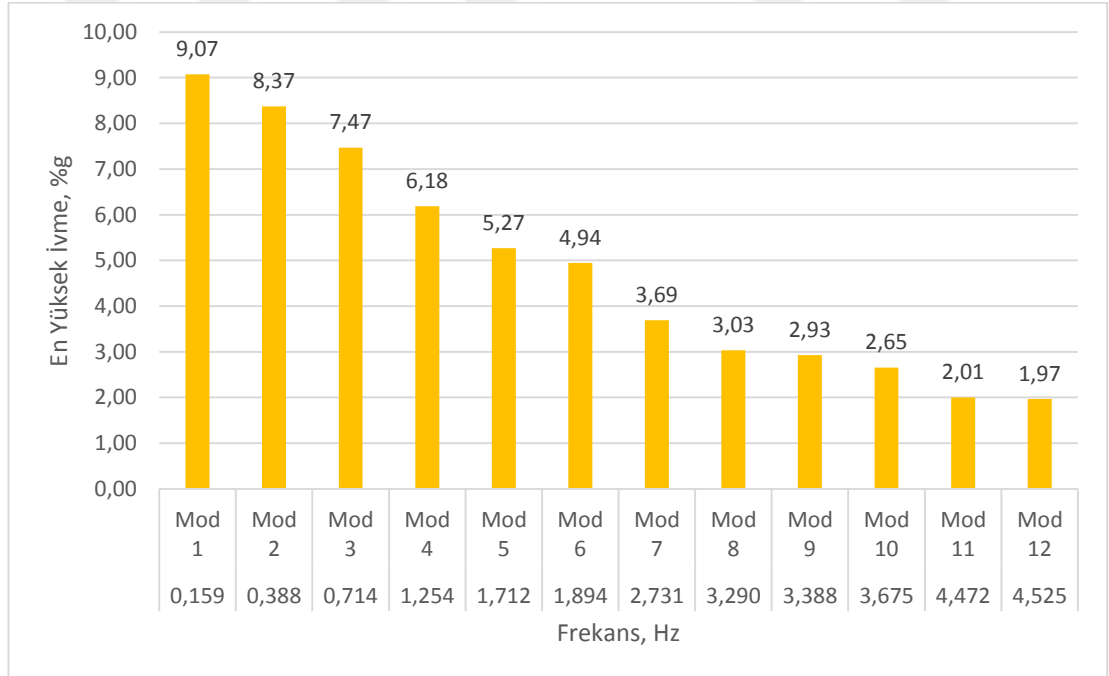
Tablo 5.21’de Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 9,07 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.48’de ise mevcut sistem tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.21 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		31,40	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65	
X: Sistem Genişliği (m):		1,84	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110	
Z: Sistem Yüksekliği (m):		3,06	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500	
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		2,70	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75	
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		1,84	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228	
b: Birim Genişlik (m)		1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20	
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	119,6	+	920	+	36,80
wj	=	1076				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1076	*	31,40		
W	=			33.799		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	9.703		kgf
W (Toplam)			=	43.502		kgf

Tablo 5.21 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	43.502	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	0,15862	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0907	►	9,07	%g



Şekil 5.48 Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

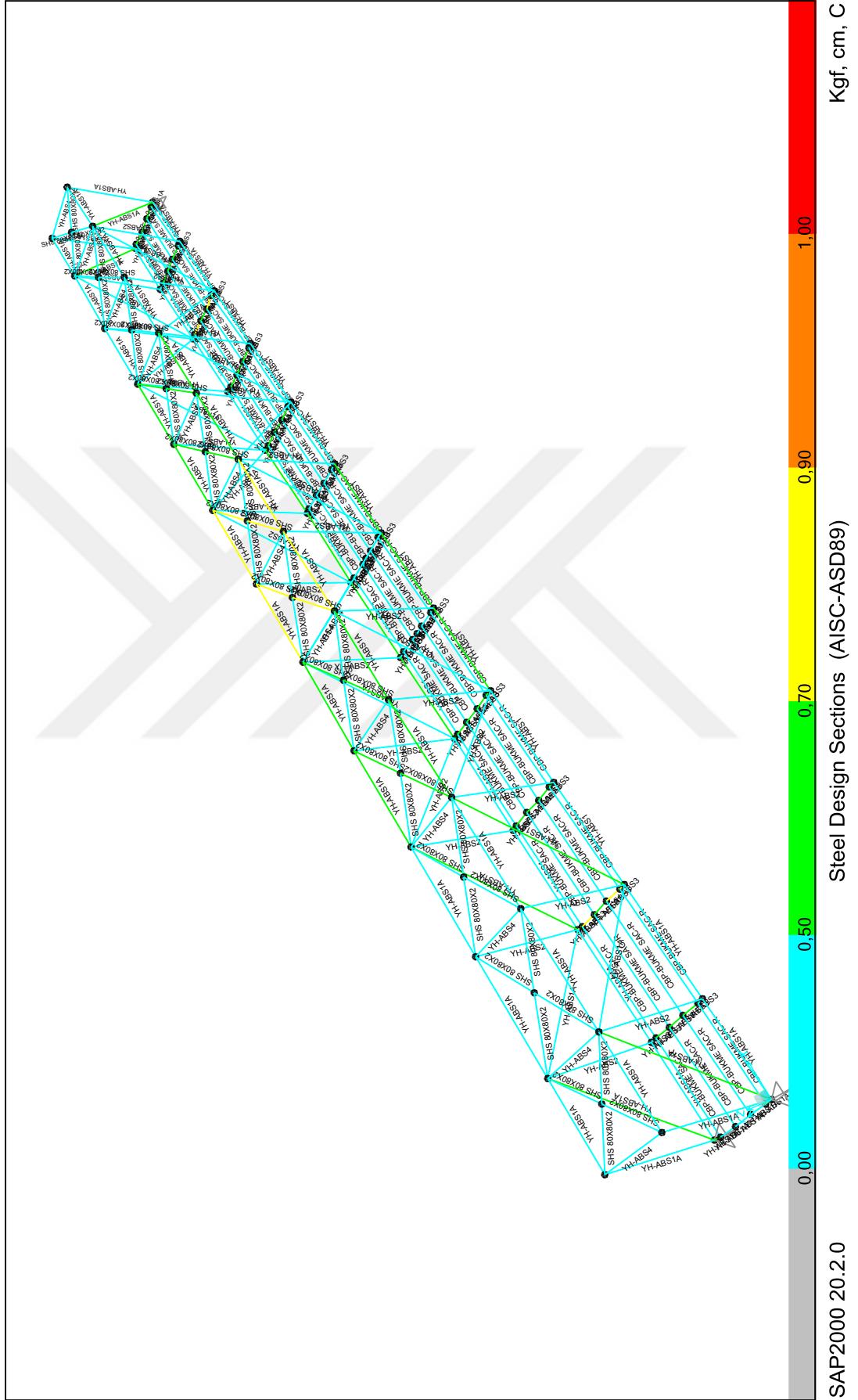
5.6.2 Öneri Model-1 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuştur. Strüktür sistemi ise S235 ve S275 kalite çelik profiller S355 kalite olacak şekilde revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre öneri model-1 terminal bağlantı köprü strüktür sisteminde S355 kalite çelik profiller tercih edildiğinde mevcut profillere göre daha düşük kesit alanları ile sistemin çözülebildiği görülmüştür. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde 9.323 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.22’de listelenmiştir.

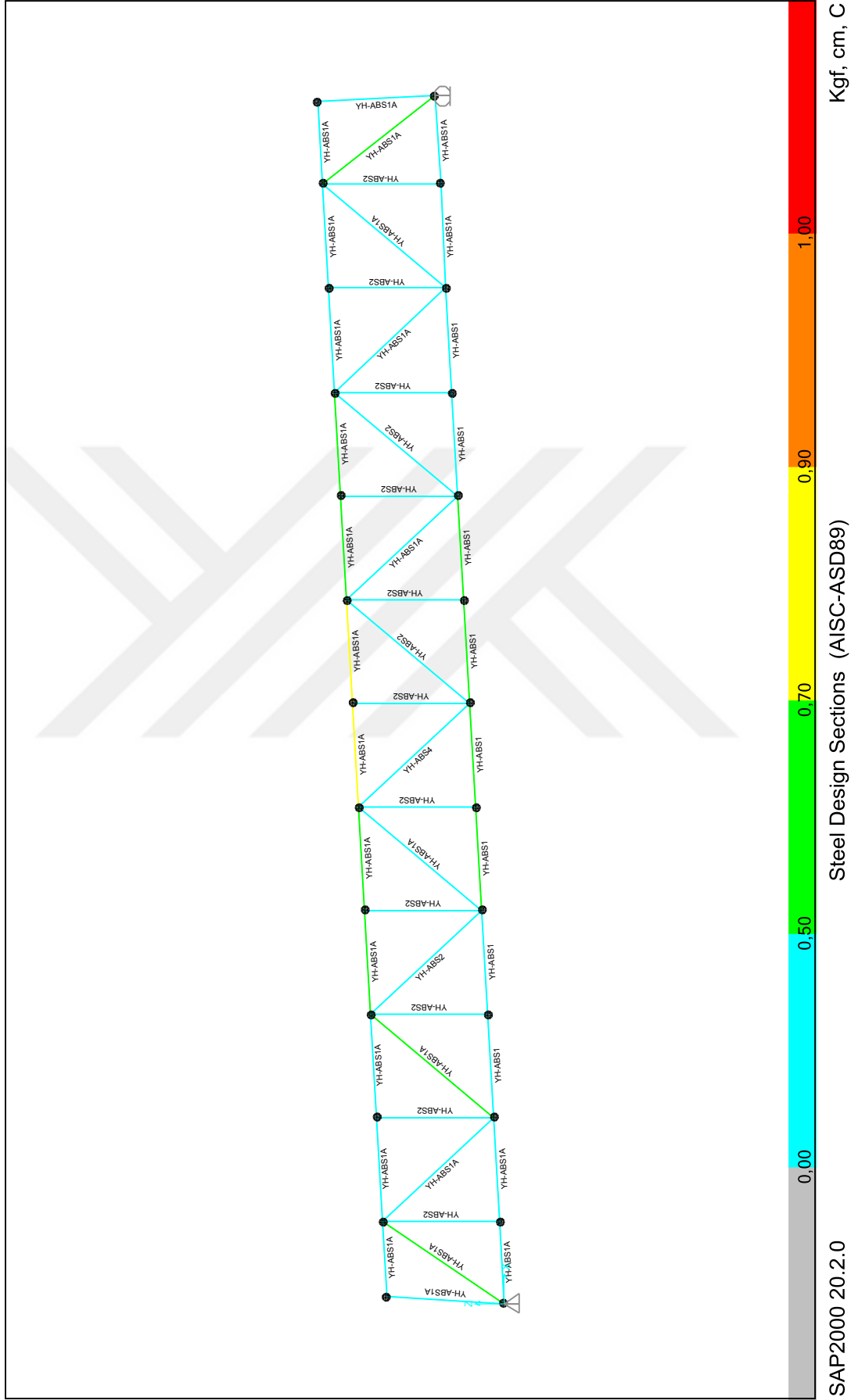
Tablo 5.22 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	YH-ABS1	S355	27,76	882
Eleman No-2/3	Pratt Tipi Makas Alt Başlık, Üst Başlık ve Diyagonallerde	YH-ABS1A	S355	39,84	5.150
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	YH-ABS2	S355	16,32	1.230
Eleman No-5	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	YH-ABS3	S355	17,60	280
Eleman No-6	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	YH-ABS4	S355	24,40	535
Eleman No-7	Kafes Sistem Alt Döşemesinde	CBP-BUKME SAC	S355	8,82	871
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Döşeme Diyagonallerinde	SHS80X80X2	S355	6,24	375

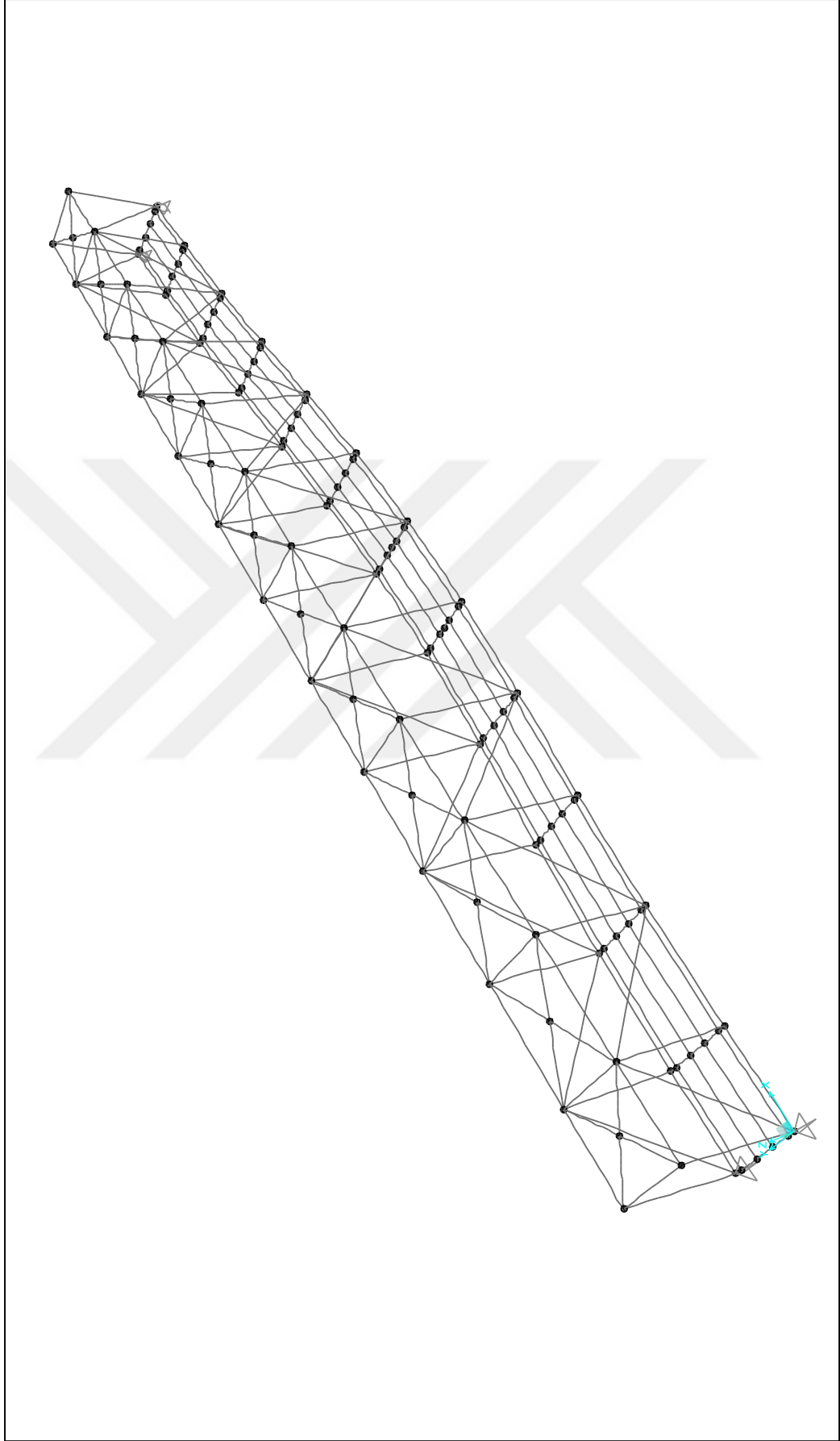
Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.49’da gösterilmiştir. Şekil 5.51’de ise mevcut terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1’de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre mevcut sistemin frekansı 0,19455 Hz’dir.



Şekil 5.49 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli



Şekil 5.50 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem kesiti



SAP2000 20.2.0

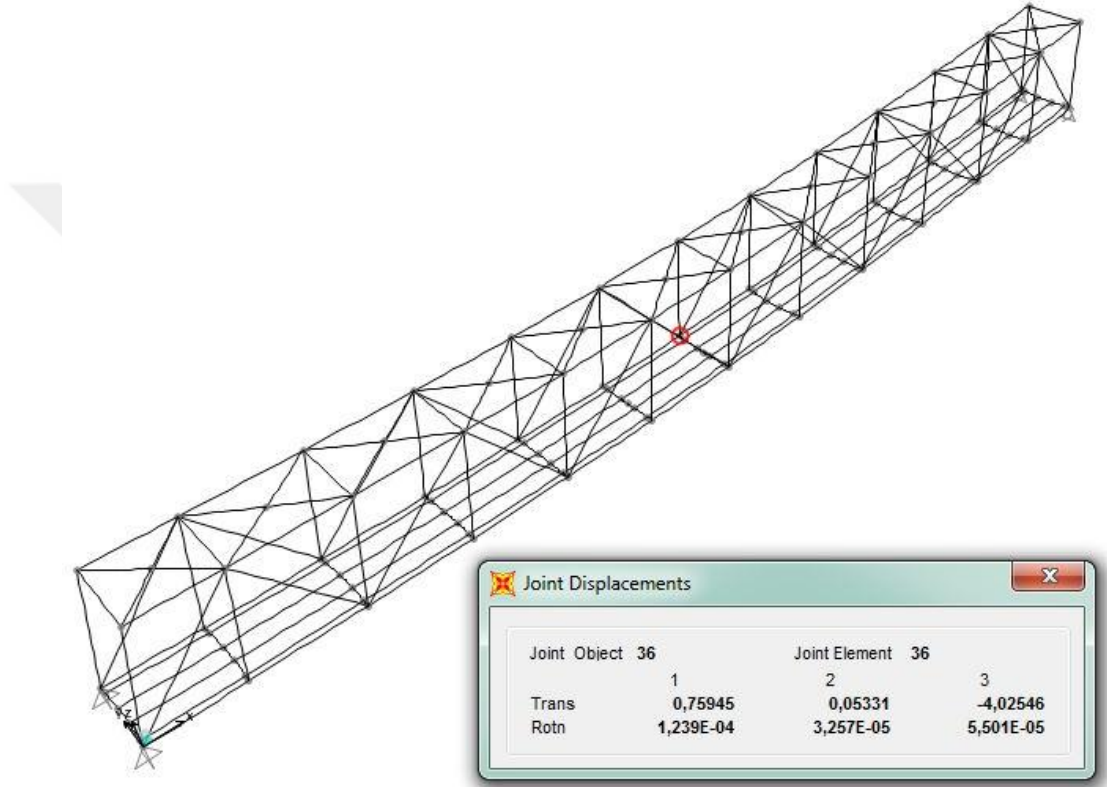
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 5,13994; f = 0,19455

Kg, cm, C

Şekil 5.51 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.6.2.1 Öneri Model-1 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.52’de Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -4,02546 cm’dir.



Şekil 5.52 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$4,02546 < 10,46 \text{ cm } (31,40 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan ana kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.6.2.2 Öneri Model-1 Sistemde Oluşan Titreşim Hesabı

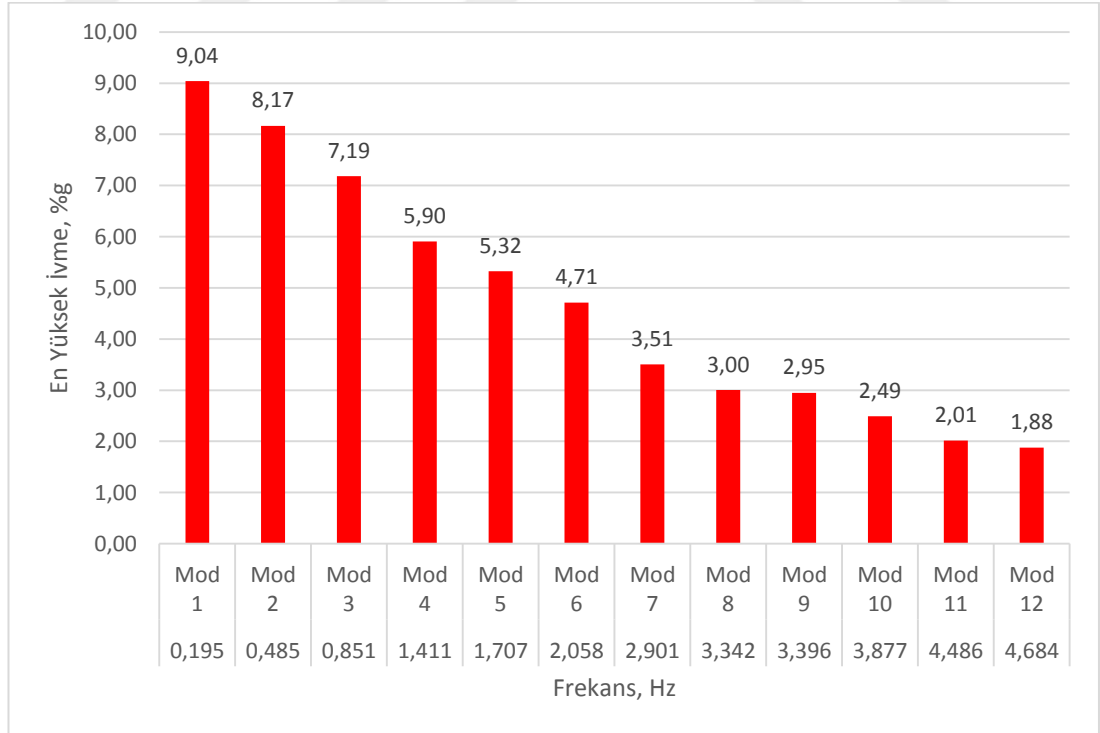
Tablo 5.23'te Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1'de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 9,04 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.53'te ise öneri model-1 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.23 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
Lj: Sistem Açıklığı (m):		31,40		y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):		65
X: Sistem Genişliği (m):		1,84		y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):		110
Z: Sistem Yüksekliği (m):		3,06		y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):		500
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):		2,70		y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):		75
x ₁ Tali Kiriş Genişliği(m):		1,84		y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):		228
b: Birim Genişlik (m)		1,00		y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):		20
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
wj	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
wj	=	119,6	+	920	+	36,80
wj	=	1076				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	wj	*	Lj		
W	=	1076	*	31,40		
W	=			33.799		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	9.323		kgf
W (Toplam)			=	43.122		kgf

Tablo 5.23 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	43.122	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	0,19455	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35 f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0904	►	9,04	%g



Şekil 5.53 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-1 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

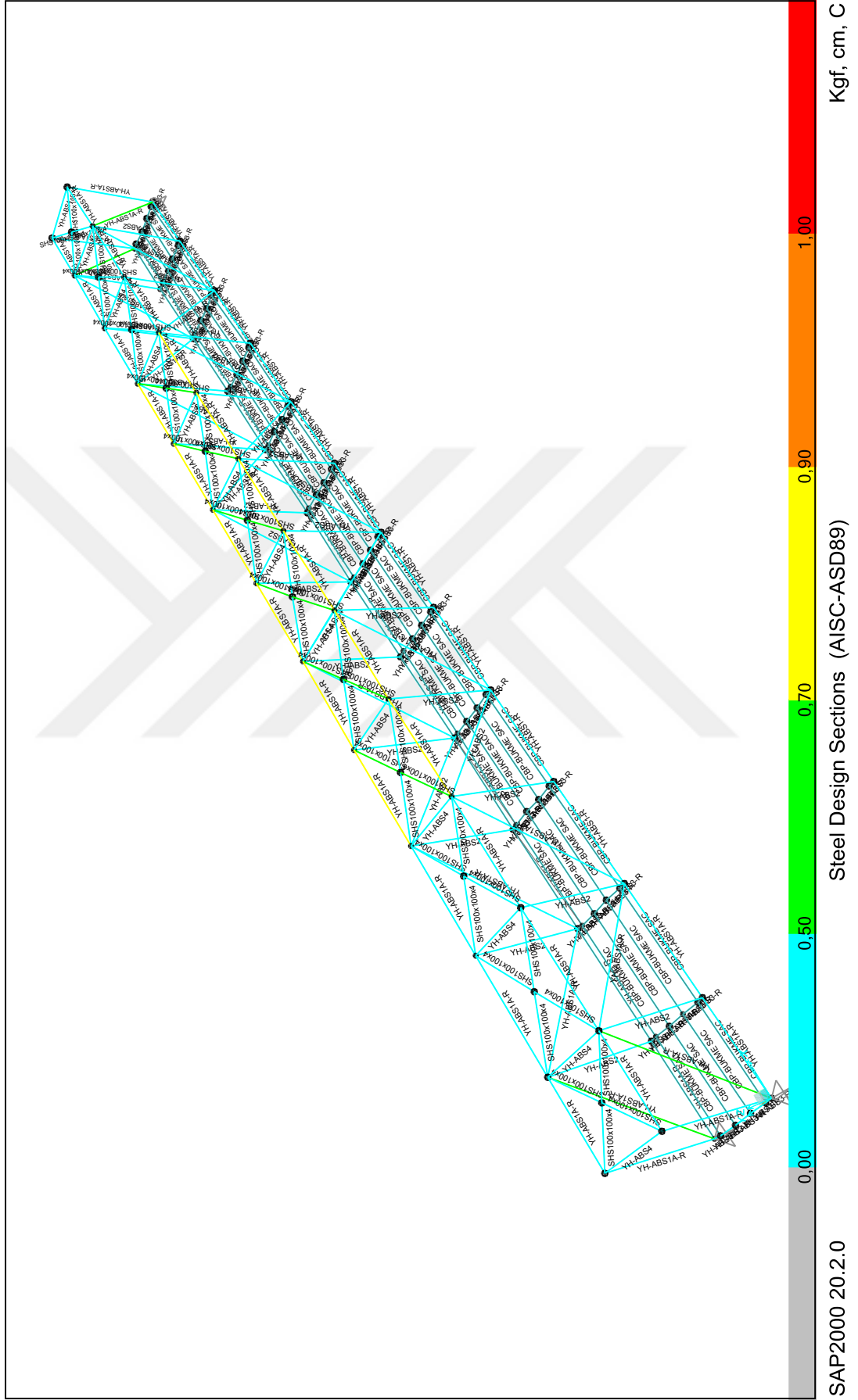
5.6.3 Öneri Model-2 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen öneri model-2 kapsamında mevcut yapısal çelik kalitelerinde değişim yapılmadan kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. Mevcut döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi tercih edildiğinde taşıma kapasitesini aşan çelik profillerde çelik kalitesi değiştirilmeden sadece kesit alanları arttırılmıştır. Bu doğrultuda öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde 11.366 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.24'te listelenmiştir.

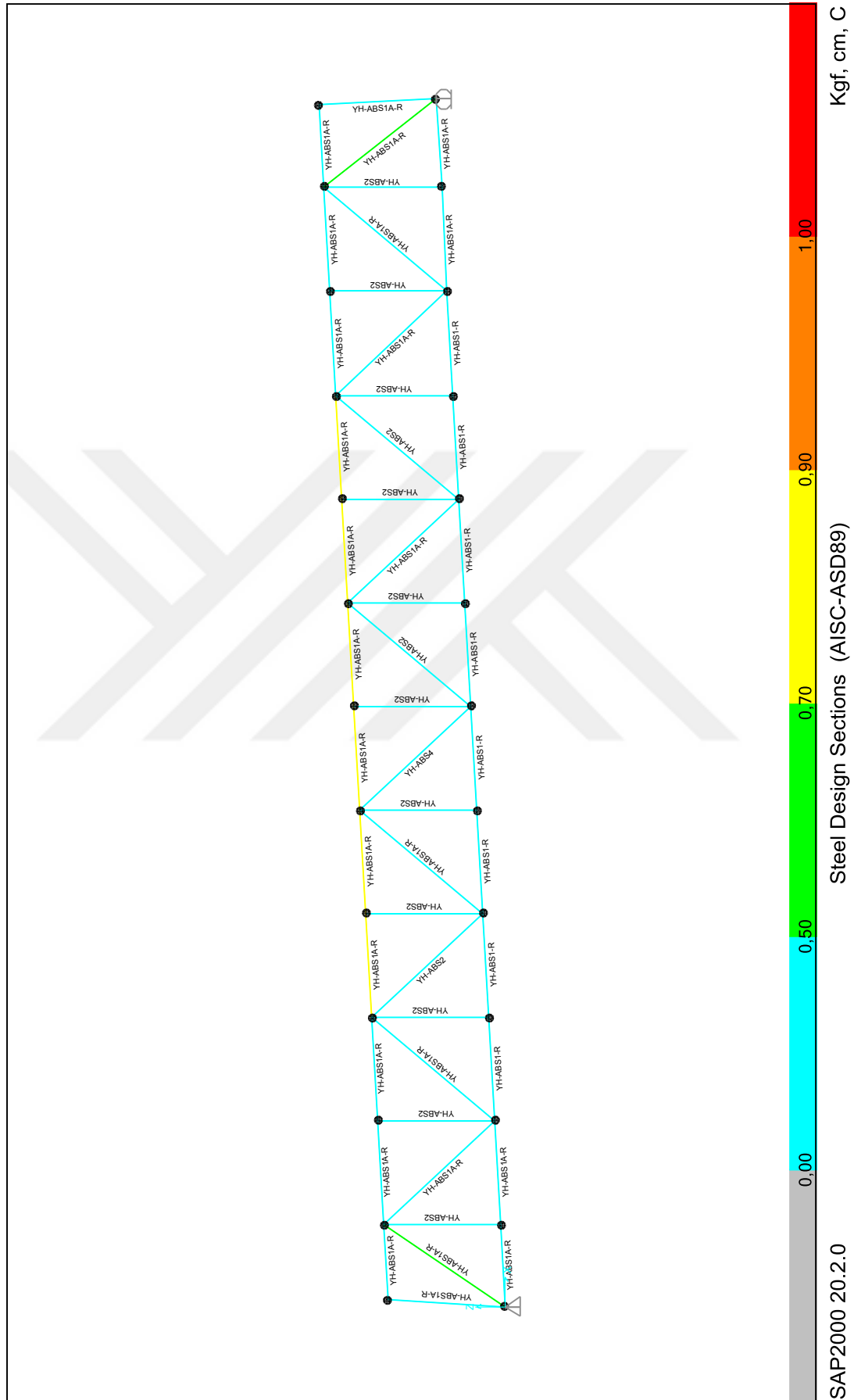
Tablo 5.24 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

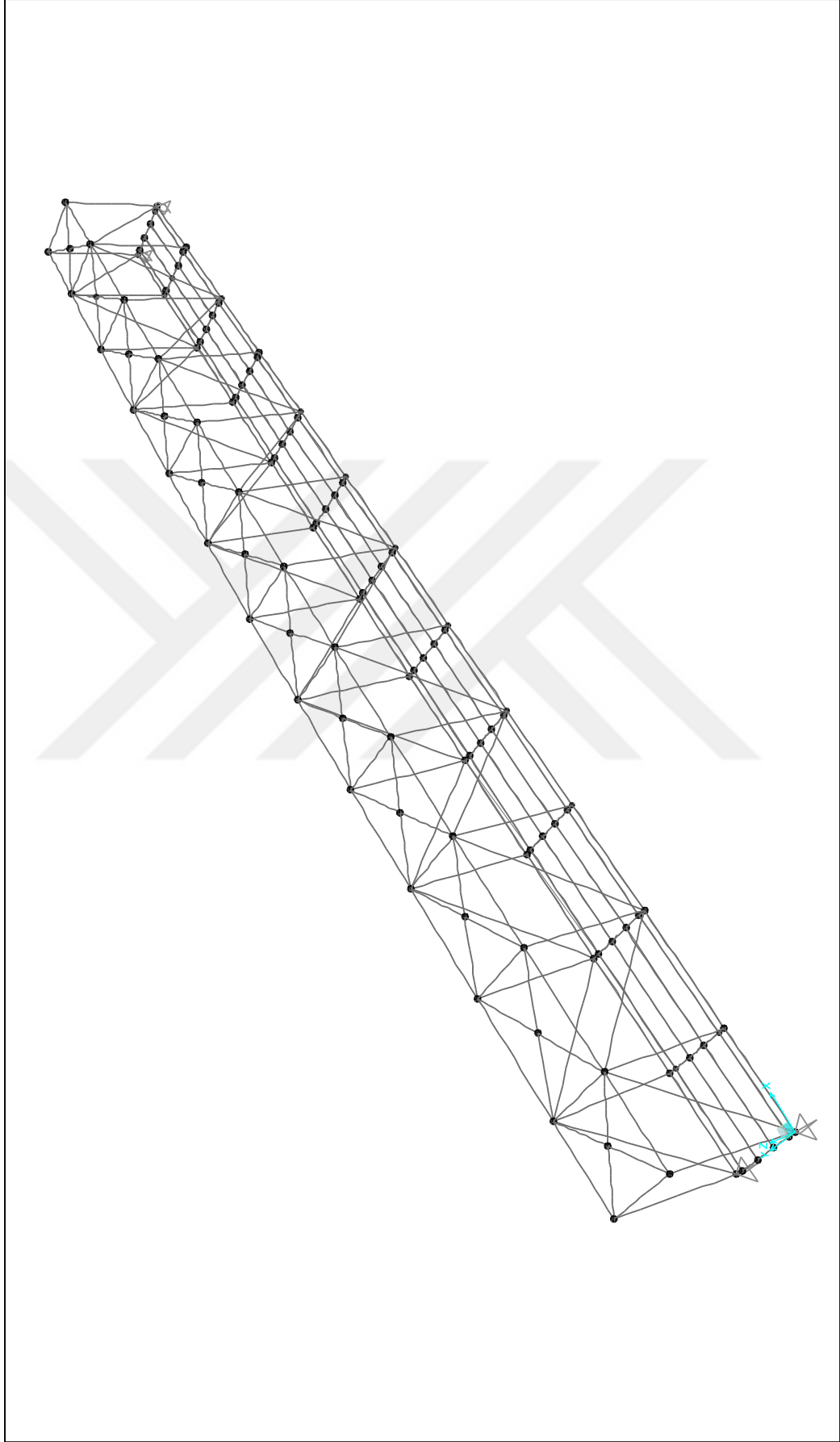
Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	YH-ABS1-R	S355	25,12	799
Eleman No-2/3	Pratt Tipi Makas Alt Başlık, Üst Başlık ve Diyagonallerde	YH-ABS1A-R	S355	52,00	6.571
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	YH-ABS2	S355	16,32	1.230
Eleman No-5	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	YH-ABS3-R	S355	18,56	349
Eleman No-6	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	YH-ABS4	S355	24,40	535
Eleman No-7	Kafes Sistem Alt Döşemesinde	CBP-BUK.SAC	S235	9,72	960
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Döşeme Diyagonallerinde	SHS100X100X4	S235	15,36	922

Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.54'te gösterilmiştir. Şekil 5.56'da ise öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1'de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre revize sistemin frekansı 2,05615 Hz'dir.



Şekil 5.54 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli





SAP2000 20.2.0

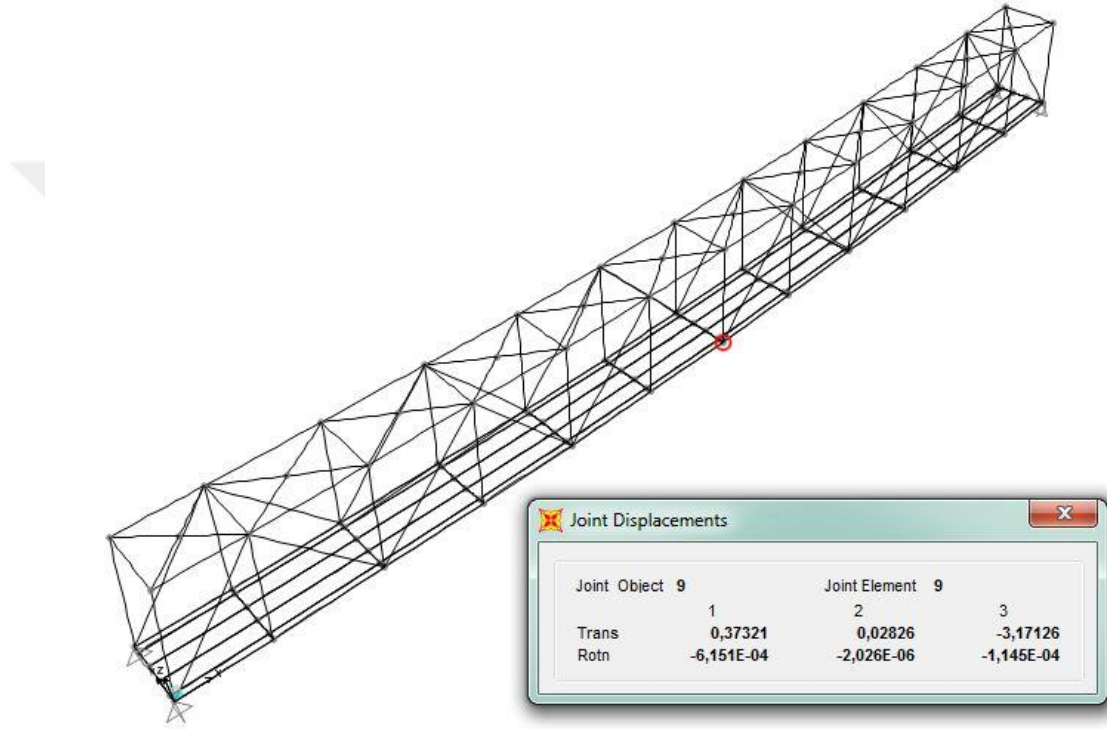
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0,48635; f = 2,05615

Kgf, cm, C

Şekil 5.56 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü mod 1'de oluşan sistemin frekansı

5.6.3.1 Öneri Model-2 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.57’de Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -3,17126 cm’dir.



Şekil 5.57 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer değiştirme Değeri (L/300):

$3,17126 < 10,46 \text{ cm } (31,4 \text{ m} / 300) = \text{Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.}$

5.6.3.2 Öneri Model-2 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

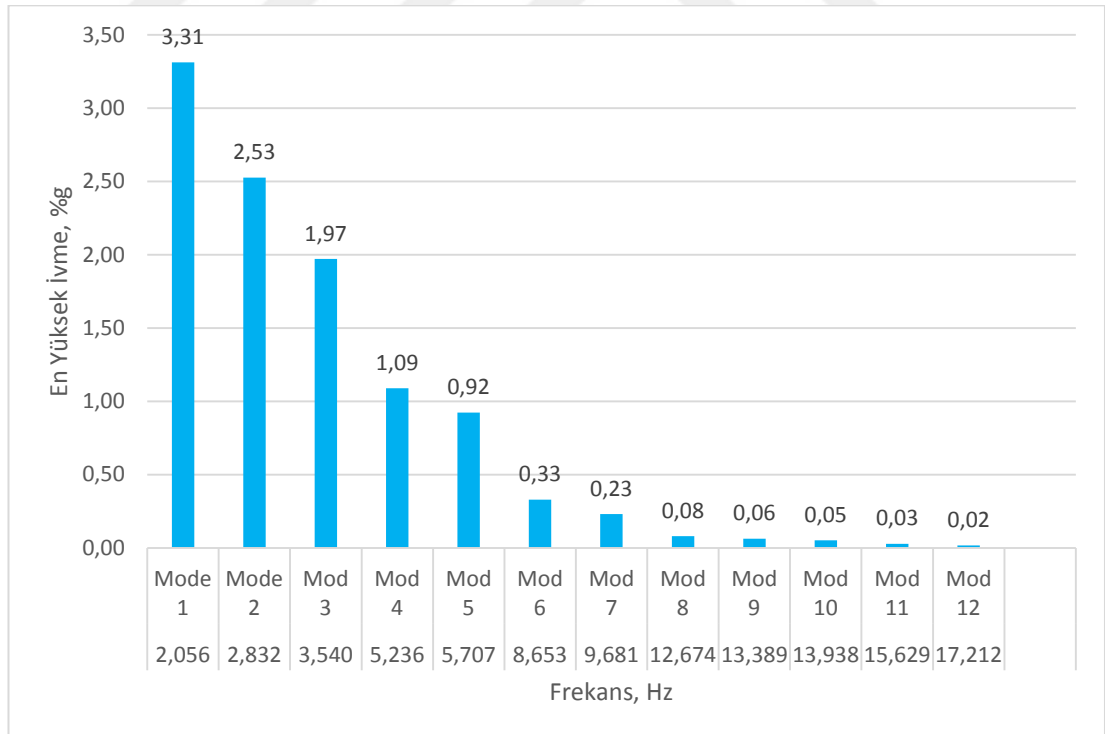
Tablo 5.25’te Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 3,31 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.58’de öneri model-2 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.25 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
L _j : Sistem Açıklığı (m):	31,40	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	1,84	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	3,06	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	2,70	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ : Tali Kiriş Genişliği(m):	1,84	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	119,6	+	920	+	552
w _j	=	1592				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1592	*	31,40		
W	=			49.976		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	11.366		kgf
W (Toplam)			=	61.342		kgf

Tablo 5.25 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	61.342	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	2,05615	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35fn)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0331	►	3,31	%g



Şekil 5.58 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-2 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

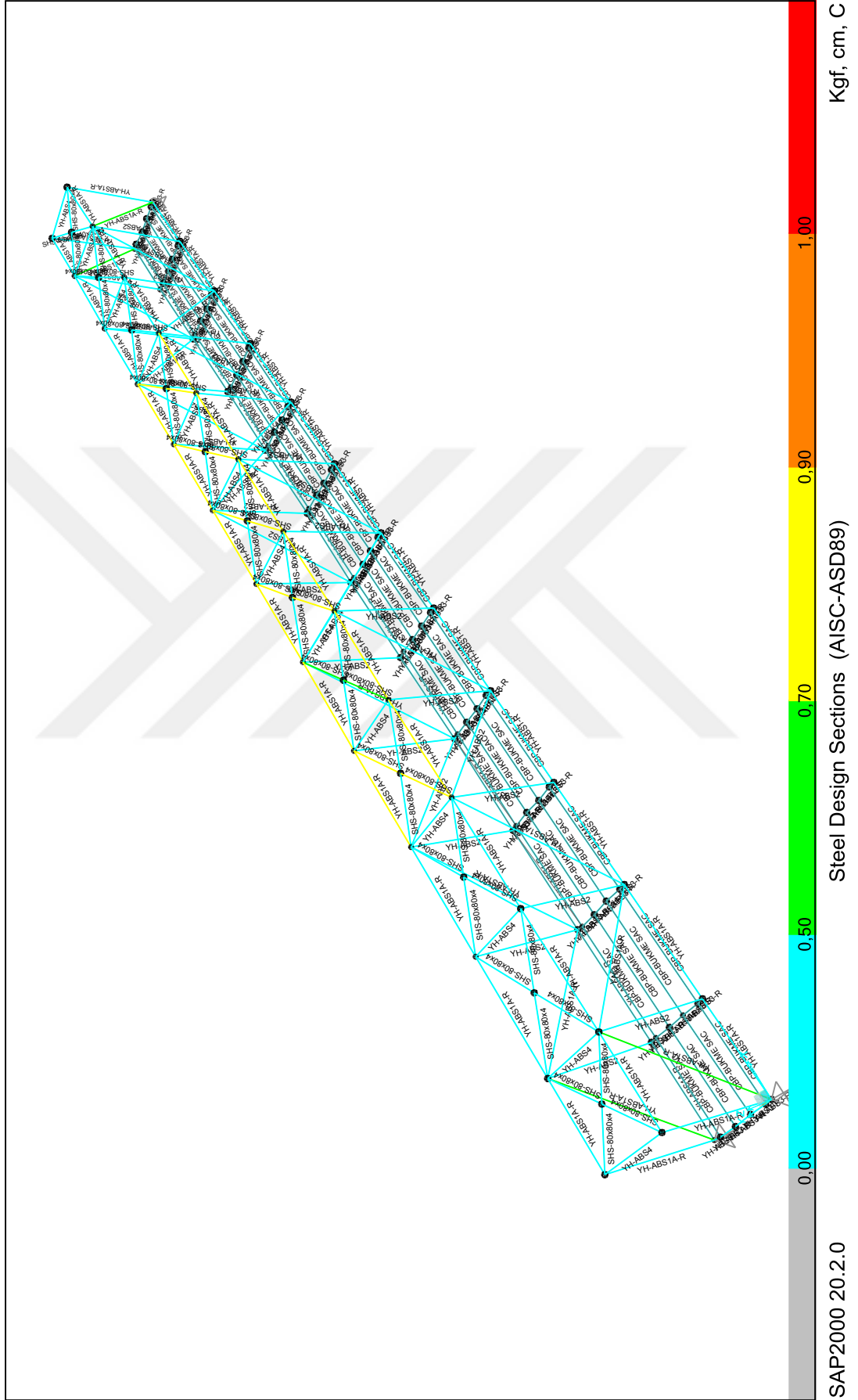
5.6.4 Öneri Model-3 Terminal Bağlantı Köprüsü Yapısal Sistem Analizi

Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-3 kapsamında model-2'den farklı olarak mevcut yapısal çelik kaliteleri ve kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemine göre mevcut model revize edilmiştir. SAP2000 analiz programı hesaplamaları doğrultusunda öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde 11.174 kg yapısal çelik profil kullanılmış olup kullanılan yapısal çelik profil listesi Tablo 5.26'da listelenmiştir.

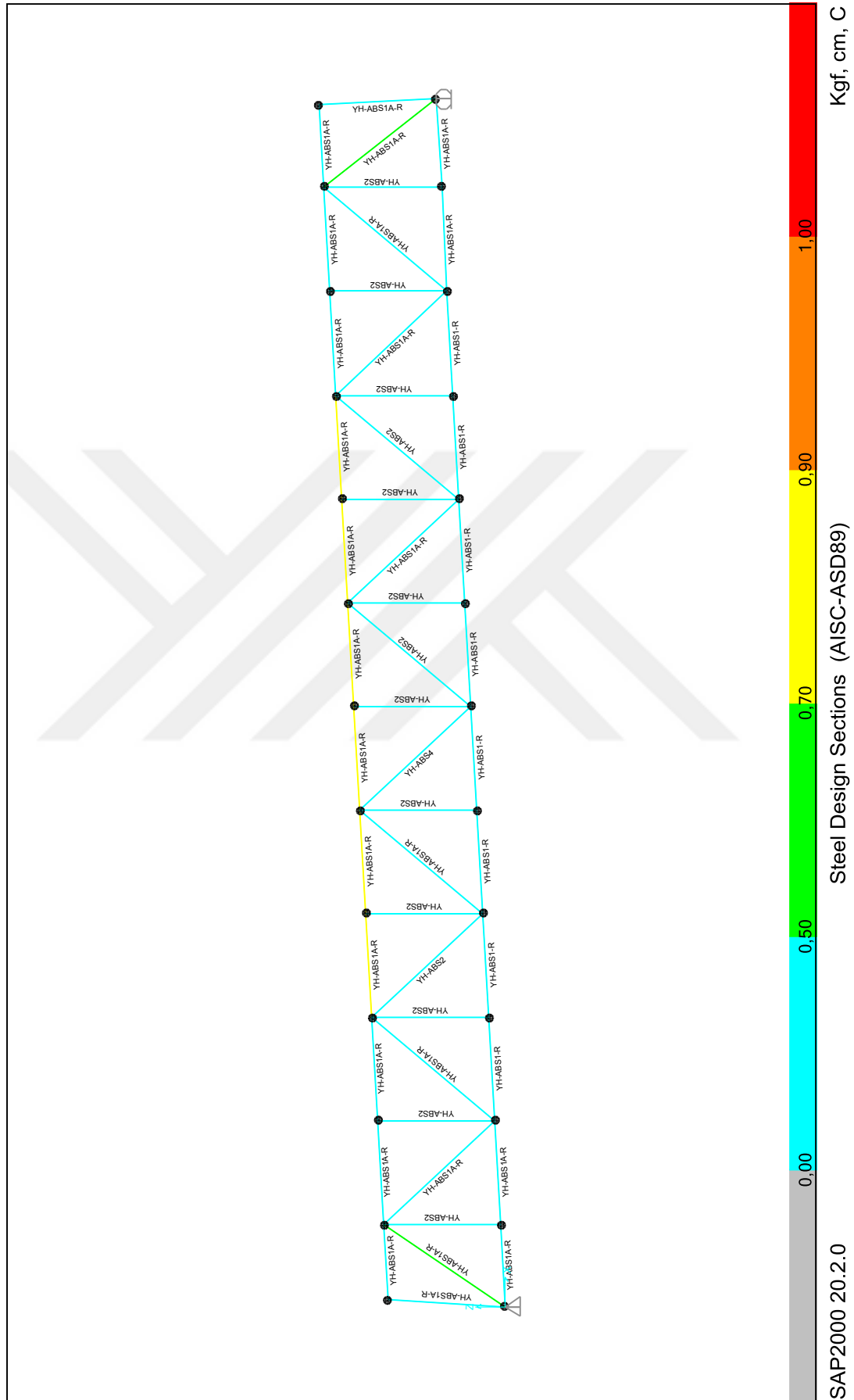
Tablo 5.26 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü çelik profil listesi

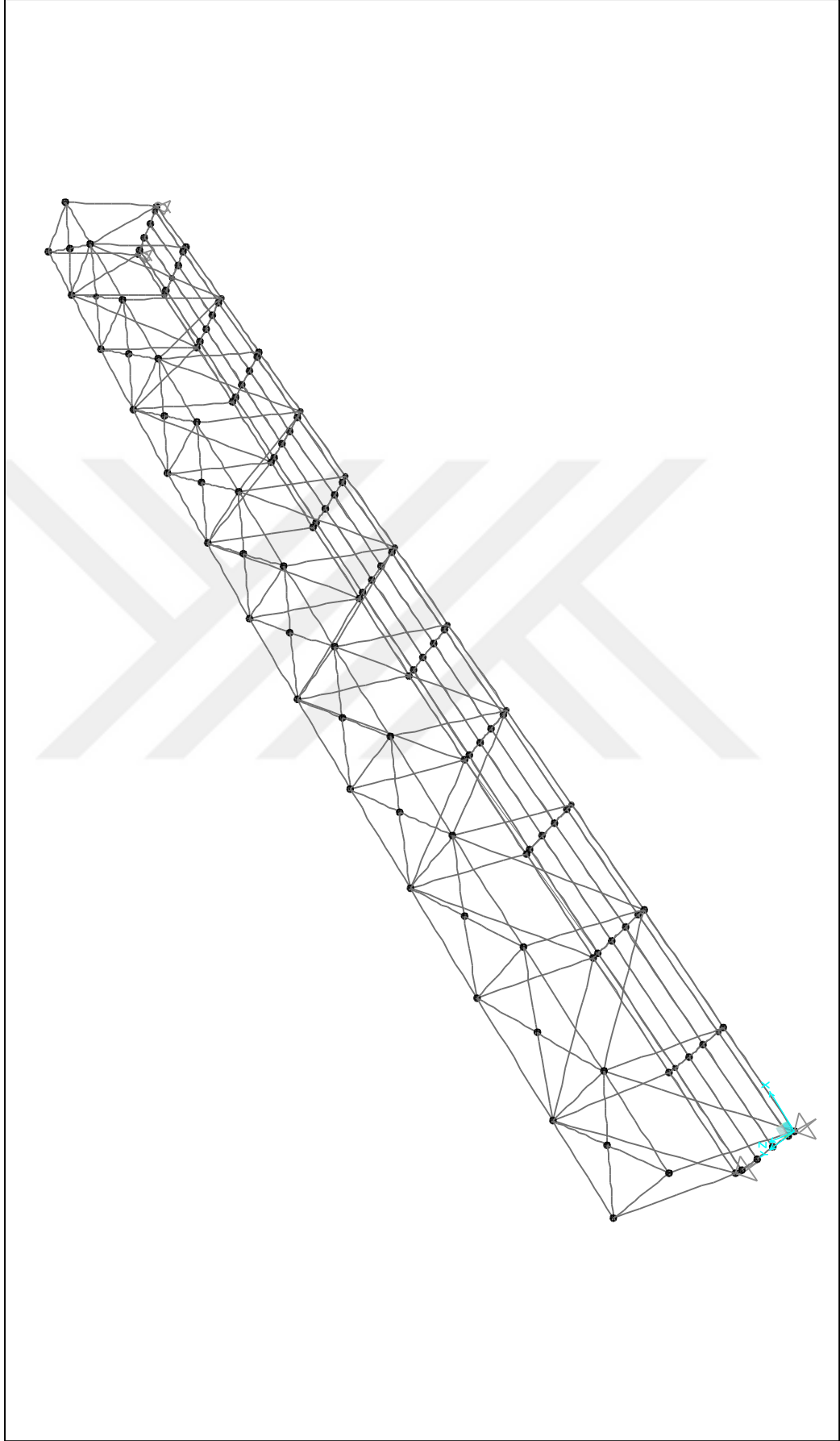
Eleman No	Kullanım Yeri	Profil Tipi	Çelik Kalitesi	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No-1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	YH-ABS1-R	S355	25,12	799
Eleman No-2/3	Pratt Tipi Makas Alt Başlık, Üst Başlık ve	YH-ABS1A-R	S355	52,00	6.571
Eleman No-4	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	YH-ABS2	S355	16,32	1.230
Eleman No-5	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	YH-ABS3-R	S355	18,56	349
Eleman No-6	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	YH-ABS4	S355	24,40	535
Eleman No-7	Kafes Sistem Alt Döşemesinde	CBP-BUK.SAC	S355	9,72	960
Eleman No-8	Kafes Sistem Üst Döşeme Diyagonallerinde	SHS80X80X4	S355	12,16	730

Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal köprüsünün SAP2000 analiz programında oluşturulan sistem modeli Şekil 5.59'de gösterilmiştir. Şekil 5.61'de ise öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre Mod 1'de meydana gelen sistemin frekansı verilmiştir. Verilere göre öneri model-3 sisteminin frekansı 2,06131 Hz'dir.



Şekil 5.59 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem modeli

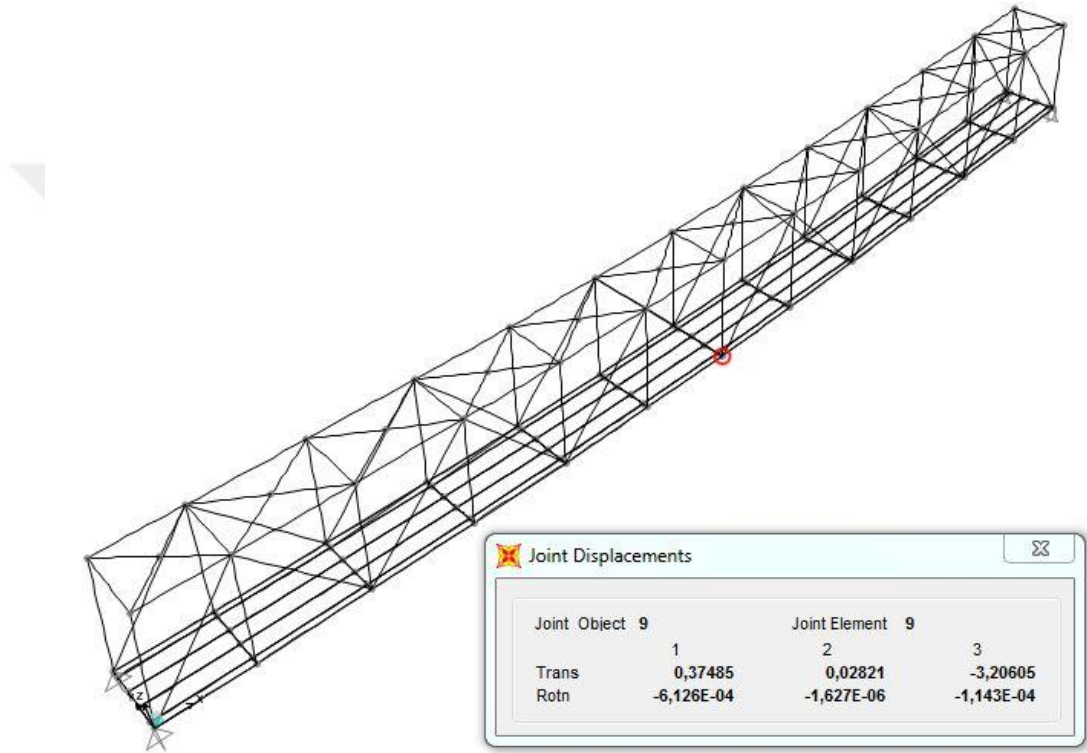




Şekil 5.61 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü mod 1’de oluşan sistemin frekansı

5.6.4.1 Öneri Model-3 Sistemi Düşey Yer Değiştirme Kontrolü

Şekil 5.62’de Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde SAP2000 analiz programı hesaplamalarına göre sabit ve hareketli yükler altında sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri verilmiştir. Verilere göre sistemde oluşan maksimum düşey yer değiştirme -3,20605 cm’dir.



Şekil 5.62 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değeri (SAP2000, v20.2.0)

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kapsamında sistemde oluşan düşey yer değiştirme kontrolü aşağıda yapılmıştır.

Hareketli ve Sabit Yükler Etkisi Altında Sınır Yer Değiştirme Değeri (L/300):

$3,20605 < 10,46 \text{ cm } (31,4 \text{ m} / 300) =$ Kafes sistemde meydana gelen maksimum düşey yer değiştirme izin verilen (L/300) değerinden küçük olduğundan kafes sistem titreşim kontrolü açısından yeterlidir.

5.6.4.2 Öneri Model-3 Sisteminde Oluşan Titreşim Hesabı

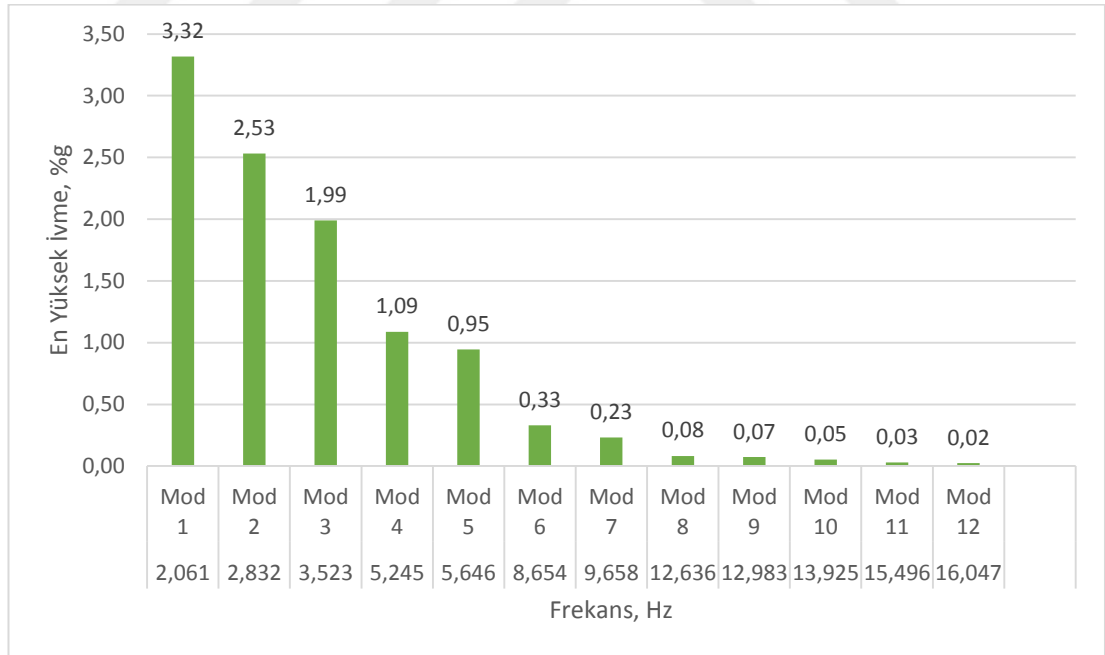
Tablo 5.27’de Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprü sisteminde oluşan titreşim AISC Steel Design Guide 11 Kapsamında hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre Mod 1’de sistemde oluşan en yüksek ivmelenmenin 3,32 %g olduğu görülmektedir. Şekil 5.63’te öneri model-3 sistemi tüm modlarda oluşan ivme grafiği verilmiştir.

Tablo 5.27 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü titreşim hesabı

Sisteme Ait Veriler						
Boyutlar				Yükler		
L _j : Sistem Açıklığı (m):	31,40	y ₁ : Alt Aşık (kgf/m ²):	65			
X: Sistem Genişliği (m):	1,84	y ₂ : Üst Aşık (kgf/m ²):	110			
Z: Sistem Yüksekliği (m):	3,06	y ₃ : Q (Hareketli Yük) (kgf/m ²):	500			
l ₁ : Tali Kiriş Aralığı (m):	2,70	y ₄ : Diğer (Kar) (kgf/m ²):	75			
x ₁ : Tali Kiriş Genişliği(m):	1,84	y ₅ : Cam ve Kaplama (kgf/m ²):	228			
b: Birim Genişlik (m)	1,00	y ₆ : Döşeme Sistemi (kgf/m ²):	300			
Tali Kiriş Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
w _j	=	Alt Aşık Yüğü (y ₁ *b*x ₁)	+	Hareketli Yük (y ₃ *b*x ₁)	+	Döşeme Yüğü (y ₆ *b*x ₁)
w _j	=	119,6	+	920	+	552
w _j	=	1592				
Sistem Üzerindeki Toplam Yük Hesabı						
W	=	Tali Kiriş Yüğü	*	Toplam Sistem Boyu		
W	=	w _j	*	L _j		
W	=	1592	*	31,40		
W	=			49.976		kgf
Sistemin Zati Ağırlığı			=	11.174		kgf
W (Toplam)			=	61.150		kgf

Tablo 5.27 Devamı

Sistemin Titreşim Hesabı					
Simgeler		Değer	Birim		
a_p/g	=			Tahmini maksimum düşey ivme	
a_0/g	=			Kullanım amacına bağlı olarak öngörülen limit değer	
β	=	0,01		Modal sönümlenme oranı (Tablo 3.1'den)	
W	=	61.150	kgf	Sisteminin toplam ağırlığı	
f_n	=	2,06131	Hz	Sistemin doğal frekansı (SAP2000 v20.2.0)	
P_0	=	41,73	kgf	Sabit kuvvet (Tablo 3.1'den)	
a_p/g	=	$\frac{P_0 \cdot \exp(-0,35f_n)}{\beta \cdot W}$	$\leq$	a_0/g	İvmelenme Hesabı (AISC Steel Design Guide 11'den)
	=	0,0332	►	3,32	%g



Şekil 5.63 Sabiha Gökçen Havalimanı öneri model-3 terminal bağlantı köprüsü sistem ivme grafiği

BÖLÜM ALTI

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

6.1 Yapısal Çelik Profil Miktarındaki Değişimlerin İrdelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde mevcut sistem ile mevcut sisteme öneri olarak düzenlenen model-1, model-2 ve model-3 kapsamında yapılan analiz ve hesaplamalar her dört sistemde kullanılan yapısal çelik profil ve yapısal çelik kalitesindeki değişimler açısından olacaktır.

İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinde kullanılan yapısal çelik profillere ait veriler Tablo 6.1’de gösterilmektedir.

Tablo 6.1’de yer alan verilere göre; kontrplak döşeme sistemi kullanılarak tasarlanan mevcut terminal bağlantı köprüsünde 32.967 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunan, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde 31.555 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %4,28’lik bir azalma gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi olarak revize edilen, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise mevcut sistemde olduğu gibi korunan öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde 45.510 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri değiştirilmeden döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %38,05’lik bir artış gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde 34.794 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme, yapısal çelik kalitesi de S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %5,54'lük bir artış gerçekleşmektedir.

Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinde kullanılan yapısal çelik profillere ait veriler Tablo 6.2'de gösterilmektedir.

Tablo 6.2'de yer alan verilere göre; kontrplak döşeme sistemi kullanılarak tasarlanan mevcut terminal bağlantı köprüsünde 17.014 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunan, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde 15.630 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %8,13'lük bir azalma gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi olarak revize edilen, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise mevcut sistemde olduğu gibi korunan öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde 23.882 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri değiştirilmeden döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %40,37'lik bir artış gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde 18.068 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme,

yapısal çelik kalitesi de S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %6,19'luk bir artış gerçekleşmektedir.

İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinde kullanılan yapısal çelik profillere ait veriler Tablo 6.3'te gösterilmektedir.

Tablo 6.3'te yer alan verilere göre; kontrplak döşeme sistemi kullanılarak tasarlanan mevcut terminal bağlantı köprüsünde 9.703 kg yapısal çelik profil kullanılmıştır. Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunan, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde 9.323 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %3,92'lik bir azalma gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi olarak revize edilen, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise mevcut sistemde olduğu gibi korunan öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde 11.366 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Yapısal çelik kaliteleri değiştirilmeden döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %17,14'lük bir artış gerçekleşmektedir.

Terminal bağlantı köprü döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme sistemi, strüktür sistemindeki yapısal çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde revize edilen öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde 11.174 kg yapısal çelik profil kullanılarak sistem çözülmüştür. Döşeme sistemi betonarme kompozit döşeme, yapısal çelik kalitesi de S355 kalite olduğu durumda mevcut sisteme göre yapısal çelik profil miktarında %15,16'lık bir artış gerçekleşmektedir.

Tablo 6.1 İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu

ELEMEN NO	KULLANIM YERİ	MEVCUT SİSTEM (Kontrplak Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-1 (Kontrplak Döşeme) (S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-2 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-3 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S355 Kalite Çelik)			
		Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No:1	Kafes Kiriş Diyagonallerde	CHS-168,3X5	S235	25,65	1.635	CHS-168,3X5	S355	25,65	1.714	CHS-168,3X12,5	S235	61,18	8.447	CHS-168,3X8	S355	40,29	5.562
						CHS-168,3X8	S355	40,29	2.871								
Eleman No:2	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kirişlerde	CHS-168,3X8	S235	40,29	8.752	CHS-193,7X10	S355	57,71	4,075	CHS-273,0X10	S235	82,62	12.062	CHS-244,5X6,3	S355	47,14	6.883
						CHS-193,7X12,5	S355	71,16	5.196								
Eleman No:3	Alt ve Üst Vierendeel Kafes Kiriş Ara Dikmelerde	CHS-168,3X12,5	S235	61,18	1.635	CHS-193,7X20	S355	109,14	3.174	CHS-273,0X16	S235	129,18	4.890	CHS-244,5X16	S355	114,86	4.347
Eleman No:4	Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	CHS-244,5X16	S235	114,86	1.278	CHS-244,5X20	S355	141,06	1.569								
Eleman No:5	Kafes Sistem Mesnet Kirişlerinde	HE220A	S275	64,30	223	HE200A	S355	53,8	8.227	---	---	---	---	---	---	---	---
Eleman No:6	Üst Vierendeel Kafes Kiriş Üst Başlıklarında	HE260A	S275	86,80	6.336					HE280A	S275	97,30	14.205	HE260A	S355	86,8	12.672
Eleman No:7	Alt Vierendeel Kafes Kiriş Alt Başlıklarında	HE280A	S275	97,30	7.102												
Eleman No:8	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	IPE220	S275	33,40	869	IPE140	S355	16,4	427	IPE220	S275	33,40	985	IPE200	S355	28,5	840
Eleman No:9	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	IPE240	S275	39,10	1.153	IPE180	S355	23,9	622	IPE240	S275	39,10	1.153	IPE220	S355	33,4	985
Eleman No:10	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	2L80X10	S235	30,21	2.777	2L90X12	S355	40,58	2.578	2L100X10	S235	38,31	1.761	2L100X10	S355	38,31	1.761
						L90X9	S355	15,52	441	L100X10	S235	19,15	880	L100X10	S355	19,15	880
Eleman No:11	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L80X8	S235	12,27	1.128	2L50X5	S355	9,61	441	L80X8	S235	12,27	1.128	L70X7	S355	9,4	864
						L50X5	S355	4,8	221								
TOPLAM (Kg)		32.967				31.555				45.510				34.794			
DEĞİŞİM (%)		±%0.00				-%4,28				+%38,05				+%5,54			

Tablo 6.2 Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu

ELEMEN NO	KULLANIM YERİ	MEVCUT SİSTEM (Kontırplak Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-1 (Kontırplak Döşeme) (S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-2 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-3 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S355 Kalite Çelik)			
		Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No:1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	ROUND BAR-Ø50	S235	19,63	1.849	ROUND BAR-Ø50	S355	19,63	1.849	ROUND BAR-Ø50	S235	19,63	924	ROUND BAR-Ø50	S355	19,63	924
		ROUND BAR-Ø60	S235	28,27	356	ROUND BAR-Ø60	S355	28,27	356	ROUND BAR-Ø80	S235	50,27	2.998	ROUND BAR-Ø60	S355	28,27	1.687
Eleman No:2	Kafes Sistem Mesnet Dikmelerinde	HE220A	S275	64,30	784	HE200A	S355	53,80	812	HE220A	S275	64,30	971	HE220A	S355	64,30	971
Eleman No:3	Pratt Tipi Makas Alt Başlıklarında	IPN300	S275	69,00	9.141	IPN280	S355	61,00	4.041	IPN300	S275	69,00	4.570	IPN220	S355	39,50	2.616
Eleman No:4	Pratt Tipi Makas Üst Başlıklarında					IPN300	S355	69,00	4.570	IPN450	S275	147,00	9.737	IPN400	S355	118,00	7.816
Eleman No:5	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	RHS-120X60X10	S235	32,00	2.528	RHS-120X60X6,3	S355	21,09	1.078	SHS-120X120X10	S235	27,36	2.161	SHS-100X100X10	S355	22,56	1.782
						RHS-120X60X10	S355	37,44	1.044								
Eleman No:6/7	Kafes Sistem Alt ve Üst Tali Kirişlerde	UPN120	S235	16,98	937	UPN100	S355	13,46	743	UPN160	S235	24,02	663	UPN120	S355	16,98	937
Eleman No:8	Kafes Sistem Mesnet Tali Kirişlerinde	UPN160	S235	24,02	70	---	---	---	---	UPN120	S235	16,98	468	---	---	---	---
Eleman No:9	Alt ve Üst Döşeme Diyagonallerinde	L60X6	S235	6,91	808	L50X5	S355	4,8	526	L60X6	S235	6,91	1.104	L60X6	S355	6,91	1.104
		L70X7	S235	9,40	541	L70X7	S355	9,40	612	L100X10	S235	19,15	285	L90X9	S355	15,52	231
TOPLAM (Kg)		17.014				15.630				23.882				18.068			
DEĞİŞİM (%)		±%0.00				-%8,13				+%40,37				+%6,19			

Tablo 6.3 İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 yapısal çelik profil değişim tablosu

ELEMEN NO	KULLANIM YERİ	MEVCUT SİSTEM (Kontrplak Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-1 (Kontrplak Döşeme) (S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-2 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S235, S275, S355 Kalite Çelik)				ÖNERİ MODEL-3 (Betonarme Kompozit Döşeme) (S355 Kalite Çelik)			
		Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)	Profil Tipi	Profil Kalite	Kesit Alanı (cm ²)	Toplam Miktar (kg)
Eleman No:1	Pratt Tipi Makas Diyagonallerinde	YH-ABS1	S355	27,76	882	YH-ABS1	S355	27,76	882	YH-ABS1-R	S355	25,12	799	YH-ABS1-R	S355	25,12	799
Eleman No:2/3	Pratt Tipi Makas Alt Başlık, Üst Başlık ve Diyagonallerde	YH-ABS1A	S355	39,84	5.035	YH-ABS1A	S355	39,84	5.150	YH-ABS1A-R	S355	52,00	6.571	YH-ABS1A-R	S355	52,00	6.571
Eleman No:4	Pratt Tipi Makas Ara Dikmelerde	YH-ABS2	S355	16,32	1.230	YH-ABS2	S355	16,32	1.230	YH-ABS2	S355	16,32	1.230	YH-ABS2	S355	16,32	1.230
Eleman No:5	Kafes Sistem Alt Tali Kirişlerde	YH-ABS3	S355	17,60	331	YH-ABS3	S355	17,60	280	YH-ABS3-R	S355	18,56	349	YH-ABS3-R	S355	18,56	349
Eleman No:6	Kafes Sistem Üst Tali Kirişlerde	YH-ABS4	S355	24,40	535	YH-ABS4	S355	24,40	535	YH-ABS4	S355	24,40	535	YH-ABS4	S355	24,40	535
Eleman No:7	Kafes Sistem Alt Döşemesinde	CBP-BUKME SAC	S235	9,72	960	CBP-BUKME SAC	S355	8,82	871	CBP-BUKME SAC	S235	9,72	960	CBP-BUKME SAC	S355	9,72	960
Eleman No:8	Kafes Sistem Üst Döşeme Diyagonallerinde	SHS- 80X80X4	S235	12,16	730	SHS- 80X80X2	S355	6,24	375	SHS- 100X100X4	S235	15,36	922	SHS- 80X80X4	S355	12,16	730
TOPLAM (Kg)		9.703				9.323				11.366				11.174			
DEĞİŞİM (%)		±%0.00				-%3,92				+%17,14				+%15,16			

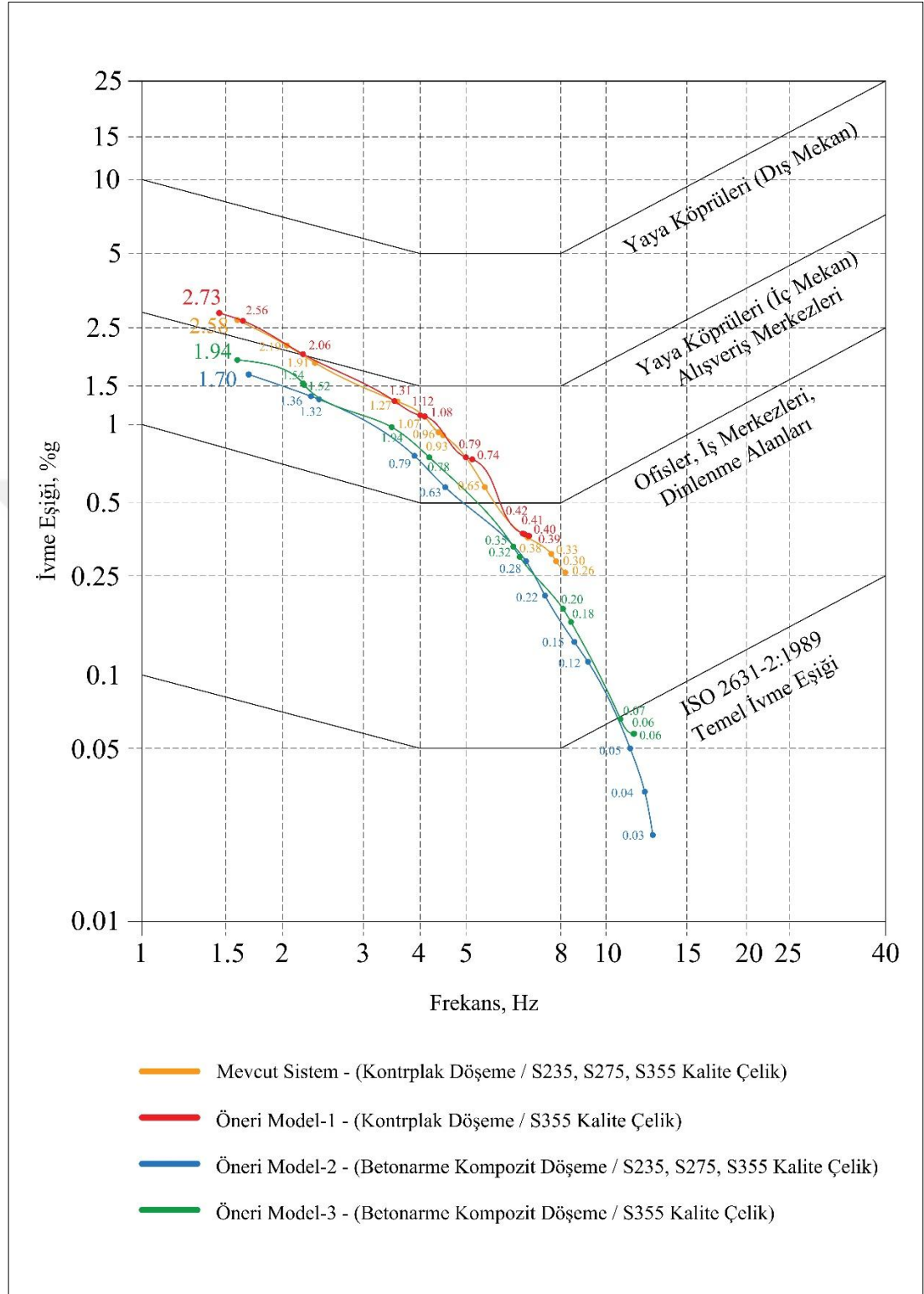
6.2 Terminal Bağlantı Köprü Döşemelerinde Oluşan Titreşim (İvmelenme) Değişimlerin İrdelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde mevcut sistem, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprü döşeme sistemlerinde meydana gelen titreşim (ivmelenme) değişimleri incelenmiştir. Mevcut sistem ve mevcut sisteme öneri olarak geliştirilen öneri modellere ait ivmelenme değişimleri Şekil-6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'teki ivme eşiği grafiklerinde gösterilmiştir.

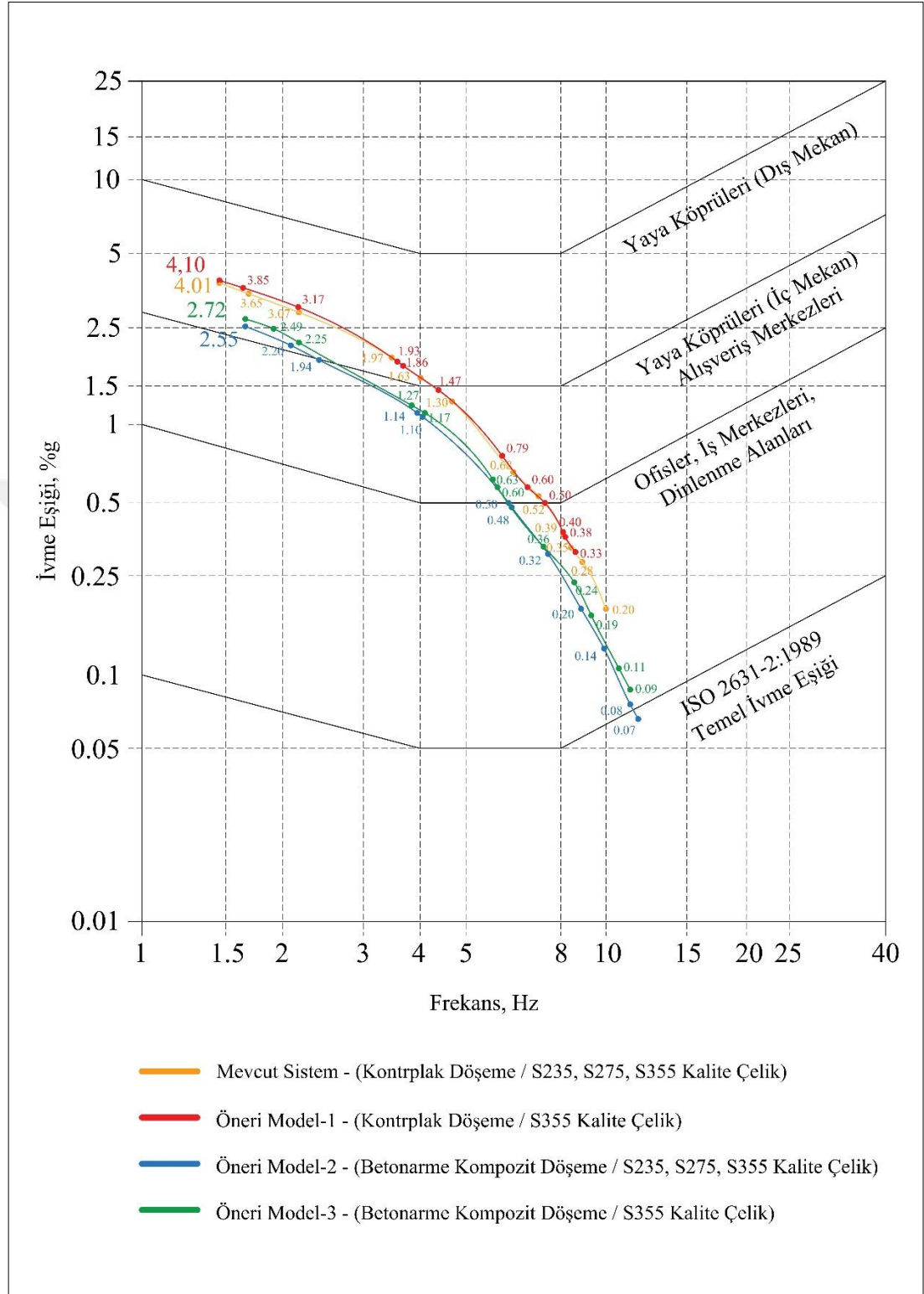
Şekil 6.1'de İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinin SAP2000 analiz sonuçlarına göre farklı modlarda oluşan ivme değişim grafikleri verilmiştir. Mevcut terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 2,58%g olarak hesaplanmıştır. Öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 2,73%g, öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 1,70%g, öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme ise 1,94%g olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.2'de Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinin SAP2000 analiz sonuçlarına göre farklı modlarda oluşan ivme değişim grafikleri verilmiştir. Mevcut terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 4,01%g olarak hesaplanmıştır. Öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 4,10%g, öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 2,55%g, öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme ise 2,72%g olarak hesaplanmıştır.

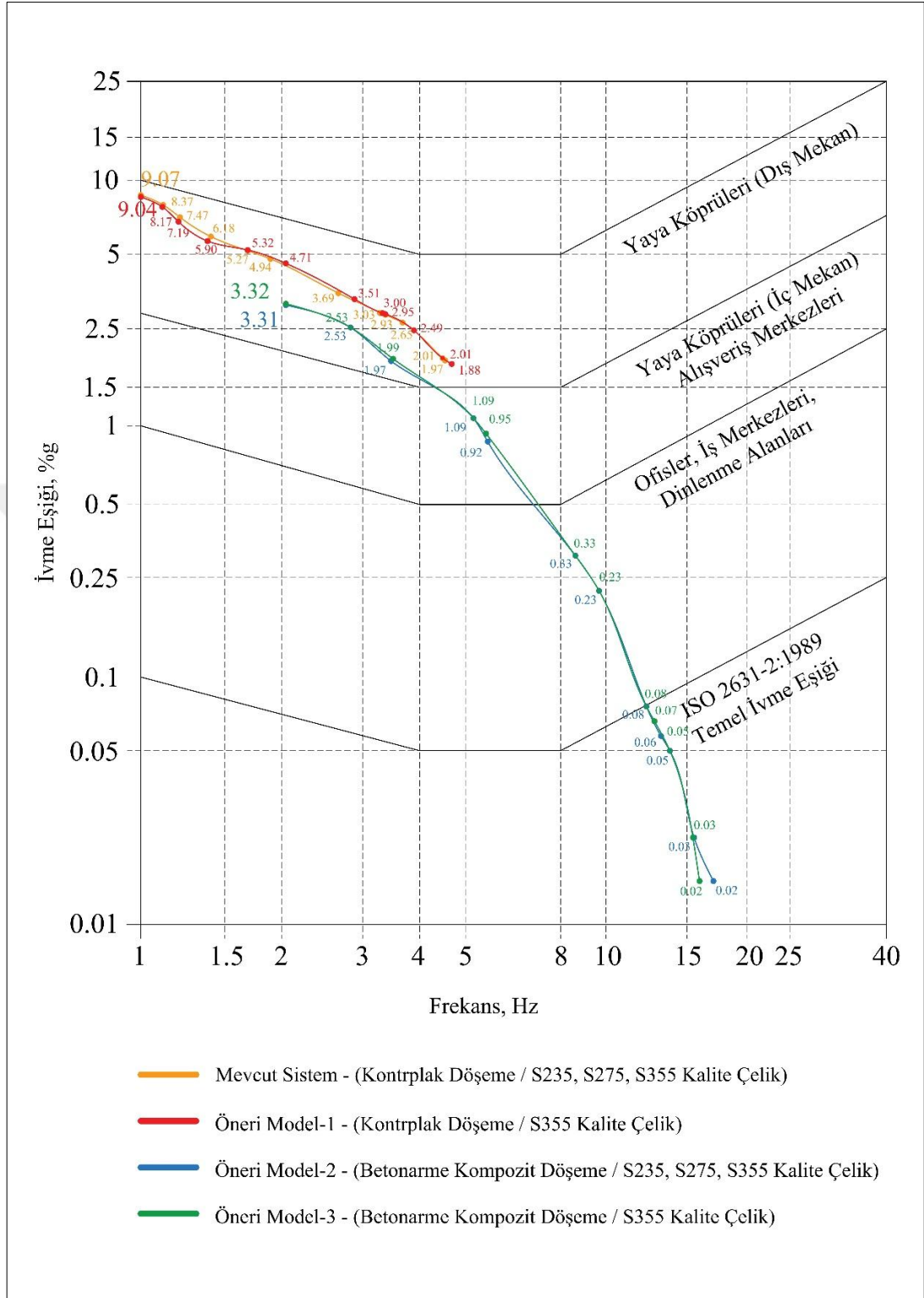
Şekil 6.3'te ise İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinin SAP2000 analiz sonuçlarına göre farklı modlarda oluşan ivme değişim grafikleri verilmiştir. Mevcut terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 9,07%g olarak hesaplanmıştır. Öneri model-1 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 9,04%g, öneri model-2 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme 3,31%g, öneri model-3 terminal bağlantı köprüsünde oluşan en yüksek ivme ise 3,32%g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.1 İzmir Adnan Menderes Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği



Şekil 6.2 Ankara Esenboğa Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği



Şekil 6.3 İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 sistem ivme değişim grafiği

6.3 Terminal Bağlantı Köprü Sistemlerinde Oluşan Düşey Yer Değiştirme Değerlerinin İrdelenmesi

Tablo 6.4'te tez kapsamında incelenen mevcut terminal bağlantı köprüleri ile öneri olarak geliştirilen model-1, model-2 ve model-3 terminal bağlantı köprü sistemlerinde oluşan düşey yer değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 6.4 Terminal bağlantı köprüleri düşey yer değiştirme kontrolü

Terminal Bağlantı Köprüleri	Düşey Yer Değiştirme Kontrolü (L/300)			
	Mevcut Sistem	Öneri Model-1	Öneri Model-2	Öneri Model-3
	Kontrplak Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kontrplak Döşeme + S355 Kalite Çelik	Kompozit Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kompozit Döşeme + S355 Kalite Çelik
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	Sistem Açıklığı (m)	46,50	46,50	46,50
	Düşey Yer Değ. (cm)	7,68	8,82	6,50
	L/300	✓	✓	✓
Ankara Esenboğa Havalimanı	Sistem Açıklığı (m)	42,20	42,20	42,20
	Düşey Yer Değ. (cm)	9,34	9,66	6,72
	L/300	✓	✓	✓
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	Sistem Açıklığı (m)	31,40	31,40	31,40
	Düşey Yer Değ. (cm)	4,10	4,02	3,17
	L/300	✓	✓	✓

Tablo 6.5’te ise İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı ve İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı mevcut terminal bağlantı köprüleri ile öneri olarak geliştirilen model-1, model-2 ve model-3 terminal bağlantı köprü strüktür sistemlerinde kullanılan yapısal çelik profil miktarlarındaki değişimleri ile köprü sistemlerinde oluşan ivmelenme (titreşim) değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 6.5 İncelenen terminal bağlantı köprülerinde kullanılan yapısal çelik profil miktarları ile yapısal sistemlerinde oluşan ivmelenme (titreşim) değişimleri

Terminal Bağlantı Köprüleri	Kullanılan Yapısal Çelik Profil Miktarı (kg)				Sistemde Oluşan İvmelenme (a ₀ /g x100)			
	Mevcut Sistem	Öneri Model-1	Öneri Model-2	Öneri Model-3	Mevcut Sistem	Öneri Model-1	Öneri Model-2	Öneri Model-3
	Kontrplak Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kontrplak Döşeme + S355 Kalite Çelik	Kompozit Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kompozit Döşeme + S355 Kalite Çelik	Kontrplak Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kontrplak Döşeme + S355 Kalite Çelik	Kompozit Döşeme + Mevcut Çelik Kalitesi	Kompozit Döşeme + S355 Kalite Çelik
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	32.967 kg	31.555 kg	45.510 kg	34.794 kg	2,58 %g	2,73 %g	1,70 %g	1,94 %g
	±%0	-%4,28	+%38,05	+%5,54	±%0	+%5,81	-%34,11	-%24,81
Ankara Esenboğa Havalimanı	17.014 kg	15.630 kg	23.882 kg	18.068 kg	4,01 %g	4,10 %g	2,55 %g	2,72 %g
	±%0	-%8,13	+%40,37	+%6,19	±%0	+%2,24	-%36,41	-%32,17
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	9.703 kg	9.323 kg	11.366 kg	11.174 kg	9,07 %g	9,04 %g	3,31 %g	3,32 %g
	±%0	-%3,92	+%17,14	+%15,16	±%0	-%0,33	-%63,51	-%63,40

- İzmir Adnan Menderes Havalimanı Terminal Bağlantı Köprü Yapısal Analiz Sonuçları:

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında; terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuş, strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %4,28'lik bir azalma gerçekleşmektedir. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %5,81'lik bir artış oluşmaktadır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-2 kapsamında; mevcut çelik kalitelerinde değişim yapılmadan sadece kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %38,05'lik bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %34,11'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen öneri model-3 kapsamında; terminal bağlantı köprü strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri S355 kalite, kontrplak döşeme sistemi ise betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %5,54'lük bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %24,81'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

- Ankara Esenboğa Havalimanı Terminal Bağlantı Köprü Yapısal Analiz Sonuçları:

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında; terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuş, strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %8,13'lük bir azalma gerçekleşmektedir. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %2,24'lük bir artış oluşmaktadır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-2 kapsamında; mevcut çelik kalitelerinde değişim yapılmadan sadece kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %40,37'lik bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %36,41'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen öneri model-3 kapsamında; terminal bağlantı köprü strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri S355 kalite, kontrplak döşeme sistemi ise betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %6,19'luk bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %32,17'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

- İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı Terminal Bağlantı Köprü Yapısal Analiz Sonuçları:

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-1 kapsamında; terminal bağlantı köprü döşeme sistemi kontrplak döşeme sistemi olarak korunmuş, strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri ise S355 kalite olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-1 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %3,92'lik bir azalma

gerçekleşmektedir. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %0,33'lük bir iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen model-2 kapsamında; mevcut çelik kalitelerinde değişim yapılmadan sadece kesit alanlarında değişim yapılarak kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-2 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %17,14'lük bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %63,51'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut terminal bağlantı köprüsüne öneri olarak geliştirilen öneri model-3 kapsamında; terminal bağlantı köprü strüktür sistemindeki çelik profil kaliteleri S355 kalite, kontrplak döşeme sistemi ise betonarme kompozit döşeme sistemi olacak şekilde sistem revize edilmiştir. Öneri olarak geliştirilen model-3 terminal bağlantı köprüsünde kullanılan çelik profil miktarında mevcut sisteme göre %15,16'lık bir artış olmaktadır. Sistemde oluşan ivmelenmede ise mevcut sisteme göre %63,40'lık bir iyileşme sağlanmıştır.

Mevcut, öneri model-1, öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprü yapısal analiz sonuçlarının incelenmesi neticesinde;

- Mevcut terminal bağlantı köprüsü ile öneri olarak geliştirilen tüm modellerde düşey yer değiştirme değerlerinin $L/300$ sınır değerini aşmadığı görülmüştür.
- Öneri model-1 terminal bağlantı köprülerinde mevcut kontrplak döşeme sistemleri korunarak sadece strüktür sistemlerindeki çelik profil kaliteleri S355 kalite olacak şekilde mevcut sistem revize edilmesi durumunda her ne kadar kullanılan çelik profil miktarı azalsa da terminal bağlantı köprülerinde oluşan ivmelenmede önemli bir iyileşme elde edilememiştir.
- Öneri model-2 ve Öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinde kontrplak döşeme sistemi yerine betonarme kompozit döşeme sistemi tercih edilmesi durumunda kullanılan çelik profil miktarlarında belirli bir artış görülse de

terminal bağlantı köprülerinde oluşan ivmelenmenin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

- Öneri model-2 ve öneri model-3 terminal bağlantı köprülerinde betonarme kompozit döşeme kullanılırken öneri model-3 terminal bağlantı köprü strüktüründe öneri model-2 terminal bağlantı köprü strüktüründen farklı olarak tüm elemanlarda S355 kalite yapısal çelik profillerin kullanılması sayesinde öneri model-2'ye göre daha az yapısal çelik profil kullanarak terminal bağlantı köprü sistemlerinde oluşan ivmelenmenin önemli ölçüde azaltılabildiği görülmüştür.

6.4 Genel Sonuç

Yapısal tasarımın temel unsurlarından dayanıklılık, estetik, konfor, fonksiyon ve maliyet hem kendi içerisinde hem de birbirleri arasında bir dengede olmak zorundadır. Dayanıklı ve sağlam olma amacı ile yapısal sistemde verilen kararlar sistemin strüktürel performansını iyileştirebilirken yapısal sistemin kullanım koşullarını veya estetik durumunu olumsuz yönde etkileyebilmekte veya maliyet kaygısı ile yapısal sistemde verilen kararlar yapının maliyetini düşürürken strüktürel açıdan yapının sağlamlığını azaltabilmektedir. Bu amaçla değişen kullanım koşulları ve ihtiyaçlara göre yapısal tasarımın tüm unsurlarına optimum seviyede denge sağlanması yapısal tasarım için oldukça önemlidir.

Havalimanları ise ulaşım yapıları arasında her geçen gün daha önemli bir konuma gelmektedir. Havalimanı yapılarında uçuş işlemleri için gerekli teknik birimlerinin yanı sıra hava yolu ulaşımını kullanan yolcuların farklı gereksinimlerini karşılayabilecek mekanlar da bulunur. Havalimanlarını tercih eden kullanıcılara hızlı ulaşımın yanında, havalimanı terminal binasına girişinden yolcu uçağına binişine kadar terminal binasında geçirdikleri süreçte konforlu bir ulaşım sağlanması istenmektedir.

Bu doğrultuda İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanlarında artan yolcu talebine bağlı olası yeni terminal

binası veya yeni terminal bağlantı köprüsü ihtiyacında; mevcut terminal bağlantı köprülerinde oluşan ivmelenmenin (titreşimin) azaltılması için terminal bağlantı köprü döşeme sisteminde betonarme kompozit döşeme, strüktür sisteminde ise yüksek kalite yapısal çelik profil tercih edilmesi doğru bir tercih olacaktır.

Ayrıca yürürlükte olan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar yönetmeliğinin “15.4 – *Düşey Titreşim Kontrolleri*” başlıklı maddesinde çelik ve çelik-betonarme kompozit döşeme sistemlerinde, düşey hareketli yükler altında titreşim hesaplarının ve konfor kontrollerinin yapılması gerekli olduğu ve düşey titreşim ivmesinin sınır değerleri, yapı elemanının kullanım koşullarına (konutlar, ofisler, alışveriş merkezleri, bina içi ve dışı yürüme yolları vb.) bağlı olarak 0.005g-0.05g arasında değiştiği belirtilmiştir.

Söz konusu yönetmelikte her ne kadar düşey titreşim sınır değerlerinde ISO 2631-2 (1989) standardı kapsamındaki temel ivme eşiği baz alınmış olsa da konutlar, ofisler, alışveriş merkezleri, bina içi ve dışı yürüme yolları gibi yapılarda yürüme, spor ve aerobik gibi insan eylemleri sırasında oluşabilecek titreşimlerin de göz önüne alındığı detaylı titreşim hesaplarının eklenmesi ve yapısal konfor koşullarının sağlanabilmesi için kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Airport Council International [ACI]. (11 Haziran 2022). *The top 10 busiest airports in the world revealed*. <https://aci.aero/2022/04/11/the-top-10-busiest-airports-in-the-world-revealed/>

Akçaer, G. (2016). *Havalimanı terminal binalarında geniş açıklık geçme sorunun sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.

Allen, D.E. ve Murray, T.M. (1993). Design Criterion for Vibrations Due to Walking. *Engineering Journal – American Institute of Steel Construction*, 30(4), 117-129.

ArcelorMittal. (26 Mayıs 2021). *Sections and Merchant Bars*. https://sections.arcelormittal.com/products_and_solutions/Product_catalogues/EN

Ashford, N.J., Mumayiz, S. ve Wright, P.H. (2011). *Airport Engineering: Planning, Design, and Development of 21st Century Airports* (4. Baskı). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Aydın, H.G. (2018). *Havalimanı terminal binalarının büyüyebilirlik bağlamında değerlendirilmesi: Gaziantep Oğuzeli havalimanı örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Hasan Kalyoncu Üniversitesi.

Aydın, M. (2020). *Yeni ve eski nesil betondan üretilmiş kompozit kirişlerin darbe kuvveti etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

BCES. (23 Nisan 2021). *Hizmet Yapıları ve AVM'ler*. <http://bc.es.com.tr/tr/hizmetyapilariveavmler/>

Bernd-Nebel. (19 Mayıs 2021). *Der Einsturz Der Tacoma Narrows Bridge*. https://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html?/bruecken/4_desaster/tacoma/tacoma.html

- Blow, C. (2005). *Transport Terminals and Modal Interchanges: Planning and Design* (1. Baskı). Oxford: Architectural Press.
- Bruno, A., Bollinger, K., Davies, J.M., Feldmann, M., Grohmann, M., Mazzolani, F.M., O’Sullivan, G., Rambert, F., Reichel, A. ve van Wyk, L. (2009). *Featuring Steel: Resources, architecture, reflections* (1. Baskı). Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- Clevenger, C.M. ve Rogers, Z. (2017). Managing Daylight in Airports. *Journal of Architecture Engineering*, 23(3), 04017006.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000245](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000245)
- Crisinel, M. ve Marimon, F. (2004). A New Simplified Method For The Design Of Composite Slabs. *Journal of Constructional Steel Research*, 60, 481 – 491.
[https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(03)00125-1)
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [CSB]. (2016). *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*. Ankara.
- Çalık, Ö. (2017). *Yapı işlerinde çalışanların titreşim maruziyetinin tespiti üzerine bir irdeleme* [Yüksek Lisans Tezi]. Üsküdar Üniversitesi.
- Çelik, F. (2021). *Sürdürülebilir havalimanı yolcu terminal binaları için ulusal ölekte bir tasarım modeli önerisi* [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]-1. (18 Mayıs 2022). *İstatistikler*.
<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]-2. (6 Mayıs 2021). *Havalimanları*.
<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/HavaLimanlari.aspx>
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi [DHMİ]-3. (2011). *Havacılık Terimleri Sözlüğü*. 8 Mayıs 2021.
<https://www.dhmi.gov.tr/Documents/HavacilikTerimleriSozlugu/DHMi-Havacilik-Terimleri-Sozlugu.pdf?csf=1&e=NZP5QB>

- Durgun, E. (2014). *Türkiye'deki havalimanı terminal bina tiplerinin mekansal dizim yöntemi ile analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Edwards, B. (2005). *The Modern Airport Terminal: New approaches to airport architecture* (2. Baskı). London & New York: Spon Press.
- Eren, Ö. (2014) *Büyük Açıklıklı Çelik Yapılar*. (1. Baskı). İstanbul: Arı Sanat Yayınevi.
- Erken, B. (2009). *Kafes kirişli portal kren ana kirişinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Google Earth Pro. (9 Mayıs 2021). <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>
- Hasol, D. (2002) *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü* (8. Baskı). İstanbul: Yem Yayın
- Haydaroglu, C., Akbas, T.T., Gumusbas, O. ve Karahasanoglu, S. (2015) *Comparison of Footfall Induced Vibration Responses of Steel Passenger Boarding Bridges with Different Floor Types*. 8th. International Symposium on Steel Bridges, İstanbul.
- Hazan Mimarlık. (9 Mayıs 2021). *Adnan Menderes Havalimanı İç Hatlar Terminali*. <http://www.hazanmimarlik.com/tr/project/adnan-menderes-havalimani-yeni-ic-hatlar-terminali>
- Horonjeff, R., McKelvey, F.X., Sproule, W.J. ve Young, S.B. (2010) *Planing and Design of Airports* (5. Baskı). New York: Mc Graw-Hill Companies.
- Işık, M.E. (2018). *Yapıların titreşim konforu açısından incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- International Air Transport Association [IATA]. (2016). *Airport Development Reference Manual, 4th Release* (10. Baskı). Montreal: International Air Transport Association.
- International Civil Aviation Organization [ICAO]-1. (7 Haziran 2022). *2021 global air passenger totals show improvement from 2020, but stil only half pre-pandemic*

levels.

<https://www.icao.int/Newsroom/Pages/2021-global-air-passenger-totals-show-improvement.aspx#:~:text=Montr%C3%A9al%2C%2017%20January%202022%20%2D%20Global,percent%20drop%20seen%20in%202020.>

International Civil Aviation Organization [ICAO]-2. (7 Haziran 2022). *Annual Reports of the Council*. <https://www.icao.int/about-icao/Pages/annual-reports.aspx>

International Civil Aviation Organization [ICAO]-3. (2016). *Annex 14, Volume-1 Aerodrome Design and Operations* (7. Baskı). International Civil Aviation Organization.

International Civil Aviation Organization [ICAO]-4. (2005). *Aerodrome Design Manual Part-2* (4. Baskı). International Civil Aviation Organization.

International Organization for Standardization [ISO]. (1989). *Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration—Part 2: Human Exposure to Continuous and Shock-Induced Vibration in Buildings (1 to 80 Hz)* (ISO Standart No. 2631-2 : 1989). <https://www.iso.org/standard/7613.html>

Istanbul Grand Airport [İGA]-1. (6 Mayıs 2021). *İstanbul Yeni Havalimanı, İnşaat, Aşamalar*. <http://iga.phtools.net/insaat-asamalar.html>

Istanbul Grand Airport [İGA]-2. (23 Nisan 2021). *Hayaldi Gerçek Oldu*. <https://www.igairport.com/hayaldi-gercek-oldu-e-kitap>

Istanbul Grand Airport [İGA]-3. (23 Nisan 2021). *Multimedya*. <https://www.igairport.com/tr/basin-merkezi/multimedya>

İlker, E. (2012). *Küçük ölçekli havalimanlarında terminal fonksiyonlarının düzenlenerek kapasitenin incelenmesi* [Doktora Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.

Kıyıldı, R. K. (2005). *Havaalanı kapasite analizine yeni bir yaklaşım* [Doktora Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.

- Kotopouleas, A. ve Nikolopoulo, M. (2018). Evaluation of Comfort Conditions in Airport Terminal Buildings. *Building and Environment*, 130, 162-178. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.031>
- Lanzen, H.K. (1966). Vibration of Steel Joist-Concrete Slab Floor. *Engineering Journal, AISC*, 3, 133-136.
- Li, W.W., Wong, C.T., Leung, M.K. ve Fung, S.C. (2011). Floor Vibration Due To Human Rhythmic Activities: Tin Shui Wai Public Library Cum Indoor Reaction Center. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.415>
- Murray, T.M., Allen, D.E. ve Ungar, E.E.(1997). *Steel Design Guide 11: Floor Vibration Due to Human Activity* (1. Baskı). American Institute of Steel Construction.
- Murray, T.M., Allen, D.E., Ungar, E.E. ve Davis, D.B. (2016). *Steel Design Guide 11: Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity* (2. Baskı). American Institute of Steel Construction.
- Murray, T.M., Ungar, E.E. ve Davis, D.B. (2018). *Facts for Steel Buildings – Vibration*. American Institute of Steel Construction.
- Naeim, F. (1991). *Design Practice to Prevent Floor Vibration*. Structural Steel Educational Council, Technical Information and Product Service. California.
- Nestçelik. (2019). *Sabiha Gökçen Havalimanı Yeni İskele Bloğu Projesi*. İstanbul: Nest Çelik Yapı Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- Neufert, P. (2000) *Neufert Yapı Tasarımı*. (35. Baskı). (G.Tercüme, Çev.) İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.
- Önal, T. (2015). *Havalimanı terminal binalarındaki strüktürel sistem gelişiminin biçime etkisi ve analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.

- Özturanlı, S.A. (2021). *Havaalanları mimarisinde esnek tasarım üzerinde bir karar verme modeli: dalaman havalimanı* [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Pan, C. ve Zhang, X. (2017) Research on Dynamic Characteristics of Boarding Bridge Under the Crowd Loads. *International Conference on Architectural Engineering and New Materials*.
<http://dx.doi.org/10.12783/dtetr/icaenm2017/7826>
- SAP2000. (2021). *Integrated Software for Structural Analysis and Design (v20.2.0)* Computers and Structures, Inc.
- Schulitz, H.C, Sobek, W., Habermann, K.J. (2000). *Steel Construction Manual* (1. Baskı). Basel-Boston-Berlin: Birkhouser.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]-1. (17 Mayıs 2022). *Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu 2021*.
<https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/kurumsal/faaliyet/2021.pdf>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]-2. (23 Nisan 2021). *Tarihçe*.
<https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]-3. (2011). *Havaalanlarında Taksi Yolları, Apronlar ve Bekleme Yerleri*. <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal-yayinlar/212-havaalanlarinda-taksi-yollari-apronlar-ve-bekleme-yerleri-icin-tasarim-kriterleri>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]-4. (2006). *Havaalanı Planlama Klavuzu 1.Bölüm: Master Planlama*. <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal-yayinlar/227-havaalanlari-master-planlama-esaslari>
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM]-5. (2009). *Havaalanı Yolcu Terminalleri Tasarım Esasları*. <http://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal-yayinlar/219-havaalani-yolcu-terminalleri-tasarim-esaslari>

STATICA. (2018). *İzmir Adnan Menderes Yeni İç Hatlar Terminali Terminal Bağlantı Köprü Projesi*. STATICA Mühendislik ve Danışmanlık Ofisi, İstanbul:

Şaşmaz, V. (2007). *Havalimanı terminallerinde büyük açıklık geçme sorununun analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.

TAV. (2019). *Ankara Esenboğa Havalimanı Terminal Bağlantı Köprü Projesi*. TAV Havalimanları Holding A.Ş., İstanbul:

TAV Airports. (12 Mayıs 2021). *Esenboğa Havalimanı, Foto Galeri*.
<http://esenbogaairport.com/tr-TR/tav-hakkinda/basin-odasi/page/foto-galeri>

Tekeli-Sisa Mimarlık. (2019). *Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı*. Tekeli-Sisa Mimarlık Ofisi, İstanbul.

Temiztepe, H. (2001). *Havaalanı terminal binalarında çelik taşıyıcılı sistemli olanların büyüye bilme olanaklarının irdelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

TESEM. (6 Mayıs 2021). *Esenboğa Havalimanı Yeni Dış Hatlar Terminal Binası*.
<http://www.tesem.com.tr/tr/airports-tr/119-esenboga-havalimani-yeni-dis-hatlar-terminal-binasi>

Türk Standartları Enstitüsü [TSE]. (1980). *Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları* (TSE Standart No. 648:1980).

<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073100102050113114085113079068057082>

Türk Standartları Enstitüsü [TSE]. (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri* (TSE Standart No. 498:1997).

<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073101055109086098043065109077081108>

Tunç, A. (2003). *Havaalanı Mühendisliği ve Uygulamaları* (1. Basım). Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

Uncuoğlu, E. (2009). *Kohezyonsuz zeminlerdeki kazıkların yatay yük ve moment etkisi altındaki davranışların analizi* [Doktora Tezi]. Çukurova Üniversitesi.

Yang, F., Chen, C., Li, Y., Li, N., Li, X., Shang, P., Li, Y., Zhang, G. ve Liu, Z. (2017). Thermal Performance Investigation on the Boarding Bridge of Beijing's Capital Airport. *Procedia Engineering*, 205, 1967-1974.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.059>

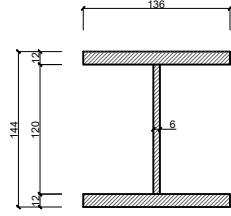
Yazıcı, S. (2013). *Mimarlıkta malzeme tabanlı bütünleşik hesaplamalı tasarım modeli* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

YEM - 219 (2013). *Projeler Yapılar 7: Ulaşım Yapıları*. (1. Basım). Ankara: YEM Yayın.

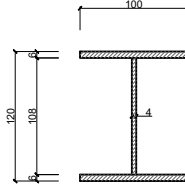
Yıldız, H. (2014). *Çelik döşeme sistemlerinde insan hareketleri etkisi ile oluşan titreşim sorunlarının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

ZM YASA. (9 Mayıs 2021). *Şantiye*.
<http://zmyasa.com/professional-works/portfolyo/santiye/>

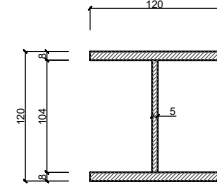
Mevcut Sistem Yapma Çelik Profil Kesit Detayları



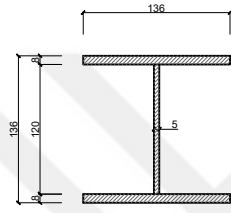
YH-ABS1A
(S355)



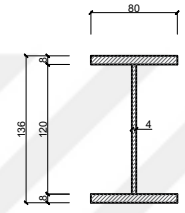
YH-ABS2
(S355)



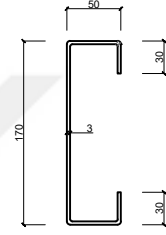
YH-ABS4
(S355)



YH-ABS1
(S355)

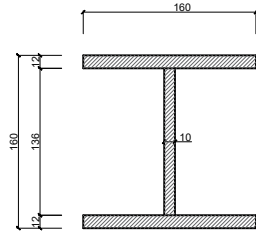


YH-ABS3
(S355)

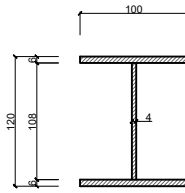


CBP - BÜKME SAC
(S235)

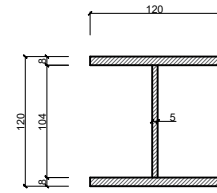
Öneri Model Yapma Çelik Profil Kesit Detayları



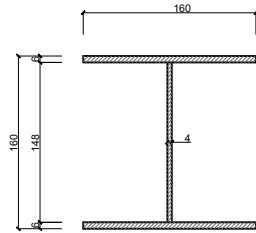
YH-ABS1A-R
(S355)



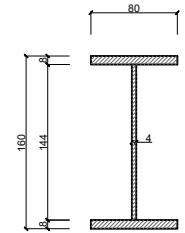
YH-ABS2
(S355)



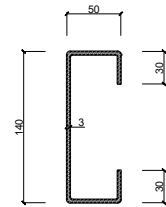
YH-ABS4
(S355)



YH-ABS1-R
(S355)



YH-ABS3-R
(S355)



CBP - BÜKME SAC-R
(S355)