

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UÇAK PORTATİF SİĞINAK SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

İnş. Müh. Ahmet BAYIR

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UÇAK PORTATİF SİĞINAK SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE
OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI**

İnş. Müh. Ahmet BAYIR

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 24/09/2009 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı /
başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON

Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mete Onur KAMAN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÜR

“Uçak Portatif Sığınak Sistemlerinin Analizi ve Optimum Boyutlandırılması” başlıklı tezimin hazırlanmasında ve tamamlanmasında; akademik tecrübesinden ve bilgi birikiminden faydalandığım, ilgisini ve yardımını her aşamada gördüğüm değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Muhammet KARATON ‘a ve İnşaat Mühendisliği Bölümü hocaları ile manevi desteklerini her zaman hissettiğim aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet BAYIR
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER.....	I-II-III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV-V
ÇİZELGELER(TABLOLAR) LİSTESİ	VI
EKLER LİSTESİ	VI
SİMGELER LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1.GİRİŞ.....	1
2.PORTATİF UÇAK SIĞINAKLARI.....	3
2.1.Portatif Uçak Sığınak Sistemlerinin Avantajları.....	5
2.2.Portatif Uçak Sığınaklarının Dezavantajları.....	7
3. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN TASARIMI	8
3.1 Kapalı enkesitli Profiller.....	8
3.2 Boru Profil Konstrüksiyonların Tasarım Özellikleri.....	8
3.3. Boru Profillerin İmalatında Kullanılan Bazı Yöntemler.....	8
3.3.1 Kesim.....	10
3.3.2 Yassılaştırma.....	11
3.3.2.1 Konik Uçlu Yassılaştırma.....	11
3.3.2.2 Tam Yassılaştırma.....	11
3.3.2.3 Kısmi Yassılaştırma.....	11
3.3.3 Bükme.....	12
3.3.3.1 Presleyerek Soğuk Bükme.....	12
3.3.3.2 Biçimlendirme Kutusu (Former box) ile Bükme.....	13
3.3.3.3 Merdaneli Sistemler İle Bükme.....	13

3.4 Boyutlandırma Ve Hesaplar	14
3.4.1 Enkesit Sınıflandırılması.....	14
3.4.1.1 Plastik-Plastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 1).....	14
3.4.1.2 Elastik-Plastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 2).....	14
3.4.1.3 Elastik-Elastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 3).....	14
3.4.1.4 Elastik-Elastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 4).....	15
3.4.2 Eksenel Basınç Altındaki Elemanlar.....	15
3.5 Portatif Uçak Sığınaklarında Kullanılan Çelik Sınıfları ve Malzeme Özellikleri.....	19
3.5.1. Boru ve Kutu Profiller.....	19
3.5.2. Taşıma Gücü Sınır Durumu.....	20
3.5.3. Kullanma Sınır Durumu.....	20
4. PORTATİF UÇAK SIĞINAKLARININ SAYISAL MODELLEMESİ.....	22
4.1.Kafes Sistemler.....	22
4.2. Kafes Sistemlerin Sonlu Eleman Analizi.....	22
4.3 Düzlem Kafesler.....	23
4.3.1.Lokal ve Global Koordinat eksen Takımı.....	23
4.3.2.Tranformasyon (dönüşüm)Matrisinin Elde Edilmesi.....	25
4.3.3.Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi.....	25
4.3.4.Gerilmenin hesaplanması.....	26
5. BİR F-16 SAVAŞ UÇAĞI İÇİN PORTATİF SIĞINAK TASARIMI	28
5.1 Yük Analizi.....	31
5.2 Rüzgar Yüğü Hesabı.....	31
5.3 Deprem Yüğü Hesabı(Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi).....	34
5.4 Burkulma hesabı.....	36
5.5 Kaynak Hesabı.....	38
5.6 Kenar Kolon Ayakları Hesabı.....	38

5.6.1 Çekme Hesabı.....	39
5.6.2 Levhanın Ezilme (Basınç) Hesabı.....	41
5.7 Portatif Uçak Sığınağının Monte ve Sökme Kısımları.....	42
6.SONUÇ.....	43
7.KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	45
EKLER.....	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Tipik Bir Portatif Uçak Sığınak Tipi.....	3
Şekil 2.2	Portatif Sığınakta Uçağın Bakımı.....	3
Şekil 2.3	Bir Gemi Tersanesi/ A.B.D.....	4
Şekil 2.4	Trafik Kontrol Noktası/A.B.D.....	4
Şekil 2.5	(Edwards Hava üssü/A.B.D).....	5
Şekil 2.6	(Arizona Hava Üssü /A.B.D).....	5
Şekil 2.7	(C130 Tipi Uçak için Portatif Sığınak/IRAK).....	5
Şekil 2.8	Portatif Sığınakların İklim Şartlarından Koruması.....	6
Şekil 2.9	Portatif Sığınak İmalat Aşamaları.....	6
Şekil 2.10	Portatif Sığınak Nakil İşlemi.....	6
Şekil 2.11	Membran Örtüsü.....	7
Şekil 3.1	Boru Birleşim Tipleri.....	9
Şekil 3.2	Yassılaştırma Tipleri.....	11
Şekil 3.3	Çelik Elemanın Bükülmesi.....	12
Şekil 3.4	Presleyerek Soğuk Bükme.....	13
Şekil 3.5	Former box (Biçimlendirme Kutusu) ile Bükme.....	13
Şekil 3.6	Merdaneli Sistemler İle Bükme.....	14
Şekil 3.7	Avrupa Burkulma Eğrileri.....	16
Şekil 3.8	Basınç Emniyet Gerilmesi.....	17
Şekil 4.1	Kafes Sistem Örnekleri.....	22
Şekil 11.1	Kafes sistemler.....	23
Şekil 4.3.a	Kafes sistem Sonlu Elemanında Lokal Koordinat Eksen Takımı.....	24
Şekil 4.3.b	Kafes sistem Sonlu Elemanında Global Koordinat Eksen Takımı.....	24
Şekil 4.4	Doğrultman Kosinüsleri.....	25

Şekil 5.1	Tasarlanan Portatif Sığınağın 3 Boyutlu Görünümü.....	28
Şekil 5.2	Çubuk Elemanların Sonlu Eleman Numaraları.....	29
Şekil 5.3.a	Tasarlanan Portatif Sığınağın Esas Taşıyıcı Sistemi.....	30
Şekil 5.3.b	Tasarlanan Portatif Sığınağın A-A Kesiti.....	30
Şekil 5.3.b	Tasarlanan Portatif Sığınağın B-B Kesiti.....	30
Şekil 5.4	Rüzgar Yüğü Hesabında Kullanılan Çubuk Elemanlar.....	32
Şekil 5.5	Üst Başlık Çubuk Elemanlarının Yatayla Yaptıkları Açılar.....	32
Şekil 5.6	İçsel Normal Kuvvet Diyagramı	33
Şekil 5.7	Burkulma Hesabında Kullanılan Çubuk Elemanlar.....	36
Şekil 5.8	Kaynak Hesabı Yapılan Düğüm Noktası.....	38
Şekil 5.9.a	Kolon Ayakları.....	39
Şekil 5.9.b	Bulon Aralıkları Standartları.....	39
Şekil 5.9.c	Tasarlanan Bulon Aralıkları.....	39
Şekil 5.10	COMB 5 için Elemanlardaki Çekme Kuvveti Değeri.....	40
Şekil 5.11	COMB 9 için Elemanlardaki Ezilme Kuvveti Değeri.....	41
Şekil 5.12	Portatif Uçak Sığınağının 4 Parçası.....	42
Şekil 5.13	Parçaların Birbirine Montaj Şekli.....	42

ÇİZELGELER (TABLOLAR) LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1	Çeşitli Ülkelere Göre Boru kesitlerde max. d/t oranları.....	10
Tablo 3.2	Boru kesitlerde sınır d/t oranları.....	15
Tablo 3.3	Boru kesitlerde sınır d/t oranları.....	18
Tablo 3.4	Yapısal Çeliğin Fiziksel özellikleri.....	19
Tablo 3.5	Çelik Sınıfları İçin Mekanik Özellikler (TS 648).....	19
Tablo 5.1	Sisteme Etkiyen Yük Kombinasyonları.....	31
Tablo 5.2	Üst Başlık Çubuklara Etkiyen Yükler.....	33
Tablo 5.3	Bulon Çelik Sınıflarına Göre Malzeme Özellikleri.....	39
Tablo 5.4	Tasarlanan Portatif Sığınağın 4 Parçasına ait Ağırlıklar.....	42

EKLER LİSTESİ

EK-1	Enkesit Şartları (DBYBHY).....	46
------	--------------------------------	----

SİMGELER LİSTESİ

P :	Kuvvet
A :	Malzeme Kesit Alanı
$A(T)$:	Spektral İvme Katsayısı
A_0 :	Etkin yer İvmesi Katsayısı
d_{fi} :	Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüküne göre hesaplanan yer değiştirme
d_i :	Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
E :	Elastisite Modülü
F_{fi} :	Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkileyen fiktif yük
F_i :	Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde i'inci kata etkileyen eşdeğer deprem yükü
F_y :	Çeliğin akma dayanımı
g_i :	Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
H_i :	Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N :	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
I :	Bina Önem Katsayısı
i_x, i_y :	x ve y eksenlerine ait atalet yarıçapları
k :	Global Koordinat Eksen Takımındaki Eleman Rijitlik Matrisi
k' :	Lokal Koordinat Eksen Takımındaki Eleman Rijitlik Matrisi
L :	Transformasyon (dönüşüm) Matrisi
l :	Uzunluk
m_i :	Binanın i'inci katının kütlesi
n :	Hareketli Yük katılım Katsayısı
Q :	Kafes Sistemde Serbestlik Derecesi
q :	Global Koordinat Eksen Takımındaki Yer Değiştirme
q' :	Lokal Koordinat Eksen Takımındaki Yer Değiştirme
$S_{kx} S_{ky}$:	x-x ve y-y asal eksenlerine dik düzlemde burkulma boyu
Ue :	Şekil Değiştirme Enerjisi
σ :	Gerilme

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UÇAK PORTATİF SIĞINAK SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Ahmet BAYIR

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa : 46

Bu tez çalışmasında özellikle askeri tipler olmak üzere uçaklar için portatif sığınak sistemleri uygulamaları, bu sistemlerin avantajları ve dezavantajları, örnek bir portatif sığınakın optimum boyutlandırılması ve statik analizi ele alınmıştır. Çok yüksek maliyetlerle üretilen araç ve teçhizatların etkinliğinin geliştirilmesinin yanı sıra korunmalarının ve bakımlarının da uygun şartlarda yapılması gerekir. Bu amaçla, geçmişte inşa edilen, yapım süresi ve maliyeti yüksek hantal yapılar yerine, daha hızlı imal edilebilen ve gerektiğinde kolay taşınabilir sistem ihtiyacı doğmuştur.

Geniş çalışma alanları sağlaması, ekonomik olmaları ve imalat sürelerinin kısa olması sebebiyle hızla yayılmakta olan portatif sığınak sistemleri hakkında genel bilgi verilmesi ve ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Portatif sığınak, Boru profil, Stabilité, Sonlu eleman, Optimum boyutlandırma, Yük analizi,

ABSTRACT
Master's Thesis

**THE ANALYSIS AND OPTIMUM DESIGN OF PORTABLE
SHELTER SYSTEMS FOR AIRCRAFT**

Ahmet BAYIR

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Civil Engineering

2009, Page: 46

In this thesis research, especially military types and other applications of portable shelter system for aircraft, their advantages/disadvantages, and one sample of portable shelter system's optimum dimensions and analysis were investigated. Besides the improvement of effectiveness of every kind of vehicles, equipments and tools which are produced by too much cost, their protections and maintenance should be done in proper conditions as well. For this purpose; instead of heavy constructions which were built in the past and highly cost, the need of system that is produced faster and when needed, easily transportable has been revealed.

Because of to prove large working area, to be economical and to construct in the short time, the Portable shelter systems are spread out speedily. It has been purposed to give in general knowledge's and to be support researches and workings about portable shelter systems which will be done in the future.

Keywords: Portable shelter, Pipe type profile, Stability, Finite element, Optimum design, Load analysis

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hızlı gelişimine paralel olarak pek çok alanda olduğu gibi gelişmiş ülkelerin hava ve yer savunma sistemlerinde de hızlı değişimler olmuştur.

Çok yüksek maliyetlerle üretilen her türlü makine, teçhizat ve araçların, işlevselliğinin, etkinliğinin geliştirilmesinin yanı sıra, büyük öneme sahip bu tür ürünlerin korunmasının ve bakımlarının da uygun şartlarda yaptırılmasının gerekliliği açıktır. Ancak bu tür hizmetlerin idamesine yönelik yapı (sistem) ihtiyacı, kullanım amacına ve yerine göre çeşitlilik arz etmektedir. Bu amaçlarla, geçmişte inşa edilen inşaat süresi ve maliyeti fazla olan hantal yapılar yerine, daha seri imal edilebilen; hafif, sağlam ve güvenilir, gerektiğinde kolayca taşınabilir modüler -prefabrik-portatif yapılar (sistem) ihtiyacı doğmuştur.

Günümüzde ön üretim olarak da adlandırılan bu sistemlere göre; bina taşıyıcı elemanları, bölme ve örtü elemanları, fabrika ve atölyelerde standart elemanlar/modüller olarak üretilmekte ve bunlar yapım yerlerine nakledilerek öngörülen düzende birleştirilip hızlı bir şekilde yapı oluşturulmaktadır.

Hafif ön üretimli çelik taşıyıcı yapıların XIX. Yüzyılda, sanayi ülkeleri olarak en büyük atılımı yapmış olan İngiltere ve Almanya'da kullanılmış olduğu bilinmektedir. Özellikle İngiltere'de XIX. Yüzyılda kömür bölgeleri çevresinde hızla gelişen sanayinin bina ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmış ilk ön üretimli çelik ve karkas hangar ve barakalar bugünkü hafif-modüler-portatif yapı anlayışımıza tam olarak uymamakla beraber, ön üretimli olmaları nedeni ile hafif ön üretimli yapılar fikrinin başlangıcını oluşturdukları düşünülebilir[1].

Birinci Dünya savaşı sırasında teknoloji bakımından biraz daha ilerleyen, büyük kuvvetlerin hızlı hareketini ve ikmal ihtiyaçlarını gündeme getiren savaş etkinliği, bir anlamda bugünkü anlayışımıza çok yakın hafif ön üretimli portatif yapıların gelişiminin de başlangıcı olmuştur. Silahlı kuvvetlerin etkin bir rol aldığı hafif yapıların gelişimi İkinci Dünya savaşı ve Kore savaşında da sürdü. Büyük ölçüde motorlu, teknik donanımlı ABD kuvvetleri ve benzer şekilde donatılmış Alman kuvvetleri savaş güçlerini; birliklerini hızla taşıyıp belirli stratejik ve taktik noktalara hızlı bir şekilde konuşlanıp etkinlik kazanma kapasitelerine borçluydular.

Yukarıda belirtilen ihtiyaçlar ve amaçlar doğrultusunda alışlagelmiş çadırlı ordugâhlar gittikçe daha az çadır ve daha çok hafif ön üretimli yapılar içermeye başladı. Daha sonra Kore savaşı sırasında da gelişimini sürdüren bu sistem teknolojilerinin ürünü olan Butler, Nissen, Romney, Acomal v.b. barakalar bugün hala bazı silahlı kuvvetlerde kullanılmaktadır[1].

Sonuç olarak belirli amaç ve ihtiyaçlar doğrultusunda hafif ön üretimli yapılar olarak portatif tiplerde araç, teçhizat, malzeme depoları, garaj, şantiye binaları v.b. imal edilmiştir. Son yıllarda özellikle askeri tipler başta olmak üzere muhtelif uçaklar için de portatif sığınak

sistemleri uygulamaları, geniş çalışma alanları sağlaması, inşa edilmesinin hızlı ve ekonomik olmaları sebebiyle hızla yayılmaktadır.

Bu tezde, tasarlanan bir portatif uçak sığınağı, sonlu elemanlar yöntemine göre analiz edilmiştir. Çözümler için, SAP 2000 paket programı kullanılmıştır. Ülkemizde bu yönde alt yapı sağlayacak her hangi bir çalışmaya rastlanmadığı için bu çalışma ileride ekonomik yönden karşılaştırmalı olarak yapılacak bir çalışmaya temel teşkil etmekte olup yapılacak portatif yapı teknolojisine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. PORTATİF UÇAK SIĞINAKLARI

Bilindiği gibi havacılık sanayisinde kullanılan uçak, araç ve yer destek teçhizatlarının maliyetleri oldukça yüksektir. Yüksek maliyetli ve kritik görevlerde kullanılan bu ürünlerin doğal olarak bakımlarının en üst seviyede tekniğine uygun bir şekilde yapılması ve dış etkilerden mümkün olduğunca korunmaları gerekir.

Genellikle uçakların uçuş öncesi ve uçuş sonrası detaylı-kapsamlı bakımları ve onarımları uçak bakım hangarlarında yapılmaktadır. Bunun yanında uçak sığınakları da uçakların bakım ve kontrollerinin yapıldığı, korunduğu, uçuş faaliyetlerinin olmadığı zamanlarda uçakların park halinde bekletildiği hizmet alanlarıdır. Ülkelerin, gelişen teknolojilerle beraber hava savunma güçlerini arttırmaya yönelik en önemli hamleleri, uçak tiplerini modernize etmek, yeni uçak tiplerini üretmek veya tedarik etmek ve uçak sayılarını arttırmak şeklinde olmuştur. Doğal olarak da artan uçak sayısının yeterli hangar veya sığınaklara desteklenmesi gerekmektedir. Geleneksel uçak sığınaklarının inşa sürelerinin uzun olması ve kurumlar veya firmalar açısından çok yüksek maliyetli sistemler içermesi, yeni çözümler arayışına sebep olmuştur. Bunların sonucu olarak hızlı ve ekonomik olarak inşa edilebilen portatif sığınaklar tercih edilmiştir (Şekil 2.1 ve 2.2).



Şekil 2.1. Tipik bir portatif uçak sığınağı.



Şekil 2.2. Portatif sığınakta uçağın bakımı.

Gelişmiş ülkelerde son yıllarda portatif sığınaklarla ilgili çok geniş çalışmalar ve uygulamalar yapıldığı görülmektedir. Bu tür portatif çelik yapılar sadece uçaklar için değil aynı zamanda limanlar, trafik kontrol noktaları, kapalı spor salonları ve havuz yapımı, v.b. için de kullanılmıştır.

Portatif sığınak v.b. imalatların yaygın olarak görüldüğü ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) gelmektedir. A.B.D. hava üslerine portatif sığınak yapmakla kalmayıp hem intikal ettiği ülkelerde kendi uçakları için hem de muhtelif ülkelerin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde üretimler ve uygulamalar geliştirmiştir. Bunlardan bazıları aşağıdaki şekillerde görülmektedir (Şekil.2.3-2.7).



Şekil 2.3. Bir gemi tersanesi/ A.B.D



Şekil 2.4. Trafik kontrol noktası/A.B.D.



Şekil 2.5 Edwards hava üssü/A.B.D.



Şekil 2.6 Arizona hava üssü /A.B.D.



Şekil 2.7 C130 Tipi Uçak için Portatif Sığınak/IRAK.

2.1. Portatif Uçak Sığınak Sistemlerinin Avantajları

Portatif sığınaklar öncelikle, uçakların iklim şartlarından etkilenmemesi için tasarlanmıştır. Bunun sonucu olarak da uçakları güneşin zararlı ışınlarından, yağmur, kar ve tozlardan koruyup sıcak havalarda hava dolaşımına imkân vermektedir [17].



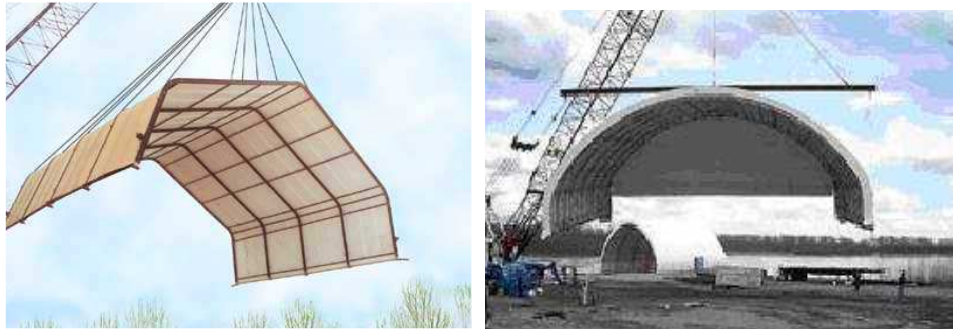
Şekil 2.8. Portatif sığınakların iklim şartlarından korunması.

Proje yönetimlerinde zaman konusunun en az maliyet kadar önem arz ettiği hatta bazen çok kritik işlerde maliyetin de önüne geçtiği bilinmektedir. Bu sistemlerin en önemli avantajlarından birisi de çok seri bir şekilde kolaylıkla inşa edilebilmesidir. Galvanizli çelik parçalar yapım evresinde birbirine kilitlenerek-cıvatalarla birleştirilmekte, böylece hem uzun, hem de pahalı olan kaynak işlemi tümüyle devreden çıkmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Portatif sığınak imalat aşamaları.

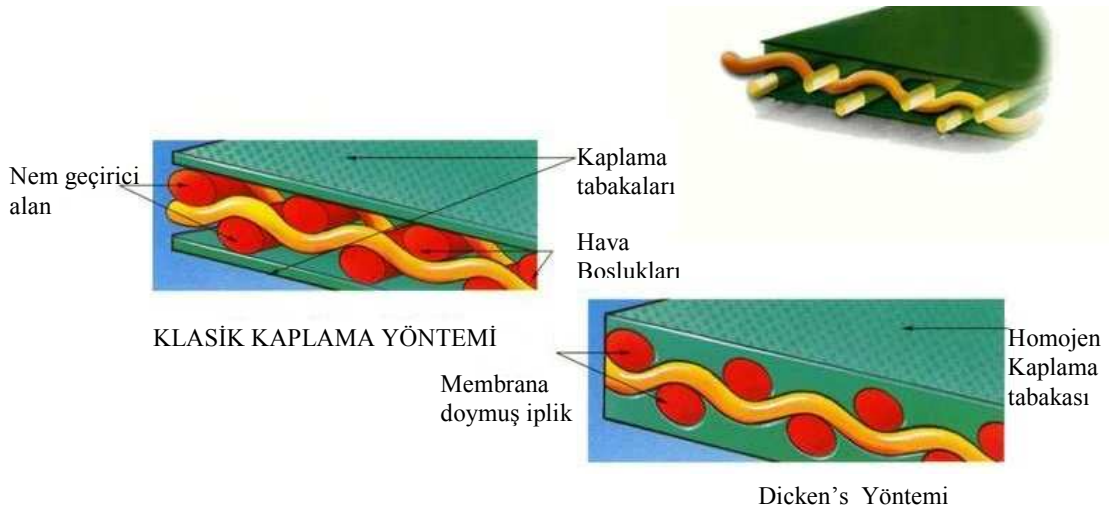
İstenildiği takdirde portatif sığınak sistemine aydınlatma sistemi ilave edilerek geceleri kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Aynı zamanda, inşaatı tamamlanmış bir sistemin daha sonradan büyütme veya küçültme imkânı sağlamaktadır.



Şekil 2.10 Portatif sığınak nakil işlemi.

Elektrikli veya elle çalışabilen kapı ilavesi yapılabilir. Portatif sığınak sistemleri galvanizli çelik parçaların civatalarla birleştirilmesinden meydana geldiğinden istenildiği zaman kolayca demontajı yapılarak bir başka inşaat sahasına götürülüp yeniden kurulabilir. Bu taşıma işlemi bazı tipler için tüm portatif sığınak üzerinde uygulanabilir (Şekil 2.10).

Özellikle germe membran çatı örtüleri; ateşe dayanıklı, ultra viyole ışınlarına ve küflenmeye karşı akrilik bir üst-tabaka ile kaplandığı için dış çevreden gelebilecek zararlı etkileri minimuma indirmektedir. Uzun süre çevresel etkilere dayanabilecek nitelikte tasarlanırlar (Şekil 11).



2.2. Portatif Uçak Sığınak Sistemlerinin Dezavantajları

Geleneksel sığınaklar herhangi bir saldırı ve savaş esnasında uçakların bomba tesirlerinden kolayca etkilenmeden korunabilecek tarzda tasarlanmıştır. Ancak portatif sığınaklar, uçakları iklimin olumsuz şartlarından korumak amacı ile tasarlanıp inşa edildiklerinden savaş esnasında sadece kaplamasının rengiyle kamuflaj (gizleme) özelliği sağlamaktadır. Herhangi bir saldırı sırasında geleneksel sığınaklar gibi uçakları koruma özelliği bulunmamaktadır.

3. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN TASARIMI

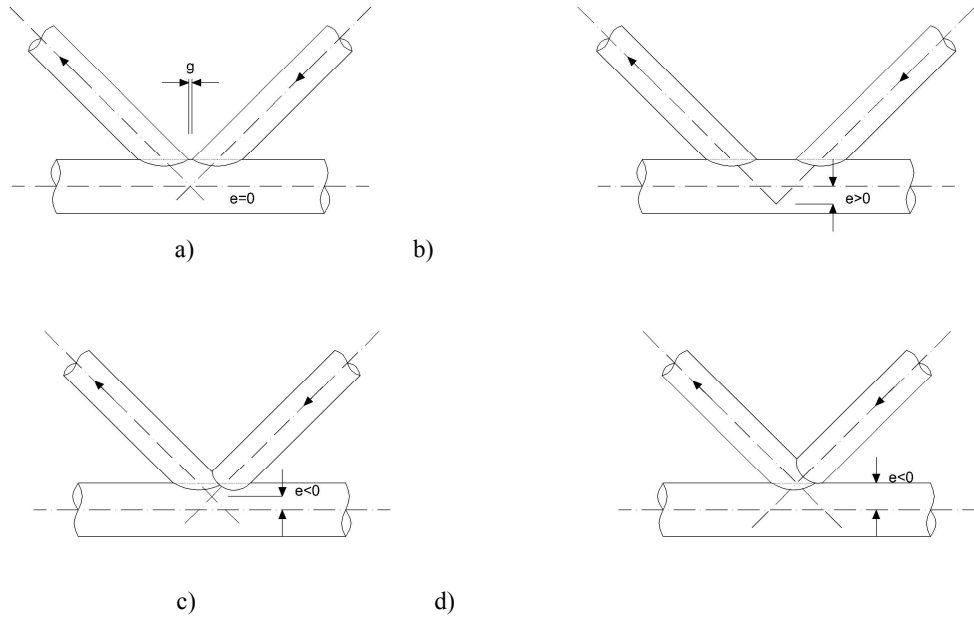
3.1 Kapalı Enkesitli Profiller

Genel olarak kapalı enkesitlere sahip boru ve kutu profillerle yapılan imalatlar, birim fiyat açısından dezavantajlı olmasına rağmen açık enkesit ile yapılan imalatlarla mukayese edildiklerinde daha hafif konstrüksiyonlar imal edilmesi, daha az köşeye ve yüzey alanına sahip olmasından dolayı hem korozyona karşı daha dayanıklı olmakta hem de boya işçiliğinin az olmasından maliyet açısından daha avantajlı olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bir portatif sığınağın üzerine gelebilecek dış etkiler dikkate alınarak boru profil kullanılıp tasarlanması yapılmıştır.

3.2 Boru Profil Konstrüksiyonların Tasarım Özellikleri

Tasarım; mukavemet, stabilite, imalat ve işletme ekonomisi koşulları gibi faktörlerle ilişkili olduğundan bunların dikkatle incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Boru profillerden teşkil edilen kafes sistemlerin birbirine mafsallı bağlı elemanlardan oluştuğu kabul edilebilir. Birleşimin yeterli derecede dönme kapasitesine sahip olduğu kabulüyle, ikinci derece momentler ihmal edilebilir [11]. Bu durum bazı eksantriste oranlarına uyulduğu zaman geçerli olacaktır. Genelde elemanlar ağırlık merkezlerine denk gelecek şekilde yerleştirilmektedir. Fakat imalat kolaylığı açısından bazen birleşimde belli bir miktarda dışmerkezliğe izin verilebilmektedir. Bu dışmerkezlik $-0.55 \leq e \leq d_0 \times (0.25)$ aralığında kaldığı sürece birleşimde ve çekme altındaki başlık elemanında oluşacak ilave momentler ihmal edilebilir (Şekil 3). Burada d_0 başlık elemanının çapıdır. Ancak basınca maruz başlık elemanları bu dışmerkezlikten doğacak momenti karşılayacak şekilde kolon-kiriş esasına göre boyutlandırılmalıdır. Birleşimde oluşabilecek ikinci derece momentler, elemanların et kalınlıklarının belirli sınırların üzerinde seçilmesi suretiyle (özellikle basınç elemanları) ihmal edilebilecektir [11]. Şekil 3.a ve 3.b' de görülen birleşim tipi boşluklu birleşim olup Şekil 3.c ve 3.d' de ki birleşimler ise sırasıyla kısmi bindirmeli ve tam bindirmeli olarak adlandırılmaktadır. Burada, Şekil 3.a ve 3.b' de görülen boşluklu birleşim, kısmi bindirmeli birleşime göre imalatta, eleman uç hazırlığının basitliği açısından tercih edilmektedir [11]. Ancak Şekil 3.d' de görülen tam bindirmeli birleşim, boşluklu birleşimlere göre hemen hemen aynı imalat kolaylığına sahip olup daha iyi davranış göstermektedir [11]. Burada(Şekil 3.a) “g” mesafesi iki örgü eleman yüzü arasında kaynaklar hariç boşluk mesafesini göstermektedir.



Şekil 3.1 Boru birleşim tipleri.

Genelde kafes elemanların, ağırlıkça % 50' si basınca çalışan başlık elemanlarından, % 30' u çekmeye çalışan başlık elemanlarından, % 20'si ise örgü (dikme veya diyagonal) elemanlardan meydana gelmektedir. Bu değerlendirmeye göre basınca çalışan elemanların et kalınlıkları üzerinde yapılacak optimizasyonlar önemli ölçüde malzeme ekonomisi sağlayacaktır [11]. Burada; d_0 başlık elemanının çapını ve t_0 ise başlık elemanının et kalınlığını göstermek üzere, d_0/t_0 oranı azaldıkça ve başlık elemanının kalınlığının örgü elemanı kalınlığına oranı (t_0/t_i) arttıkça birleşimin mukavemeti artmaktadır. Sonuç olarak, d_0/t_0 oranı seçimi, birleşimin taşıma gücü ve elemanın burkulma yükü arasında yapılacak bir optimizasyona göre belirlenir. Böylece, basınç altındaki başlık elemanları genelde tıknaz olarak seçilmekte olup çekmeye çalışan başlık elemanlarında ise d_0/t_0 oranı mümkün olduğunca küçük değerli kesitler tercih edilmektedir.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}; f_y(\text{MPa}) \quad (3.1)$$

Burada, f_y çeliğin akma dayanımını göstermek üzere ε değerine bağlı olarak çeşitli ülkelerin standartlarda maksimum, taşıma yükü, plastik ve akma sınırları Tablo 3'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, eğilme etkisinde olmayan elemanlar için sınır narinlik oranındaki farklar yaklaşık % 10'u geçmezken eğilme etkisindeki elemanlar için ise sınır narinlik oranlarında büyük farklılıklar görülmektedir (özellikle, AISC 1986, ABD).

Birleşimin taşıma gücü verimi (birleşimin taşıma gücü/örgü elemanı taşıma gücü) başlık elemanı et kalınlığının örgü elemanına oranına bağlı olduğundan, bu oran yüksek seçilmelidir. Birleşimin taşıma gücü, aynı zamanda, birleşime giren başlık elemanının akma gerilmesi ile de bağlı olduğundan bu elemanlarda yüksek mukavemetli çelik kullanımı daha ekonomik sonuçlar verebilir [11].

Tablo.3.1 Çeşitli ülkelere göre boru kesitlerde max. d_o/t_o oranları.

Ülke	Standart	Eksenel Yük	Eğilme	
			Plastik sınır	Akma sınırı
Avustralya	ASDR 87 164	$98.8 \epsilon^2$	$76.5 \epsilon^2$	$129.7 \epsilon^2$
Belçika	NBN B51-002 (08.88)	$100 \epsilon^2$	$70 \epsilon^2$	$100 \epsilon^2$
Kanada	CAN/CSA S 16.1-M89	$97.9 \epsilon^2$	$76.7 \epsilon^2$	$97.9 \epsilon^2$
Almanya	DIN 18 800, Part 1(11.90)	$90 \epsilon^2$	$70 \epsilon^2$	$90 \epsilon^2$
Japonya	AIJ 80	$100 \epsilon^2$	-	$100 \epsilon^2$
Hollanda	NEN 6770, PUBL. DRAFT(08.89)	$100 \epsilon^2$	$70 \epsilon^2$	$100 \epsilon^2$
İngiltere	BS 5950, Bölüm 1 (1985)	$93.6 \epsilon^2$	$66.7 \epsilon^2$	$93.6 \epsilon^2$
ABD	AISC/LRFD (1986)	$96.8 \epsilon^2$	$61.8 \epsilon^2$	$268 \epsilon^2$
Avrupa Birliği	Eurocode 3[1]	$90 \epsilon^2$	$70 \epsilon^2$	$90 \epsilon^2$

3.3. Boru Profillerin İmalatında Kullanılan Bazı Yöntemler

Herhangi bir yapı tasarlarken genellikle en önemli konu maliyettir. Maliyeti etkileyen en önemli unsurların başında ise imalat aşaması gelmektedir. İmalat aşamasında; kesme, kaynaklama, uç hazırlama, giderlerinin asgariye indirilmesi ve piyasadaki standart profil ölçülerinin dikkate alınarak eklerin azaltılması gibi özellikler maliyeti azaltacak önemli konulardır.

3.3.1 Kesim

Kesim işlemine, elemanların uç hazırlığı ile yapının imalatına başlanılan ilk adım diyebiliriz. Oksijenli ve testere ile kesim olmak üzere genelde iki tip kesim vardır. Son yıllarda lazer kesimi de önem kazanmıştır. Lazer kesim yöntemi, oksijenli kesim ile hemen hemen aynıdır. Ancak kesim aleti olarak oksijen yerine lazer demeti kullanılmaktadır [10].

Kesme yöntemi olarak “düz kesim”, “açılı kesim”, “konik uçlu kesim”, ve “profil kesim” gibi yöntemler eleman uç hazırlama yöntemleridir.

3.3.2 Yassılaştırma

Yassılaştırma işlemi, özellikle küçük inşaatlarda, pahalı, karmaşık kesim ve kaynak işlemlerinden kaçınmak için ve elemanların uç hazırlanmasını yapan donanımın bulunmadığı zamanlarda, eleman uçları yassılaştırılarak birleşim işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.2).

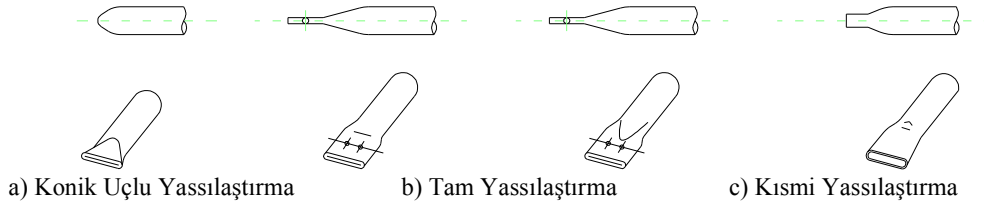
Yassılaştırma işlemi, sıcak veya soğuk durumlarda yapılabilmektedir. Ancak daha ekonomik ve pratik olması sebebiyle genelde soğuk yassılaştırma tercih edilmektedir. Dört çeşit yassılaştırma yöntemi vardır.

3.3.2.1 Konik uçlu yassılaştırma

Yassılaştırma tipleri içinde en ekonomik ve pratik olan yöntemdir. Kesme ve yassılaştırma işlemi tek seferde yapılabilmektedir (Şekil 3.2.a).

3.3.2.2 Tam yassılaştırma

Önceden hazırlanmış olan belli bir kalıp ile gerçekleştirilmektedir. Eleman ucu hazırlandığı zaman çatlaklardan kaçınmak için önceden hazırlanmış kalıp köşeleri yuvarlatılmalıdır. Yassılaştırılmış yüzey ve orijinal boru arasında kalan geçiş uzunluğu “ l ” ise bu uzunluk, $1.2d \leq l \leq 1.5d$ aralığında veya daha uzun yassılaştırma istendiğinde $1.7d \leq l \leq 2.2d$ aralığında olmalıdır. Burada d , yassılaştırılacak elemanın çapını göstermektedir (Şekil 3.2.b).



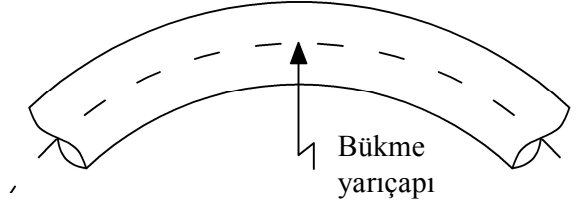
Şekil 3.2 Yassılaştırma Tipleri.

3.3.2.3 Kısmi yassılaştırma

Bu tip yassılaştırma işlemi daha çok sonradan kaynakla birleştirilecek elemanlar için uygulanmaktadır. Yassılaştırılan elemanın iki paralel yüzü arasına bir parça yerleştirilmesi ile yassılaştırmayı sağlayan pres makinesinin vuruş darbe sayısının azaltılması suretiyle kontrol altında tutulup (Şekil 3.2.c) kısmi yassılaştırma işlemi yapılmaktadır.

3.3.3 Bükme

Yassılaştırma işleminde olduğu gibi bükme işlemi de sıcak veya soğuk durumlarda yapılabilir. Maliyetler göz önüne alındığında genellikle soğuk bükme tercih edilmektedir [10].



Şekil 3.3 Çelik elemanın bükülmesi.

Kutu ve boru profillerin bükülmesi malzemenin,

- Çelik sınıfının akma sınırına, (akma sınırı ne kadar küçük olursa, bükülme o kadar kolay olmaktadır),
- Uzama oranına, (bükme işleminde yeterli kopma uzama oranı önemli rol oynamaktadır),
- Malzemenin ince mikro yapısına (bu yapı bükülme işlemini kolaylaştırmaktadır),

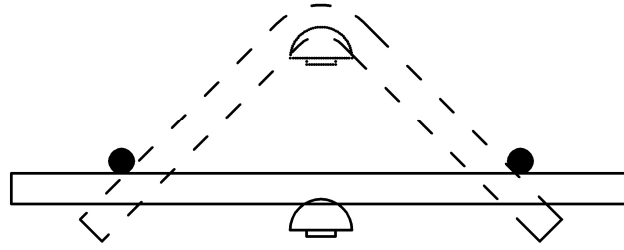
- $\frac{d_{pr}}{t_{pr}}$ veya $\frac{b_{pr}}{t_{pr}}$

- $\frac{R_{bükme}}{d_{pr}}$ veya $\frac{R_{bükme}}{b_{pr}}$

geometrik özelliklerine bağlıdır [10]. Burada, d_{pr} ve b_{pr} sırasıyla daire kesitli profilin çapını ve kutu kesitli profilin yüksekliğini göstermektedir. t_{pr} , daire veya dikdörtgen kesitli profilin et kalınlığını ifade etmektedir. $R_{bükme}$, ise bükme yarıçapını belirtmektedir.

3.3.3.1 Presleyerek soğuk bükme

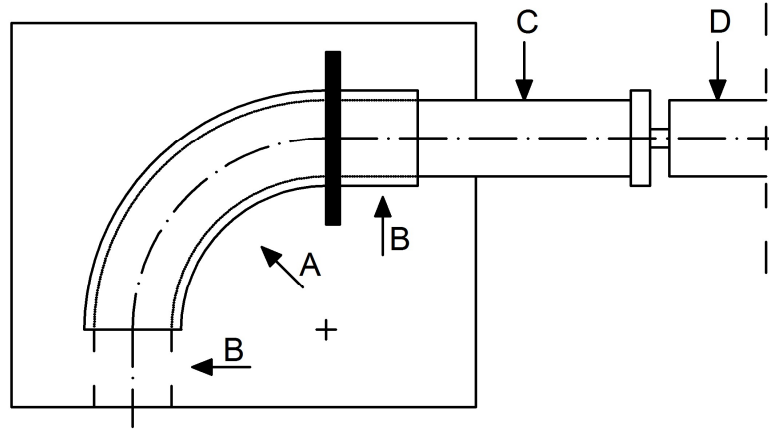
Bu tür bükme işleminde bükülecek eleman sabit iki adet merdaneye yaslandırılıp hidrolik güçle hareket ettirilen ortadaki bir parçanın hareket ettirilmesi ile bükme işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Presleyerek Soğuk Bükme.

3.3.3.2 Biçimlendirme kutusu (Former box) ile bükme

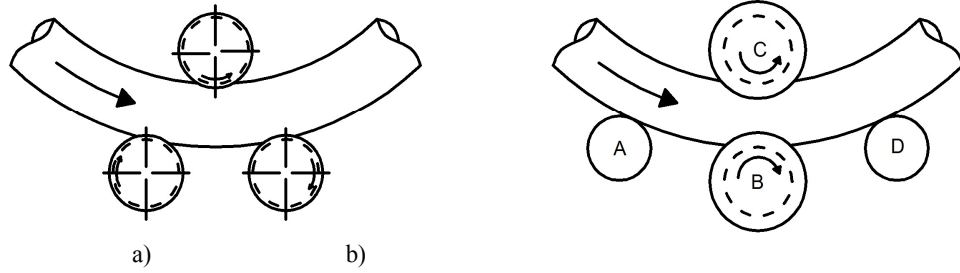
Biçimlendirme kutusu Şekil 3.5’ de görüldüğü gibi D noktasında hidrolik güçle çalışan bir iticinin C elemanını, B kılavuzundan ittirerek A sabit biçimlendirme kutusuna kadar uzatmaktadır. İleriki aşamada bu kutu içerisinde geçirilen C profili, B pozisyonuna erişinceye kadar ittirilerek sabit bir eğrilikle bükülmüş olacaktır. Bu yöntem, aynı eğrilik yarı çapına sahip çok miktarda boru profil bükülmesi durumlarında kullanılmaktadır [10].



Şekil 3.5 Biçimlendirme kutusu ile bükme işlemi.

3.3.3.3 Merdaneli sistemler ile bükme

Merdaneli sistemle bükme işleminde, bir elemanın bükmesi için 3 adet merdane kullanılmaktadır (Şekil 3.6.a) Üç merdane de aynı anda çalışabilir veya merkezdeki merdane sabit bırakılıp diğer ikisi çalıştırılmaktadır. Merdaneler bükülecek profil ebadına göre değişmekte olup 4 adet merdaneli sistemler de kullanılmaktadır. Ancak merdanelerden bir tanesi sabit bırakılmak zorundadır (Şekil 3.6.b)



Şekil 3.6 Merdaneli Sistemler İle Bükme.

3.4 Boyutlandırma ve Hesaplar

3.4.1 Enkesit sınıflandırılması

Çelik yapıların statik analizi ve kesit tesirlerinin bulunmasında çeşitli yöntemler vardır. Taşıma gücü sınır durumuna göre hesap yapılırsa temel olarak 3 tip analiz yöntemi kullanılmaktadır [12].

3.4.1.1 Plastik-Plastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 1)

Bu yöntem, yapıda plastik mafsallaşmanın olduğu ve moment dağılımının meydana geldiği esasına dayanmaktadır. Kesitte tam plastikleşme olduğu ve plastik mafsal oluşabilecek oranda dönme kapasitesine sahip olduğu kabulü vardır. Yapıda yeter sayıda plastik mafsal olduğu zaman, mekanizma durumuna gelmekte ve taşıma gücü değerine ulaşılmaktadır.

3.4.1.2 Elastik-Plastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 2)

Bu yöntemde elemanlarda oluşan gerilmeler, elastik analiz sonucuna göre elde edilmekte ve plastik dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılmaktadır. Enkesitler, plastik dayanım sınırına ulaşırlar ancak dönme kapasiteleri sınırlandırılmaktadır. Taşıma gücüne ise ilk plastik mafsal oluştuğunda erişilmektedir.

3.4.1.3 Elastik-Elastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 3)

Bu yöntemde de gerilmeler ve kesit dayanımları, tamamen elastik analiz ile hesaplanmaktadır. Taşıma gücüne elemanların enkesitlerinin en dıştaki liflerinin akması ile ulaşıldığı kabulü vardır. Ancak elemanlarda meydana gelebilecek yerel burkulmalar enkesitin

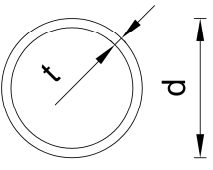
plastik moment taşıma kapasitesinin altında yük taşıma durumunun meydana gelmesine neden olabilir.

3.4.1.4 Elastik-Elastik Hesap Yöntemi (Enkesit sınıfı 4)

Bu yöntemin uygulandığı enkesit sınıflarının et kalınlıkları daha ince seçilmektedir. Kesitin taşıma gücü hesaplanırken yerel burkulmalardan dolayı oluşacak kayıplar dikkate alınmaktadır. İlk üç yöntemde dikkate alınan boyutlandırma kriteri, elemanın taşıma gücüne ulaşmadan yerel burkulma olmayacağı durumu içermektedir (yani boru et kalınlığı ince değildir). Bunu sağlamak için boru profillerde d/t ve kutu profillerde de b/t oranının Tablo 4’ de görülen değerlerden küçük olması gerekmektedir.

Basınç ve/veya eğilmeli basınç altındaki bir eleman en elverişsiz enkesit sınıfına göre boyutlandırılmalıdır. Tablo 3.2 de boru profiller için Eurocode 3[1, 2]’e göre uyulması gereken d/t oranları verilmiştir.

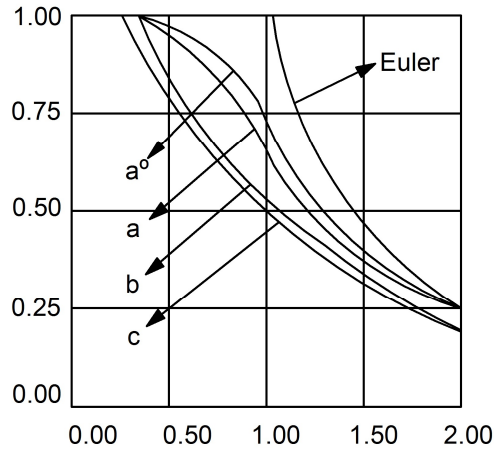
Tablo 3.2. Boru kesitlerde sınır d/t oranları.

					
Enkesit sınıfı	Basınç ve/veya eğilme				
1	$d/t \leq 50 \varepsilon^2$				
2	$d/t \leq 70 \varepsilon^2$				
3	$d/t \leq 90 \varepsilon^2$				
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y (N/mm ²)	235	275	355	460
	ε	1	0.92	0.81	0.72
	ε^2	1	0.85	0.66	0.51

3.4.2 Eksenel Basınç Altındaki Elemanlar

Eksenel basınç yükü altında olan elemanlar üzerinde ilk çalışma Euler tarafından yapılmış olup daha sonraları da birçok araştırmacı bu elemanların davranışları hakkında lineer ve lineer

olmayan bölgeleri incelemiştir [12]. Günümüzde, bir çelik elemanın basınç altında boyutlandırılması için Şekil 3.7’ de görülen “Burkulma Eğrileri” kullanılmaktadır. Bu eğriler, geometrik ve mekanik kusurları kapsayan birçok etkeni de göz önüne alan araştırma ve deneyler sonucu elde edilmiştir. Dünyada kullanılan tasarım şartnamelerinde hem emniyet gerilmeleri hem de taşıma gücü yöntemi ele alınmış ve bunlara göre kullanılan burkulma eğriliklerinde ise farklılık vardır. Taşıma gücüne göre hesapta, birçok ülkede birden fazla eğri kullanılmaktadır. (Eurocode 3, Avustralya, Kanada şartnameleri v.b.) Diğer şartnamelerde ise hesapta sadelik sağlamak için tek bir eğri kullanılmaktadır. Bu yüzden ortalama narinlik civarında çeşitli şartnamelerde verilen değerler arasında % 15’e kadar varan farklılık ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.7. Burkulma eğrileri

TS 648 basınca çalışan çubuklarda basınç gerilmesi kontrolü için burkulma katsayıları metodunu önerir. Burkulma katsayıları metodu ile hesapta basınca çalışan çubuklarda her seferinde farklı bir emniyet gerilmesi kullanılmaz:

$$\omega \frac{P}{A} \leq \sigma_{\zeta,em}$$

$$\omega : \text{burkulma katsayısı } \omega = \frac{\sigma_{\zeta,em}}{\sigma_{b,em}}$$

(Pratikte çubuğun maksimum narinlik derecesi hesaplanır ve buna bağlı olarak tablodan)

ω katsayıları alınarak kontroller yapılır.)

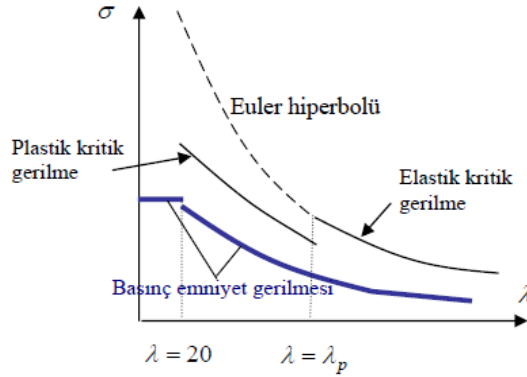
P: çubuğa etkiyen basınç kuvveti

A: çubuk enkesit alanı

$\sigma_{\zeta,em}$: çekme emniyet gerilmesi

$\sigma_{b,em}$: basınç emniyet gerilmesi

Basınç emniyet gerilmesi için yukarıda anlatılanlara benzer teorik yaklaşımlarla kritik gerilme hesaplanır ve elde edilen gerilmeler emniyet katsayılarına bölünür (Şekil 3.8). Hesaplar sırasında dikkate alınan λ , çubuğun maksimum narinlik oranıdır. Narinliğin 20'den küçük olduğu çubuklar çok kavi olduklarından burkulma hesabı yapılmaz, yani bunlar için $\omega=1$ dir. Ayrıca TS 648'e göre basınç çubuklarının narinliği hiçbir zaman 250 değerini aşmamalıdır.



Şekil 3.8. Basınç emniyet gerilmesi

Şartnameye göre:

Eksenel basınca çalışan çubuğun narinliği, orantılı sınır narinliğinden az ise ($\lambda \leq \lambda_p$) basınç emniyet gerilmesi :

$$\sigma_{b,em} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n}$$

Eksenel basınca çalışan çubuğun narinliği, orantılı sınır narinliğinden fazla ise ($\lambda > \lambda_p$) basınç emniyet gerilmesi:

$$\sigma_{b,em} = \frac{2 \pi^2 E}{5 \lambda^2} \text{ formülleri kullanılarak hesaplanır}$$

Formüllerdeki n= Emniyet katsayısı ≥ 1.67 olmalıdır.

$$\lambda < 20 \rightarrow n = 1.67$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$\lambda \geq \lambda_p \rightarrow n = 2.5$$

Aynı zamanda, burkulma eğrilerinde (enkesit sınıfına göre) kullanılan azaltma katsayısı tabloları da birden fazla olabilir. Ancak ülkemizde kullanmakta olduğumuz TS 648'e göre çerçevelerdeki basınç çubuklarının burkulma boyu katsayısı çerçevenin yanal hareketinin ötelenip/ötelenmeme durumlarına göre gösterilmiş ve burkulma katsayısı da Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu tabloda şekillerde görülen kesikli çizgiler basınç çubuğunun burkulma şeklini göstermektedir.

Tablo 3.3. Burkulma Katsayıları

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Kesikli çizgiler basınç çubuğunun burkulma şeklini gösterir						
Teorik burkulma boyu	$0.5 \times s$	$0.7 \times s$	$1.0 \times s$	$1.0 \times s$	$2.0 \times s$	$2.0 \times s$
Tavsiye edilen burkulma boyu (Sk)	$0.65 \times s$	$0.8 \times s$	$1.2 \times s$	$1.0 \times s$	$2.10 \times s$	$2.0 \times s$
Bilgi	 	Dönme ve ötelenme önlenmiş Dönme serbest ötelenme önlenmiş Dönme önlenmiş ötelenme serbest Dönme ve ötelenme serbest				

3.5 Portatif Uçak Sığınaklarında Kullanılan Çelik Sınıfları ve Malzeme Özellikleri

3.5.1 Boru ve Kutu Profiller

Boru ve kutu profiller ile bir yapının tasarımında karşılaşılabilecek sorunların ; elemanlar, birleşimler, taşıma kapasiteleri, yapısal elemanların stabilitesi, yorulma veya statik dayanımlar ile çok yakından ilgili olduğunun iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunların yanında imalat, montaj ve yangın koruma konularının da önemli olduğu unutulmamalıdır.

Boru ve kutu profillerin çelik sınıfları, imalat toleransları, enkesit boyutları milli ve uluslararası standartlarla belirlenmiştir. Boru ve kutu profiller sıcak veya soğuk şekillendirme ile imal edilebilirler.

Çelik sınıfları, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) ile belirlenmiştir. Buna göre:

ISO 630 Yapısal çelik

ISO 4951 Yüksek mukavemetli çelik çubuk ve kesitler

ISO 4952 Korozyon direnci artırılmış yapı çeliği.

TS 648'in (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) kapsamına giren yapı çelikleri ise en küçük çekme dayanımına göre ; Fe 33, Fe 34, Fe 37, Fe 42, Fe 46, Fe 50, Fe 52, Fe 60 ve Fe 70 olmak üzere dokuz ayrı sınıfta toplanmıştır. Tablo 3.4'de bütün çelik sınıfları için geçerli fiziksel özellikler verilmiştir.

Bazı ülkelerin kendi ulusal standartlarını uyguladıkları ve bunların ISO'nun belirledikleri ile tam uyuşmadıkları da dikkate alınmalıdır. TS 648 ile belirtilen çeliğin mekanik özellikleri Tablo 3.5 de verilmiştir [14]. Burada genelde kullanılan çelik sınıflarının nominal çekme dayanımları (σ_d), akma dayanımları (σ_a), Elastisite modülleri, Kayma modülleri, ve Isı Genleşme Katsayılarına ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.4 : Yapısal Çeliğin Fiziksel Özellikleri.

Elastisite Modülü	$E = 210\ 000\ \text{N/mm}^2$
Kayma Modülü	$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 81000\ \text{N/mm}^2$
Poisson Oranı	$\nu = 0.3$
Termal genleşme katsayısı	$\alpha = 12.10^{-6}/^\circ\text{C}$
Yoğunluk	$\rho = 7850\ \text{kg/m}^3$

Tablo 3.5. Çelik Sınıfları İçin Mekanik Özellikler (TS 648).

Çelik Sınıfı	Çekme Dayanımı (σ_d) (N/mm ²)	Akma Sınırı (σ_a) (N/mm ²)	Elastisite Modülü (E) (N/mm ²)	Kayma Modülü (G) (N/mm ²)	Isı Genleşme Katsayısı α_t
Fe 33	324-490	186	206 182	79 434	0.000012
Fe 34	333-412	206			
Fe 37	363-491	235			
Fe 42	412-490	255			
Fe 46	431-530	284			
Fe 50	490-588	294			
Fe 52	510-608	353			
Fe 60	588-706	333			
Fe 70	686-834	363			

Bu değerler et kalınlığı 16mm'ye kadar olan malzemeler için geçerlidir. Et kalınlığı 16 mm'den büyük ve 40 mm'yi geçmeyenler için değerler 10 N/mm² azaltılmalıdır. Et kalınlığı 40 mm'den büyük ve 100 mm'yi geçmeyenler için değerler 20 N/mm² azaltılmalıdır.

Sınır durumları, yapının tasarım sonucu belirlenen performansının ihtiyaçlarını karşılayamadığı çok kritik durumlardır. Çelik yapılar için günümüzde hazırlanan hemen hemen tüm yapı şartnameleri sınır durumu tasarımına dayanır [12]. İki çeşit sınır durumu yaklaşımı vardır.

3.5.2 Taşıma Gücü Sınır Durumu

Taşıma gücü sınır durumu İnsan hayatının tehlikeye düştüğü, can güvenliğinin en kritik durumda olduğu, yapının göçmesi ile veya diğer yıkılma şekilleri ile yakından ilişkisi vardır. Taşıma gücü sınır durumu aşağıdaki durumları kapsar:

- Yapının veya bir bölümünün denge kaybı
- Yük taşıma kapasitesinin kaybı, örneğin stabilite kaybı, kopma, aşırı deformasyonlar, yorulma ve gerilmeler gibi sınır durumları

3.5.3 Kullanma Sınır Durumu

Kullanma sınır durumu yapının kullanımla ilgili belirli servis kriterlerini artık karşılayamadığı durumdur.

Kullanım sınır durumu aşağıdaki durumları kapsar:

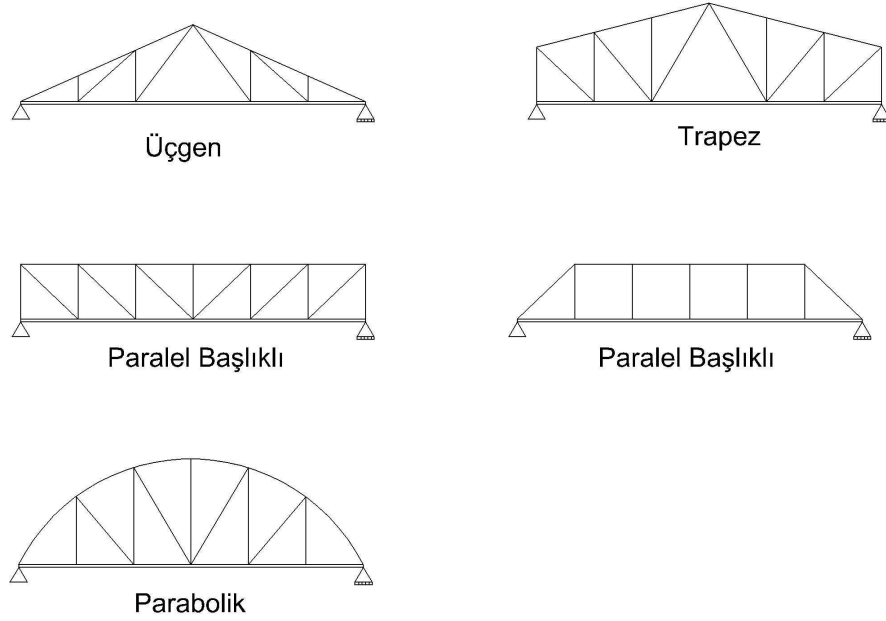
- Görünümü veya yapının kullanımını doğrudan etkileyen (makinaların çalışmasını engelleyen, servis işlevlerini olumsuz etkileyen v.b.) ya da hasarlara yol açan deformasyonlar, çökmeler
- İnsanlara rahatsızlık veren, yapılara veya bileşenlerine hasar veren veya konforu etkileyen titreşimler.

Ulusal ve uluslar arası şartnameler, taşıma sınır durumlarını göz önüne alan çeşitli hesap yöntemleri önermektedir. Bu yöntemlerde özellikle stabilite problemleri ön planda tutulduğunda, yapı davranışını etkileyen geometrik ve mekanik kusurların da dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır [12].

4. PORTATİF UÇAK SIĞINAKLARININ SAYISAL MODELLEMESİ

4.1 Kafes Sistemler

Portatif uçak sığınaklarının taşıyıcı aksamaları genelde kafes sistemlerle inşa edilmektedir. Kafes sistemler ve özellikle kafes kirişler büyük açıklıkları geçmede kullanılmaktadır. Bu kirişler, çekme ve basınç çubuklarından oluşurlar. Üçgen, trapez, paralel başlıklı, bir veya iki taraftan lineer eğimli ve parabolik olmak üzere farklı çeşitleri mevcuttur (Şekil 4.1). Bu farklılıklar genellikle çatı durumlarına ve açıklıklara göre seçilmektedir [2].

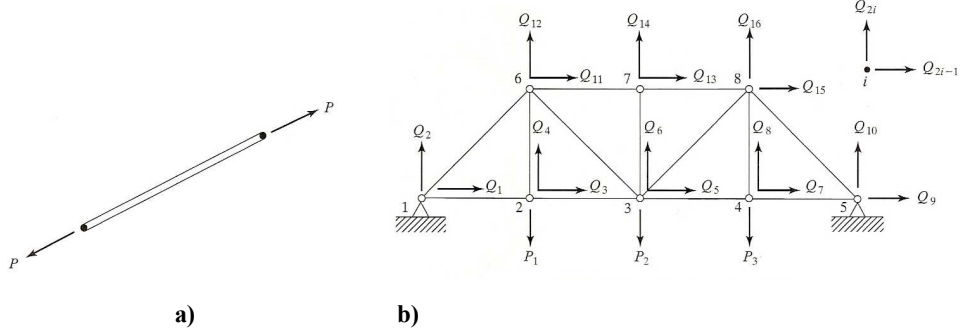


Şekil 4.1. Kafes sistem örnekleri.

4.2 Kafes Sistemlerin Sonlu Eleman Analizi

Bu bölümde düzlem kafes sistemlerin sonlu elemanlarla analizi incelenecektir. Düzlem veya iki boyutlu bir kafes sistem Şekil 4.2' de görülmektedir. Bir kafes sistem içerisinde çekme ve basınç olmak üzere iki tip kuvvet oluşmaktadır (Şekil 4.2.a). Kafes sistemde tüm yükler ve oluşan reaksiyon kuvvetleri düğüm noktalarında oluştuğu ve düğüm noktası birleşimlerinin de mafsallı olarak teşkil edildiği kabul edilmektedir. Günümüzde, kafes sistemlerin analizlerinde sonlu elemanlar metodu gibi gelişmiş metodların kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda kafes sistemlerin her bir elemanı yatay ve düşey olmak üzere iki serbestlik derecesine sahiptir.

Tipik bir kafes sistem üzerinde tüm düğüm noktaları ve bunlara ait serbestlik dereceleri Şekil 4.2.b' de görülmektedir. Bu kafes sistemde 8 düğüm noktası olduğu için toplamda 16 serbestlik derecesine sahip olmaktadır.



Şekil 4.2. Kafes sistemler.

4.3 Düzlem Kafesler

4.3.1 Lokal ve global koordinat eksen takımı

Bir boyutlu elemanlarla kafes sistemler arasındaki tek fark kafes elemanlar iki boyutlu düzlem içerisinde yer almaktadır. Bu farklılık için **global** ve **lokal** eksen takımı olmak üzere iki eksen takımının tanımlanması gerekmektedir. Kafes elemanlar, lokal eksen takımında bir boyutlu olarak dikkate alınırken, global eksen takımında iki boyutlu olarak hesaba katılmaktadır.

Düzlem bir kafes sistem global ve lokal eksen takımları için Şekil 4.3'de görülmektedir. Her bir eleman lokal koordinatlarda 1 ve 2 olmak üzere iki düğüm noktası ile modellenmektedir. Lokal koordinat eksen takımı x' olarak adlandırılmış olup elemanın bir ucundan diğer ucuna tanımlanmıştır (Şekil 4.3.a). Lokal koordinat eksen takımında tanımlanan tüm büyüklükler üst indis ile gösterilmektedir. Global koordinat eksen takımı sabit olup elemanın bulunduğu konuma bağlı olarak değişmemektedir. Ancak lokal koordinat eksen takımı elemanın konumuna bağlı olarak değişebilmektedir. Global koordinat eksen takımı sağ el kuralına göre düzenlenmiştir (Şekil 4.3.b).

$$L = \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ell & m \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

olarak elde edilebilir. Burada **L** matrisi transformasyon (dönüşüm) matrisi olarak adlandırılmaktadır [3-8].

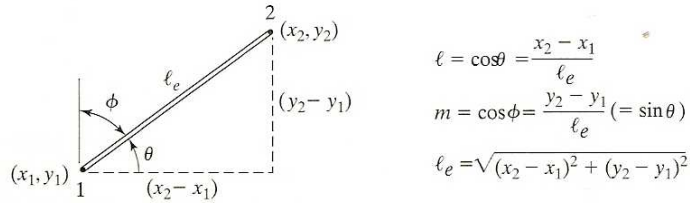
4.3.2. Dönüşüm (Transformasyon) matrisinin elde edilmesi

Doğrultman kosinüslerinin değerleri hesaplanırken basit bir formülasyon olarak koordinatlar kullanılmaktadır. (Şekil 4.4.)' de görüldüğü gibi bir sonlu elemanın 1 ve 2 nolu düğüm noktalarına ait koordinatlar (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) ise bu elemana ait doğrultman kosinüsleri,

$$\ell = \frac{x_2 - x_1}{\ell_e} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{\ell_e} \quad (4.7)$$

$$\ell_e = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.8)$$

eşitlikleri kullanılarak elde edilir. Bu koordinatların her biri bilgisayar programında düğüm noktasına ait koordinatların olduğu data dosyasından elde edilmektedir.



Şekil 4.4 Doğrultman kosinüsleri.

4.3.3. Eleman rijitlik matrisinin elde edilmesi

Kafes elemanların eleman rijitlik matrisi bir boyutlu elemanın eleman rijitlik matrisi ile aynı olmaktadır. Sadece bir boyutlu elemanın rijitlik matrisi lokal koordinat eksen takımında tanımlanmalıdır. Böylece elde edilecek rijitliğin global koordinat eksen takımında ifade edilmesi gerekir. Buradan hareketle bir boyutlu elemanın rijitlik matrisi ve lokal eksen üzerindeki şekil değiştirme enerjisi,

$$\mathbf{k} = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$U_e = \frac{1}{2} \mathbf{q}'^T \mathbf{k}' \mathbf{q}' \quad (4.10)$$

eşitlikleri ile elde edilebilir. Aynı zamanda yer değiştirme büyüklükleri için $\mathbf{q}' = \mathbf{L}\mathbf{q}$ eşitliği yazılabilir. Bu eşitlik (4.10) denkleminde yerine yazılırsa,

$$U_e = \frac{1}{2} \mathbf{q}^T [\mathbf{L}^T \mathbf{k}' \mathbf{L}] \mathbf{q} \quad (4.11)$$

$$U_e = \frac{1}{2} \mathbf{q}^T \mathbf{k} \mathbf{q} \quad (4.12)$$

$$\mathbf{k} = \mathbf{L}^T \mathbf{k}' \mathbf{L} \quad (4.13)$$

olarak şekil değiştirme enerjisi elde edilir. Burada \mathbf{k}' lokal \mathbf{k} ise global koordinat eksen takımındaki eleman rijitlik matrisini göstermektedir. Böylece \mathbf{k}' nın açık formu,

$$\mathbf{k}' = \frac{E_e A_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} \ell^2 & \ell m & -\ell^2 & -\ell m \\ \ell m & m^2 & -\ell m & -m^2 \\ -\ell^2 & -\ell m & \ell^2 & \ell m \\ -\ell m & -m^2 & \ell m & m^2 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

şeklinde yazılabilir. Bu matris bir tek elemana ait olduğu için tüm sistemin rijitlik matrisi her bir elemanın global koordinatlarda yerlerine yazılması ile elde edilmektedir.

4.3.4. Gerilmenin hesaplanması

Gerilmeler hesaplanırken eleman lokal koordinat eksen takımında işlemler yapılmaktadır. Böylece bir kafes elemanın iki ucundaki lokal yer değiştirme değerleri biliniyorsa, elemanın içerisinde meydana gelen gerilme,

$$\sigma = E_e \varepsilon \quad (4.15a)$$

$$\begin{aligned}\sigma &= E_e \frac{q'_2 - q'_1}{l_e} \\ &= \frac{E_e}{l_e} [-1 \quad 1] \begin{Bmatrix} q'_1 \\ q'_2 \end{Bmatrix}\end{aligned}\quad (4.15b)$$

eşitlikleri kullanılarak elde edilir. Burada l_e elemanın lokal koordinat eksen takımındaki orijinal uzunluğunu göstermektedir. Bu ifadelerin kullanılması için global eksen takımında yer alan yer değiştirme değerleri kullanılacağı için gerilme eşitliği için $\mathbf{q}' = \mathbf{L}\mathbf{q}$ kullanılırsa,

$$\sigma = \frac{E_e}{l_e} [-1 \quad 1] \mathbf{L}\mathbf{q} \quad (4.16.a)$$

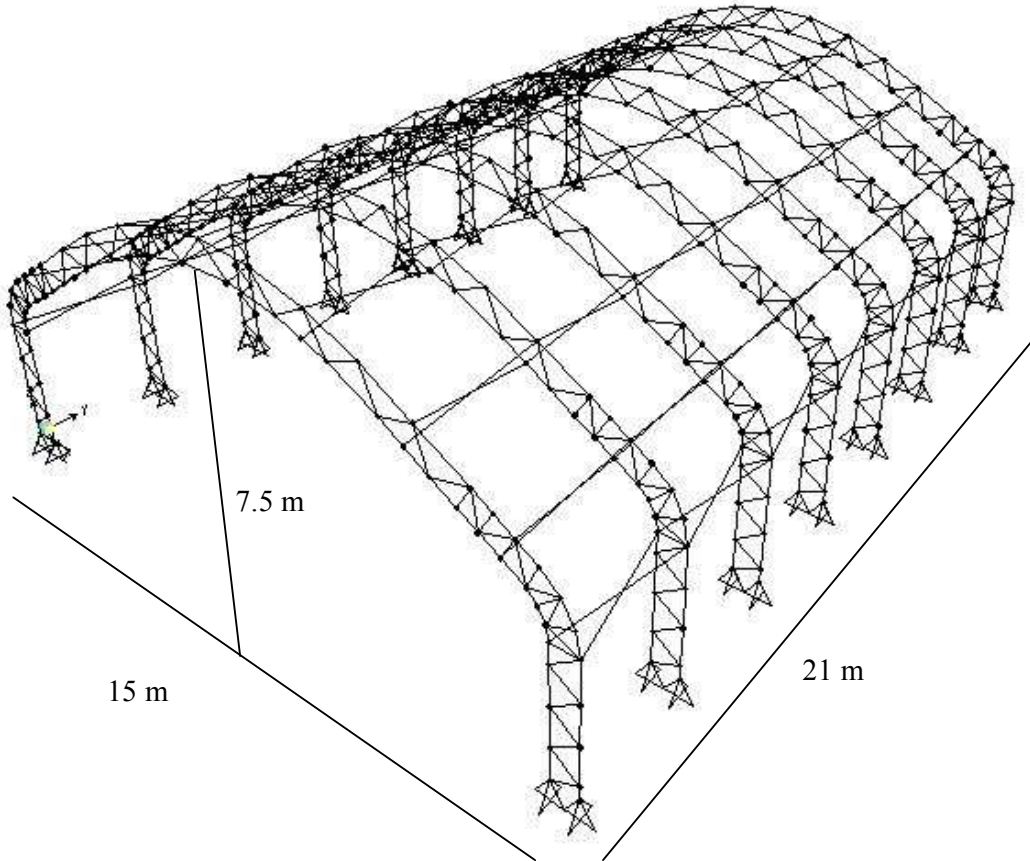
$$\sigma = \frac{E_e}{l_e} [-\ell - m \quad \ell \quad m] \mathbf{q} \quad (4.16.b)$$

bağıntıları yazılabilir. Böylece global eksen takımında elde edilen yer değiştirme değerleri yardımıyla lokal eksen takımı üzerinde gerilmeler elde edilebilir [3-8].

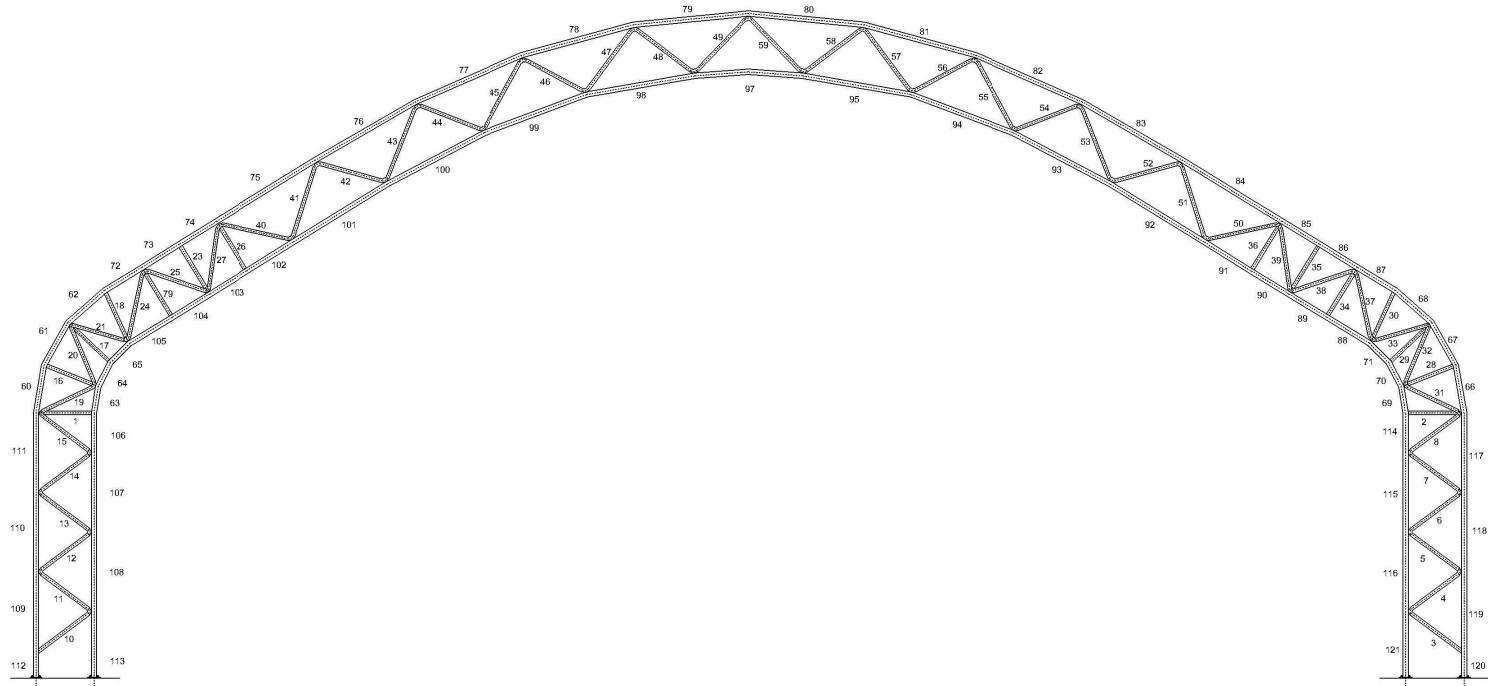
5. BİR F16 SAVAŞ UÇAĞI İÇİN PORTATİF SIĞINAĞI TASARIMI

Sayısal örnek olarak şu an kullanımda olan bir portatif sığınağa yakın F-16 uçakları için yeni bir tasarım yapılmıştır. Malzeme cinsi olarak ST 44 boru profil seçilmiştir. NATO kriterlerine göre bu tür uçakların bakım hangarlarında bekletilmeleri için gerekli minimum alanın 302 m^2 olması gerekmektedir. Tasarımda NATO MC 445 [13] standart ve kriterlerinde belirlenen uçak boyutları dikkate alınmıştır .

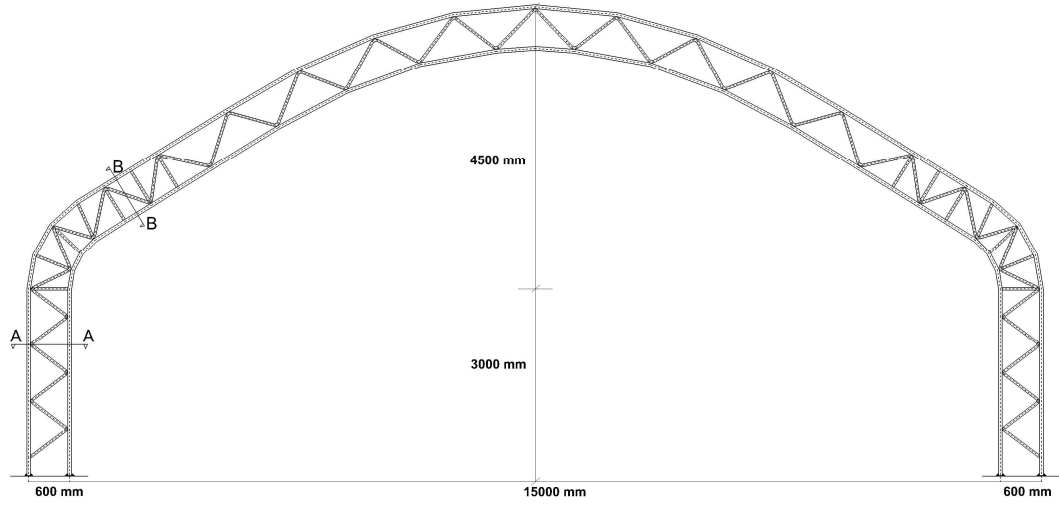
Tasarlanan portatif sığınağın 3 boyutlu genel görünümü Şekil 5.1’ de gösterilmiştir. Portatif sığınağın kenar ayakları 3000 mm yüksekliğine sahip olup ortada parabolik, köşelerde ise dairesel olacak şekilde bir kemer ile her iki ayak birleştirilmiştir. Kemerin basıklığı 4500 mm ve açıklığı ise 15000 mm’ dir. Bu taşıyıcı elemana ait sonlu eleman ağ sistemi (Şekil 5.2.)’ de ve 2 bölgede alınan kesitler ise (Şekil 5.3.a) ve (Şekil 5.3.b) ‘de görülmektedir.



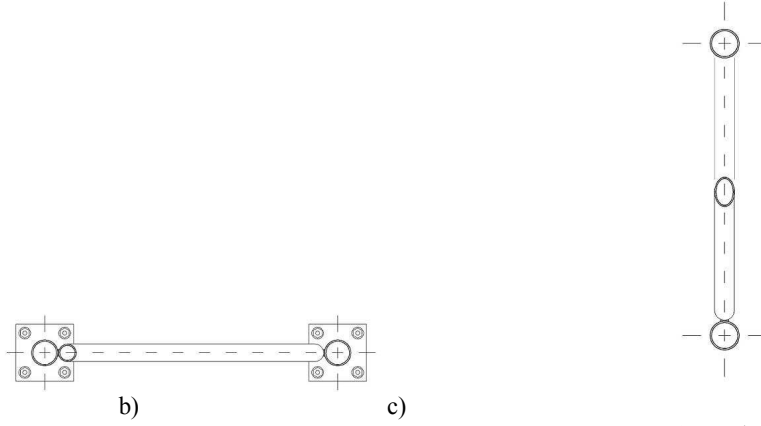
Şekil 5.1 Tasarlanan portatif sığınağın 3 boyutlu görünümü.



Şekil.5.2 Çubuk elemanların sonlu eleman numaraları.



a)



b)

c)

Şekil 5.3 Tasarlanan portatif sığınağın a) esas taşıyıcı sistemi, b) A-A ve c) B-B kesiti.

Kesit olarak taşıyıcı sistem elemanlar 60 mm çapında ve 3 mm et kalınlığı olan boru tip profiller seçilmiştir. Diagonal elemanlar ise 40 mm çapında ve 2.5 mm et kalınlığına sahip boru profillerden oluşmaktadır. Tasarlanan portatif sığınağın esas taşıyıcı sisteminde 63 adet düğüm noktası ve 120 adet iki boyutlu kafes eleman kullanılmıştır. Statik yük olarak taşıyıcı sistemin kendi ağırlığı, rüzgâr ve kar yükü dikkate alınmıştır.

Yukarıda tanımlanan kesitler DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik)'e göre enkesit koşullarının gösterildiği tabloya (EK-1) uygundur. Buna göre;

$$d/t \leq 0.05 \frac{E_s}{\sigma_a} \quad (\text{Süneklik düzeyi yüksek sistemler için}) \quad (5.1a)$$

$$d/t \leq 0.07 \frac{E_s}{\sigma_a} \quad (\text{Süneklik düzeyi normal sistemler için}) \quad (5.1b)$$

formülleri geçerlidir.

Kesit çaplarının oranı ayrıca Tablo 3.1' de verilen Avrupa Birliği standardı olan Eurocode 3 (1,2)' e göre belirlenen max. d/t oranına da uymaktadır.

$$d/t < 70 \varepsilon^2 - 90 \varepsilon^2 \quad \left(\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \right) \quad (5.2)$$

5.1 Yük Analizi

Tasarlanan portatif sığınağın esas taşıyıcı sisteminin hesabında kullanılacak yük analizi aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

Galvanizli boruların öz ağırlığı : 10 kg/m²

Çatı kaplaması(özel membran örtü) : 5 kg/m²

Kar yükü : 75 kg/m² + % 20 Buzlanma etkisi = 90 kg/m²

Rüzgar yükü sol : (1,2sinα-0,4)*q (2 yönünde) ve -0,4*q (2 yönünde)

Rüzgar yükü sol : 0,8*q (x yönünde) ve -0,4*q (x yönünde)

Rüzgar yükü sağ : (1,2sinα-0,4)* q (2 yönünde) ve -0,4*q (2 yönünde)

Rüzgar yükü sağ : 0,8*q (-x yönünde) ve -0,4*q (-x yönünde)

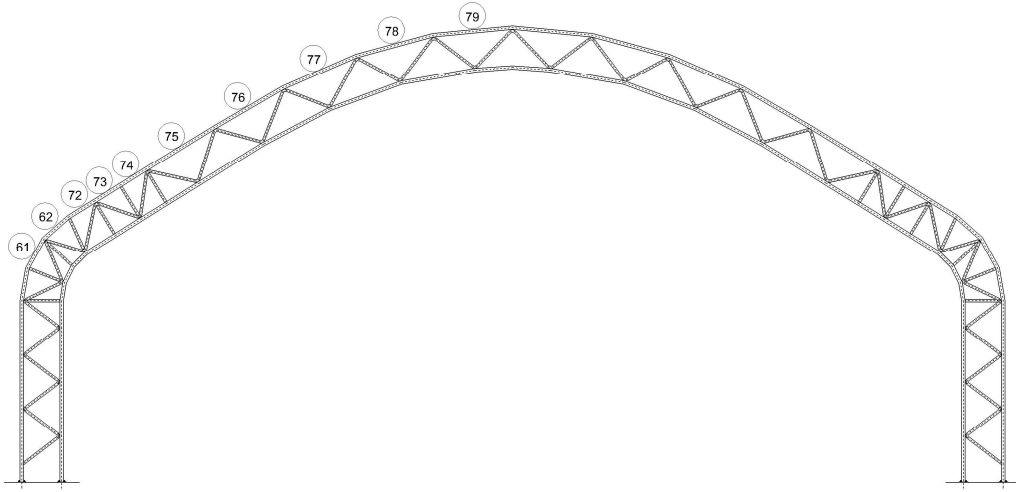
Burada, q yükü sistemimizin en yüksek noktasının 8 m den küçük olması nedeni ile 0,5 KN/m² olarak alınmıştır [14]. Sisteme etkiyen yüklerden oluşan 9 çeşit yükleme kombinasyonu aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.1 Sisteme Etkiyen Yük Kombinasyonları.

COMB1	g + kaplama + kar
COMB2	g + kaplama + rüzgarsol
COMB3	g + kaplama + rüzgarsağ
COMB4	g + kaplama + rüzgarsol + kar
COMB5	g + kaplama + rüzgarsağ + kar
COMB6	g + kaplama + ex
COMB7	g + kaplama + (-ex)
COMB8	g + kaplama + ex + kar
COMB9	g + kaplama + (-ex)+ kar

5.2 Rüzgar Yükü Hesabı

Rüzgar yükü, yukarıdaki formüllere bağlı olarak; 61,62,72,73,74,75,76,77,78 ve 79 no'lu her bir çubuk için yatay açı bulunduktan sonra (Şekil 5.4) yükler ayrı ayrı hesaplanıp aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 5.2).



Şekil 5.4 Rüzgar yükü hesabında kullanılan çubuk elemanlar.

61 	62 	72 	73 	74
	75 		76 	
	77 		78 	
			79 	

Şekil 5.5 Üst başlık çubuk elemanlarının yatayla yaptıkları açılar.

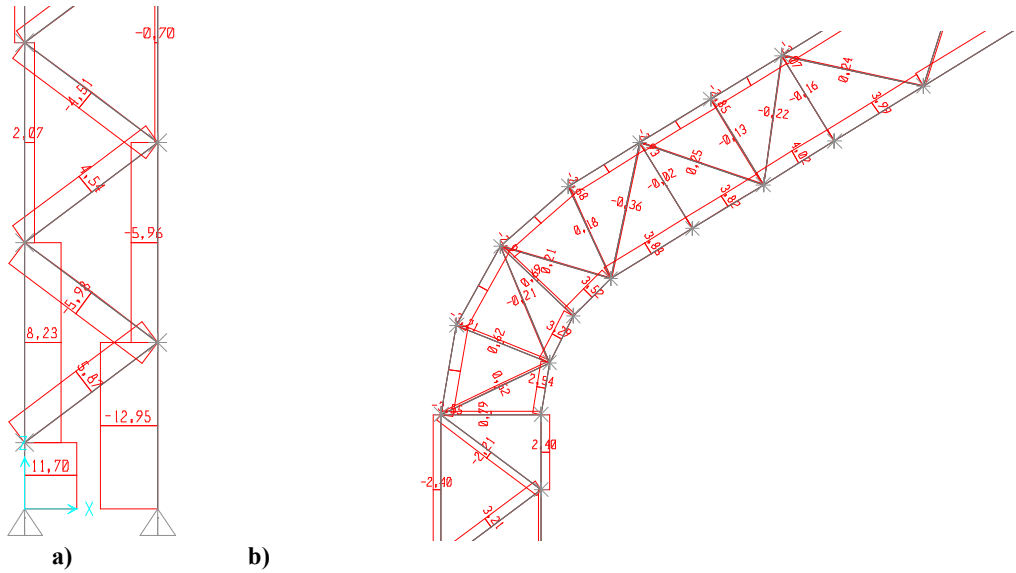
Tasarlanan portatif sığınağın eğimli yüzeyindeki düğüm noktalarına gelen kuvvetlerin elde edilebilmesi amacıyla Şekil 5.5’ da görülen elemanlar ve yatayla yaptıkları açılar

($1,2\sin\alpha-0,4$) formülünde yerine yazılarak 3 m' lik genişlik için etkiyen yükler hesaplanmış ve Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2 Üst Başlık Çubuklara Etkiyen Yükler.

Çubuk no	Yatay açı	($1,2\sin\alpha-0,4$)	D×q×3	birim
60	80,2559	0,783	1,174	kN/m
61	60,7677	0,647	0,971	kN/m
62	41,2795	0,392	0,588	kN/m
72	31,5233	0,227	0,341	kN/m
73	31,5745	0,228	0,342	kN/m
74	31,5085	0,227	0,341	kN/m
75	31,5354	0,228	0,341	kN/m
76	30,1266	0,202	0,303	kN/m
77	23,4817	0,078	0,117	kN/m
78	15,2816	-0,084	-0,126	kN/m
79	5,5145	-0,285	-0,427	kN/m

Rüzgar yükleri ve yapının kendi ağırlığı dikkate alınıp Tablo 5.1' de verilen yükleme kombinasyonları kullanılmış ve çözümler SAP2000 paket programı yardımıyla elde edilmiştir. Tüm elemanlarda g+kaplama+Rüzgar (sol) yüklemesinden oluşan içsel normal kuvvet değerlerinin büyük olduğu 2 farklı bölge Şekil 5.6' de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 İçsel normal kuvvet diyagramı

5.3 Deprem Yüğü Hesabı (Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi)

Deprem Bölgesi olarak 1' inci dereceden deprem bölgesi ve zemin cinsi olarak da Z_3 seçildi. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *Spektral İvme Katsayısı*, $A(T)$

$$A(T) = S(T) * A_0 * I \quad (5.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Yukarıdaki denklemde deprem bölgesi 1' inci derece alındığından *Etkin Yer İvmesi Katsayısı* (A_0)=0.40 ve *Bina Önem Katsayısı* ise (I) = 1 alınmıştır [11]. Yapı ağırlıklarının hesaplanması ve binaya gelecek fiktif yüklerin bulunması için,

$$W_i = g_i + n * q_i \quad (5.4)$$

$$F_i = F_{fi} * \frac{W_i * H_i}{\sum W_i * H_i} \quad (5.5)$$

eşitlikleri kullanılacaktır. Burada, g_i , q_i ve W_i sırasıyla i . katın ölü, hareketli ve toplam ağırlığını göstermekte olup n ise hareketli yük azaltma katsayısını ifade etmektedir. Denklem (5.5)' de görülen F_{fi} , i . kata etkiyen fiktif yükü H_i kat yüksekliğini F_i ise bu kata gelen yükü göstermektedir. Burada dış yük olarak ($V_i - \Delta F_N$) yerine herhangi bir değer seçilip hesaplar yapılmaktadır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulanması durumunda, yapının deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum m_i \times d_{fi}^2}{\sum F_{fi} \times d_{fi}}} \quad (5.6)$$

bağıntısıyla bulunan değerden küçük alınmamalıdır. Yapıya gelecek toplam deprem yükü ise,

$$V_i = S(T) \times I \times A_0 \times W \quad (5.7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada $S(T)$ spektrum katsayısını göstermekte olup yönetmelikte verilen spektrum ivme grafiğinden elde edilmektedir. Yapının kat seviyesinde yatay yüklerin değerleri ise

$$F_i = V_t \frac{W_i \times H_i}{\sum_{j=1}^N W_j \times H_j} \quad (5.8)$$

formülasyonu ile hesaplanmaktadır [14]. Kafesin kat ağırlıklarının hesabı;

$W_i = g_i + nq_i$ (sabit yükler + hareketli yükler) olmak üzere, Bölüm 5.1 de (Yük Analizi) belirtilen zati ağırlıklar (10 kg/ m^2), kaplama ağırlığı (5 kg/ m^2) ve kar yükü (90 kg/ m^2) esas alınarak yapılırsa,

$$W_1 = [(10 + 5) * \frac{16.2}{2} * 3 + 0.3 * (90 * \frac{16.2}{2} * 3)] = 364.5 + 656.1 = 1020.6 \text{ kg} = 10.21 \text{ kN}$$

$$W_2 = W_3 = [(10 + 5) * \frac{8.1}{2} * 3 + 10 * 1.5 * 3] + 0.3 * (90 * \frac{8.1}{2} * 3)$$

$$W_2 = W_3 = 227.25 + 328.05 = 555.3 \text{ kg} = 5.55 \text{ kN}$$

değerleri elde edilir. Aynı zamanda, yapıya gelen fiktif yükler hesaplanmak istenirse,

$$F_1 = F_{fi} * \frac{W_1 * H_1}{\sum W * H} = 100 * \frac{10.21 * 7.5}{(10.21 * 7.5 + 2 * 5.55 * 3)} = 69.69 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_3 = F_{fi} * \frac{W_2 * H_2}{\sum W_i * H_i} = 100 * \frac{5.55 * 3}{(10.21 * 7.5 + 2 * 5.55 * 3)} = 15.15 \text{ kN}$$

değerleri elde edilir. Burada yükün hesaplanması için toplam fiktif yük 100 kN olarak seçilmiştir. Kafes taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyodu ise,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum M_i * d_{fi}^2}{\sum F_{fi} * d_{fi}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1.04 * (0.1)^2 + 0.566 * (0.0843)^2 + 0.566 * (0.0843)^2}{(69.69 * (0.10) + 15.15 * 0.0843 + 15.15 * 0.0843)}} = 0.276$$

olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla spektrum ivme grafiğinde yerine yazıldığı zaman binanın spektrum katsayısı $S(T) = 2.5$ olarak bulunabilir. Buradan portatif kafese gelecek yatay yük,

$$V_t = S(T) * I * A_0 * W, A(T) = S(T) * A_0 * I = 2.5 * 0.4 * 1 = 1$$

$$V_t = \frac{S(T) * I * A_0 * W}{R_a} = \frac{2.5 * 1 * 0.4 * 21.31}{5} = \frac{21.31}{5} = 4.262 > (0.1 * 1 * 0.4 * 21.31) = 0.85$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Buradan, seçilen her bir kat seviyesi için yatay yük ise,

$$F_i = V_t \frac{W_i \times H_i}{\sum_{j=1}^N W_j \times H_j}$$

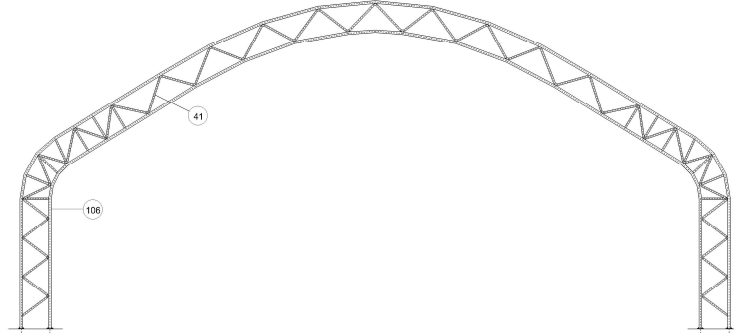
$$F_1 = 4.26 \frac{10.21 * 7.5}{10.21 * 7.5 + 5.55 * 3 * 2} = \frac{326.21}{109.88} = 2.97 \text{ kN}$$

$$F_2 = 4.26 \frac{5.55 * 3}{109.88} = \frac{16.65}{109.88} = 0.65 \text{ kN}$$

olarak elde edilmektedir.

5.4 Burkulma hesabı

Yükleme durumu COMB 4 için en büyük aksenal normal kuvvet 41 ve 106 no'lu elemanlarda meydana geldiği için (Şekil 13) bu elemanlarda basınç gerilme tahkikleri yapılmış ve diğer elemanlar alt ve üst başlıklar için bu hesabın yeterli olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.7 Burkulma hesabı yapılan çubuklar.

41 no'lu çubuk için:

$$D = 4 \text{ cm}$$

$$t = 0.25 \text{ cm}$$

$$L = 91.73 \text{ cm}$$

$$i_x = i_y = 1.329 \text{ cm}$$

$$A = 2.945 \text{ cm}^2$$

$$w = 3.52 \text{ cm}^3$$

$$S_{kx} = 0.5 \times 91.73 = 45.87 \text{ (iki ucu ankastre olduğundan)}$$

$$\text{Narinlik} = \lambda = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{45.87}{1.329} = 34.5 \Rightarrow \text{Tablodan } w = 1.19 \text{ bulunur [14]}$$

$$\sigma = w \frac{N}{A} + \frac{M}{W} < \sigma_{em} = 1.683 \text{ t/cm}^2$$

$$N_{\max} = 0.978 \text{ t}, \quad M = 1.30 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 1.19 \frac{0.978}{2.945} + \frac{1.3}{3.52} = 0.395 + 0.369 = 0.764 \text{ t/cm}^2 < 1.683 \text{ t/cm}^2 \text{ uygundur.}$$

106 no'lu çubuk için:

$$D = 6 \text{ cm}$$

$$t = 0.3 \text{ cm}$$

$$L = 45,00 \text{ cm}$$

$$i_x = i_y = 2.018 \text{ cm}$$

$$A = 5.372 \text{ cm}^2$$

$$w = 3.52 \text{ cm}^3$$

$$S_{kx} = 0.5 \times 45.00 = 22.5 \text{ (iki ucu ankastre olduğundan)}$$

$$\text{Narinlik} = \lambda = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{22.5}{2.018} = 11.1 \Rightarrow \text{Tablodan } w = 1.0 \text{ bulunur [15](TS 648).}$$

$$\sigma = w \frac{N}{A} + \frac{M}{W} < 1.683 \text{ t/cm}^2$$

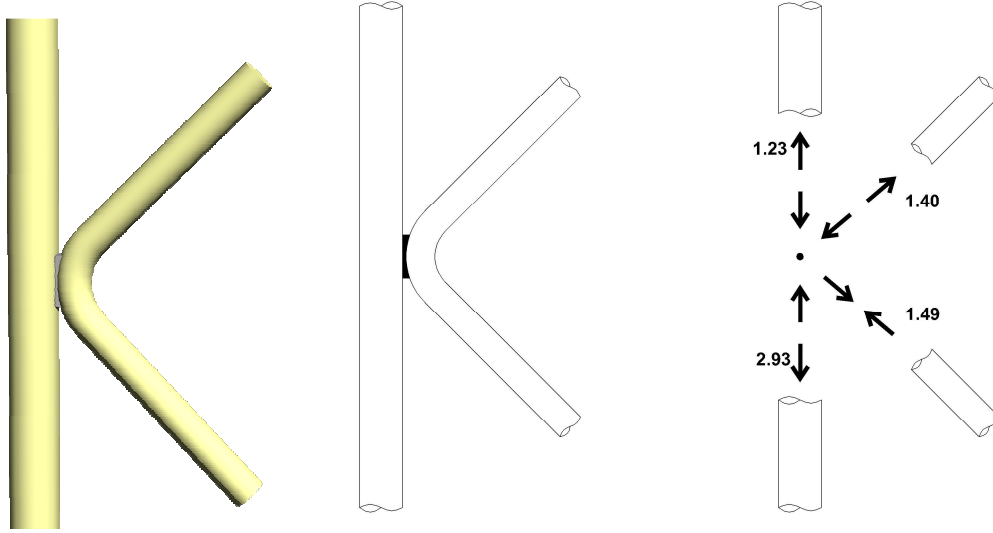
$$N_{\max} = 3.416 \text{ t}$$

$$M = 5.895 \text{ tcm}$$

$$\sigma = 1.0 \frac{3.416}{5.372} + \frac{5.895}{9.756} = 0.635 + 0.604 = 1.239 \text{ t/cm}^2 < 1.683 \text{ t/cm}^2 \text{ uygundur.}$$

5.5 Kaynak Hesabı;

Birleşim bölgesi olarak en gayri müsait yükleme COMB 5 olup 13 no'lu düğüm noktası tüm sistem içerisinde en büyük değere sahip olduğu için kaynak hesabı bu düğüm noktasında yapılmıştır. 13 nolu düğüm noktasına gelen kuvvetler ve birleşim bölgesi Şekil 5.8' de görülmektedir. Kaynak kalınlığı gerekli tahkikler yardımıyla $a=3$ mm olarak seçilirse,



Şekil 5.8 Kaynak Hesabı Yapılan Düğüm Noktası.

$$T = 2.93 - 1.23 = 1.70 \text{ t}, \quad \tau = \frac{T}{2a(l - 2a)} < \tau_{kenn}$$

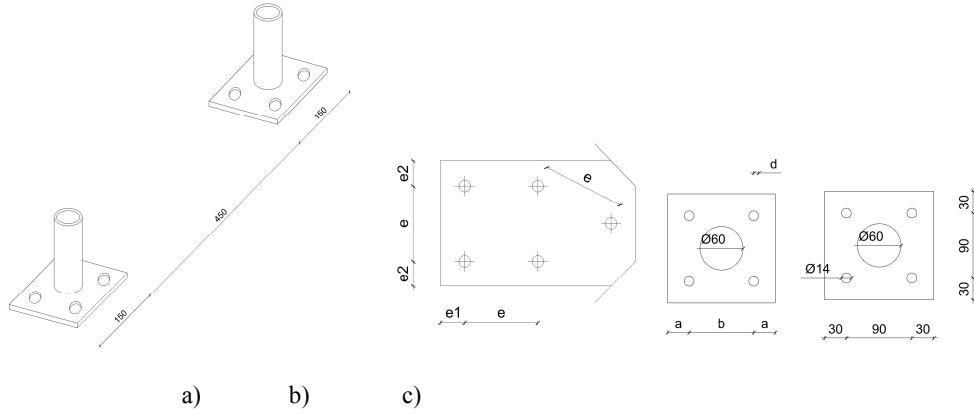
burada; $a=0.3$ cm ve $l=5.0$ cm ise, (l : uzunluk)

$$\tau = \frac{1.70}{2 * 0.3(5 - 2 * 0.3)} = 0.644 \text{ t/cm}^2 < \tau_{kenn}$$

eşitlikleri yardımıyla gerekli tahkiklerin saptandığı görülmektedir.

5.6 Kenar Kolon Ayakları Hesabı

Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi kolonlar beton zemine 16 mm' lik bulonlar kullanılıp gerekli tahkikler yapılmıştır. Bulon aralıkları için gerekli mesafeler aşağıdaki şartları sağlamaktadır.



Şekil 5.9 a) kolon ayakları, b) bulon aralıkları standardı ve c) tasarlanan kolon ayağı bulon aralıkları.

Şekil 5.9.b' de, e bulon aralığını, e_1 kuvvet doğrultusunda kenar uzaklığını, e_2 kuvvete dik doğrultudaki kenar uzaklığını göstermek üzere seçilecek e , e_1 ve e_2 değerleri

$$3d < e < 8d \quad (15 t_{\min})$$

$$2d < e_1 < 3d \quad (6 t_{\min})$$

$$2d < e_2 < 3d \quad (6 t_{\min})$$

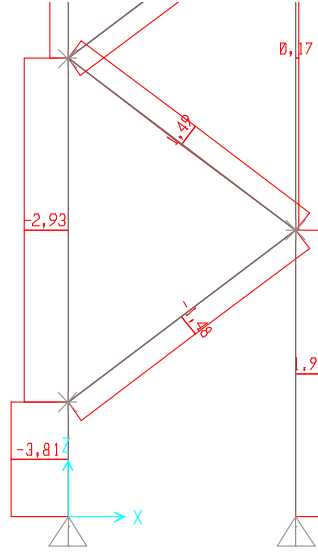
koşullarını sağlamalıdır. Aynı zamanda, Tablo 5.3' de bulonların çelik sınıfına göre malzeme karakteristikleri görülmektedir.

Tablo 5.3 Bulon çelik sınıflarına göre malzeme özellikleri.

	σ_a	σ_k	σ_{em}	τ_{sem}	σ_{zem}	σ_{lem}
ST 37	2400	3600	1440	1440	480	2880
ST 44	2800	4400	1680	1680	560	3360
ST 52	3600	5200	2160	2160	720	4320

5.6.1 Çekme Hesabı

Temel kısmına Combo 5 yükleme kombinasyonundan en elverişsiz duruma ait çekme kuvvet değerleri elde edilmiş olup Şekil 5.10' de görülmektedir. Bu değerler dikkate alınarak çekme hesabı yapılacak olursa;



Şekil 5.10 Comb 5 için elemanlardaki çekme kuvvet değerleri.

Buradan, mutlak değerce maksimum eksenel normal kuvvet değeri 3.81 t olduğu rahatlıkla görülmektedir. Böylece 4 bulon için bu değerler,

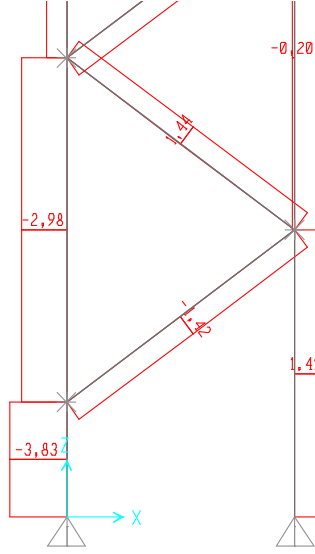
$$N_{\max} = 3.81 \text{ ton} \Rightarrow \frac{N}{4} = \frac{3.81}{4} = 0.953 \text{ ton}$$

olarak elde edilmektedir. Buradan, bir bulonun emniyetle taşıyacağı çekme kuvveti:

$$N = \frac{\pi d^2}{4} \times \sigma_{zenn} = \frac{3.14 \times 1.6^2}{4} \times 0.56 = 1.125$$

Böylece, $N > N_{\max}$ olduğu rahatlıkla görülmektedir.

5.6.2 Levhanın ezilme hesabı



Şekil 5.11 Comb 9 için elemanlardaki ezilme kuvvet değerleri

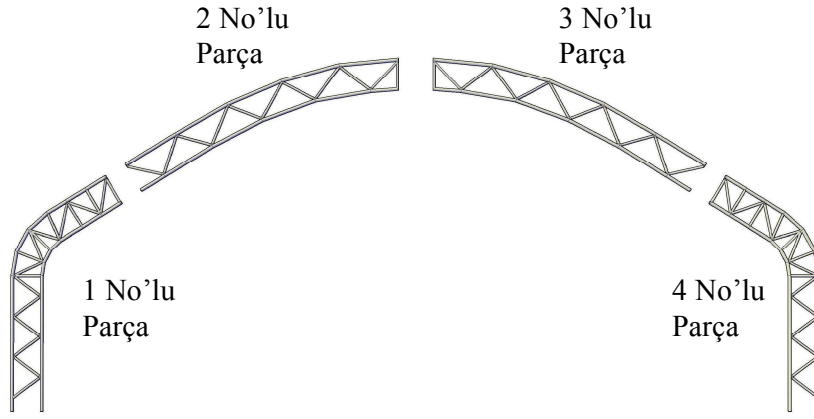
Taban levhasına gelecek maksimum basınç yükü Şekil 5.11’ de görüldüğü gibi 3.83 ton olarak elde edilmiştir. Buradan taban levhası için seçilen 15×15 cm’ lik ebatlar için tahkik edilirse,

$$\sigma_1 = \frac{N_{\min}}{A_{levha}} = \frac{3.83}{15 * 15} = 0.017 \text{ ton/cm}^2 < \sigma_{emn} = 1.68 \text{ ton/cm}^2 \text{ dur.}$$

değerleri elde edilir.

5.7. Portatif Sığınağın Monte ve Sökme Kısımları

Tasarlanan portatif F-16 uçak sığınağının montaj, söküm, taşıma vb. gibi işlemlerin rahatlıkla yapılabilmesi için parçalar halinde inşa edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla tasarlanan portatif sığınak Şekil 5.11’ de görüldüğü gibi 4 parça halinde inşa edilmesi tasarlanmıştır. Bu parçaların ağırlıkları yaklaşık olarak bir birlerine yakın olacak şekilde seçilmiş ve hesaplanan parça ağırlıkları Tablo 5.4’ da sunulmuştur. Bu 4 parçanın simetrik olduğu dikkate alınır 2 farklı parça ağırlığı karşımıza çıkmaktadır. Bu iki farklı parçaların ağırlıkları arasında % 7.3 gibi düşük bir fark olmaktadır.

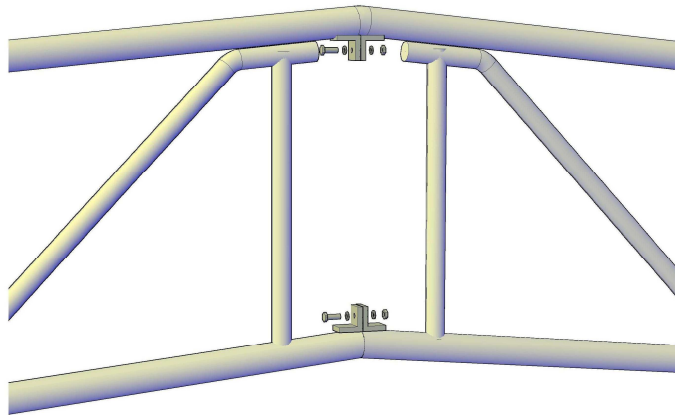


Şekil 5.11 Portatif uçak sığınağının 4 Parçası.

Tablo 5.4 Tasarlanan portatif sığınağın 4 Parçasına ait ağırlıklar.

Parça No	Boru Çapı	Uzunluğu	Ağırlık	Toplam Ağırlık
1 No.'lu Parça	Ø 60	11,63 m	49,08 kg	69,29
	Ø 40	8,75 m	20,21 kg	
2 No.'lu Parça	Ø 60	12,91 m	54,48 kg	74,37
	Ø 40	8,61 m	19,89 kg	
3 No.'lu Parça	Ø 60	12,91 m	54,48 kg	74,37
	Ø 40	8,61 m	19,89 kg	
4 No.'lu Parça	Ø 60	11,63 m	49,08 kg	69,29
	Ø 40	8,75 m	20,21 kg	

Burada verilen her bir parçanın birbirlerine montajı için Şekil 5.12' de görülen bulon ve köşebentler kullanılacaktır.



Şekil 5.12. Parçaların birbirine montaj şekli.

6. SONUÇLAR

Son yıllarda özellikle askeri tipler başta olmak üzere muhtelif uçaklar için portatif sığınak sistemleri uygulamaları, geniş çalışma alanları sağlaması, ekonomik olmaları ve imalat sürelerinin kısa olması sebebiyle hızla yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde bu yönde alt yapı sağlayacak her hangi bir çalışmaya rastlanmadığı için çalışmanın amacı bu yönde olmuş ve tasarlanan bir F16 savaş uçağının portatif sığınağı sonlu elemanlar yöntemine göre ve SAP 2000 paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve boyutlandırılmıştır. Sayısal örnek olarak şu an kullanımda olan bir portatif sığınağa yakın F-16 uçakları için yeni bir tasarım yapılmıştır. NATO kriterlerine göre bu tür uçakların bakım hangarlarında bekletilmeleri için gerekli minimum alan, standart ve kriterleri sağlayacak şekilde portatif uçak hangarının tasarımı yapılmıştır. Çalışmada ekonomik yönden irdelemeler, protatif hangara gelebilecek deprem, kar, rüzgar gibi dış etkiler altında en kötü duruma göre tahkik edilip boyutlandırılmıştır. Sonuçta Hava kuvvetlerinin ihtiyacını karşılayacak şekilde Nato, Türk standart ve yönetmeliklerine uygun yeni bir portatif hangar tasarımı yapılmıştır.

Bu tez, ülkemizde bu yönde alt yapı sağlayacak her hangi bir çalışmaya rastlanmadığı için ileride ekonomik yönden karşılaştırmalı olarak yapılacak bir çalışmaya temel teşkil etmekte olup yapılacak portatif yapı teknolojisine katkıda bulunulması amaçlanmıştır. İleride ekonomik yönden karşılaştırmalı olarak yapılacak bir çalışmaya temel teşkil etmekte olup ülkemizde yapılacak portatif yapı teknolojisine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]. Arkun, E., Hafif Ön Üretimli Yapılar İçin Teknik Değerlendirme El Kitabı,1989
- [2]. Prof. Dr. Erşen, N., Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler,1998
- [3]. Chanrupatla, R.T. ve Belegundu, A.D. "Introduction to Finite Element in Engineering", Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1997.
- [4]. Bathe, K.J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1981.
- [5]. Bathe K.J. ve Wilson E.L., "Numerical Methods in Finite Element Analysis", Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1976.
- [6]. Hughes, T.J.R., "The Finite Element Method-Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis", Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1987.
- [7]. Reddy, J.N., "An Introduction to Finite Element Method", New York, John Wiley-Interscience, 1973.
- [8]. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L., "The Finite Element Method", Vol.2, New York, McGraw-Hill, 1991.
- [9]. Prof. Dr. Yardımcı, N., 2003, Çelik Endüstri Yapılarının Tasarımı,2003
- [10]. Borusan Mannesmann, Kutu ve Boru Profillerden oluşan çelik Konstrüksiyon Yapıların İmalat, Çatım ve Yerinde Montaj Esasları Hakkında Tasarım El Kitabı,2008
- [11]. Borusan Mannesmann, Statik Yük Altındaki Boru Profil Birleşimlerinin Tasarım El Kitabı,2008
- [12]. Borusan Mannesmann, Kutu ve Boru Profillerin Yapısal Stabillitesi,2008
- [13]. MC 445, Criteria and Standards (C&S) For Airfields,NATO,1999
- [14]. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY),2006
- [15]. Türk Standartları 648
- [16]. www.bigtop.com
- [17]. www.ufsinc.com

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet BAYIR, 1971 yılında Diyarbakır' da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla, Diyarbakır Yeni İlköğretim Okulu (Tevfik Fikret İlköğretim Okulu), Batman Atatürk İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini de Batman Lisesinde tamamlamıştır. 1990 yılında, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 1994 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra Özel sektörde muhtelif firmalarda çalışmıştır. 2001 yılında Hava Kuvvetleri Komutanlığına bağlı bir kurumda göreve başlamıştır. 2007 yılında F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.

EK-1 Enkesit şartları (DBYBHY)

Eleman Tanımı	Narinlik Oranları	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	b/t	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.4\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$4.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Basınç etkisindeki T Kesitleri L Kesitleri	h/t_w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.4\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $4.0\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
		$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.66\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.07 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t_w	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.1\sqrt{E_s/\sigma_a}$
<p>Tanımlar</p> <p>b : I kesitlerinde yarım başlık genişliği U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği</p> <p>h : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu</p> <p>D : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap</p> <p>t : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık</p> <p>t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı</p>			