

**ASANSÖR KABİN ÇERÇEVELERİNİN  
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ  
VE GERİLME ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Mak. Müh. Yusuf Aytaç ONUR**  
**Enstitü No: 503031214**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2005**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. C. Erdem İMRAK**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU**  
**Doç.Dr. Serpil KURT**

*[Handwritten signatures of the thesis advisor and jury members]*

*Yazım kurallarına uygundur.*  
*Arş. Gör. Nur Pehlivanoglu*  
*[Handwritten signature]*

**OCAK 2006**

## ÖNSÖZ

Şehirlerimizdeki nüfus artışı ile şehirleşme sürecinin hızlanması yüksek binalara dolayısıyla asansöre ihtiyacın artmasına neden olmuş ve asansörsüz bina veya mahal düşünmek imkansız hale gelmiştir. Günümüzde, dünyaca tanınmış birçok kule ve gökdelenleri asansörsüz düşünmek olanaksızdır. Asansörler kot farkı olan yerler arasında çabuk, kolay, rahat, güvenli olarak taşımayı gerçekleştirirler. Bu bağlamda asansörler günlük hayatımızda vazgeçilmez hale gelmişlerdir.

Asansörlerin en önemli elemanlarından biri olan ve kabinin emniyetli bir şekilde katlar arasında taşınmasını sağlayan kabin çerçeveleri üzerine yapılmış olan bu tez çalışması gerek bu konu hakkında çalışma yapan mühendislere gerekse sonlu elemanlar analizi ile ilgili bilgi edinmek isteyen araştırmacılara önemli bir kaynak olacağına inanmaktayım.

Bu çalışmayı yapmamda yardımlarını esirgemediği ve en iyiye ulaşmamda yol gösterici olduğu için saygı değer hocam Doç.Dr. C. Erdem İMRAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2005

Yusuf Aytaç ONUR

## İÇİNDEKİLER

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ                                                      | ii   |
| İÇİNDEKİLER                                                | iii  |
| KISALTMALAR                                                | vi   |
| TABLO LİSTESİ                                              | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ                                              | viii |
| SEMBOL LİSTESİ                                             | xi   |
| ÖZET                                                       | xii  |
| SUMMARY                                                    | xiii |
| <br>                                                       |      |
| 1. GİRİŞ                                                   | 1    |
| <br>                                                       |      |
| 2. ASANSÖRLER                                              | 3    |
| 2.1. Asansörlerin Tarihsel Gelişimi                        | 3    |
| 2.2. Asansör Tesisinin Bölümleri                           | 6    |
| <br>                                                       |      |
| 3. ASANSÖR KABİN ÇERÇEVESİ                                 | 11   |
| 3.1. Kabin Çerçevesini Oluşturan Elemanlar                 | 11   |
| 3.1.1. Üst Askı Kirişi                                     | 11   |
| 3.1.2. Yan Dikine Kirişler                                 | 12   |
| 3.1.3. Alt Kiriş                                           | 13   |
| 3.1.4. Kılavuz Pabuçlar                                    | 13   |
| 3.1.5. Paraşüt Tertibatı                                   | 13   |
| 3.1.6. Halat Bağlama Tertibatı                             | 13   |
| 3.1.7. Destek Elemanları                                   | 14   |
| 3.2. Özel Tip Kabin Çerçeve Konstrüksiyonları              | 15   |
| 3.3. Kabin Tasarım Prensipleri                             | 17   |
| 3.4. Kabin Çerçevesi Hesabı                                | 21   |
| 3.4.1. Birinci Yaklaşım ile Hesap                          | 24   |
| 3.4.1.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi ve Sehim      | 25   |
| 3.4.1.2. Kabin Alt Kirişinin Çarpmadan Doğan Gerilmesi     | 25   |
| 3.4.1.3. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Boyut Kontrolü   | 26   |
| 3.4.1.4. Yan Kirişlerin Burkulma Kontrolü                  | 28   |
| 3.4.1.5. Yan Kirişlerin Atalet Momentinin Emniyet Kontrolü | 29   |
| 3.4.1.6. Kabin Döşemesinin Gerilme Hesabı                  | 30   |
| 3.4.2. İkinci Yaklaşım ile Hesap                           | 30   |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.2.1. Elastik Eğrinin Denklemi                                               | 30        |
| 3.4.2.2. İki Katlı Entegral Metodu                                              | 32        |
| 3.4.2.3. Normal Çalışma                                                         | 36        |
| 3.4.2.4. Emniyet Tertibatının Çalışması                                         | 40        |
| 3.4.2.5. Çerçevenin Tampona Çarpması Durumu                                     | 43        |
| <b>4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ</b>                                               | <b>46</b> |
| 4.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihsel Gelişimi                               | 46        |
| 4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Uygulama Alanları                               | 48        |
| 4.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları ve Sınırları                        | 49        |
| 4.4. Sonlu Elemanlar Yönteminin Elastik Sürekli Ortamlara Uygulanması           | 50        |
| 4.5. Sonlu Elemanlarla İlgili Özellikler                                        | 52        |
| 4.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Çeşitleri                                   | 53        |
| 4.7. Sistemle İlgili Özellikler                                                 | 56        |
| 4.8. Sonlu Elemanların Numaralandırılması                                       | 57        |
| 4.9. Sonlu Elemanların Matematiksel Modellenmesi                                | 59        |
| 4.9.1. Üç Boyutlu Lineer Elastisite                                             | 59        |
| 4.9.2. Yer Değiştirme İlişkisi                                                  | 60        |
| 4.9.3. Birim Uzama Bileşeni                                                     | 61        |
| 4.9.4. Gerilme Bileşeni                                                         | 63        |
| 4.9.5. Gerilme – Birim Uzama İlişkisi                                           | 64        |
| <b>5. KABİN ÇERÇEVESİ MUKAVEMET HESAPLARI</b>                                   | <b>67</b> |
| 5.1. Birinci Yaklaşımına Göre Mukavemet Hesaplamaları                           | 67        |
| 5.1.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi                                      | 67        |
| 5.1.2. Üst Askı Kirişinin Sehim                                                 | 69        |
| 5.1.3. Kabin Alt Kirişinin Gerilmesi                                            | 69        |
| 5.1.4. Kabin Alt Kirişinin Sehim                                                | 70        |
| 5.1.5. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Boyut Kontrolü                          | 70        |
| 5.1.5.1. Yan Kirişlerin Net Faydalı Kesit Hesabı                                | 71        |
| 5.1.5.2. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Eğilme ve Çekmeden Oluşan Gerilmeleri | 71        |
| 5.2. İkinci Yaklaşımına Göre Mukavemet Hesaplamaları                            | 71        |
| 5.2.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi                                      | 72        |
| 5.2.2. Üst Askı Kirişinin Sehim                                                 | 73        |
| 5.2.3. Kabin Alt Kirişinin Gerilmesi                                            | 74        |
| 5.2.4. Kabin Alt Kirişinin Sehim                                                | 75        |
| 5.2.5. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Eğilme ve Çekmeden Oluşan Gerilmeleri   | 76        |



|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KABİN ÇERÇEVESİNİN ANALİZİ</b> | <b>77</b>  |
| 6.1. Giriş                                                      | 77         |
| 6.2. Kabin Çerçeve Elemanlarının Ansys ile Analize Hazırlanması | 77         |
| 6.3. Malzeme Özelliklerinin Seçilmesi                           | 79         |
| 6.4. Çerçeve Elemanlarının Küçük Parçalara Ayrılması (Meshing)  | 80         |
| 6.4.1. Eleman Tipinin Seçimi                                    | 81         |
| 6.5. Yükleme ve Sınır Koşulları                                 | 83         |
| 6.6. Kabin Çerçevesinin Analiz Değerleri                        | 83         |
| 6.6.1. Üst Askı Kirişinin Analizi                               | 83         |
| 6.6.2. Alt Kirişin Analizi                                      | 88         |
| 6.6.3. Yan Kirişlerin Analizi                                   | 93         |
| <b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b>                                  | <b>97</b>  |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                | <b>99</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                 | <b>101</b> |

## KISALTMALAR

|            |                           |
|------------|---------------------------|
| <b>SEY</b> | : Sonlu Elemanlar Yöntemi |
| <b>TS</b>  | : Türk Standartları       |
| <b>NPU</b> | : U Profil                |
| <b>EN</b>  | : Avrupa Standartları     |
| <b>A</b>   | : Amerikan Standartları   |



## TABLO LİSTESİ

|                  | <u>Sayfa No</u>                                                                                                       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tablo 3.1</b> | Maksimum net platform alanı ..... 20                                                                                  |
| <b>Tablo 3.2</b> | Tetmajer formülündeki a ve b değerleri ..... 28                                                                       |
| <b>Tablo 3.3</b> | Omega ( $\omega$ ) değerleri ..... 29                                                                                 |
| <b>Tablo 4.1</b> | Sonlu elemanlar analizinde temel adımlar ..... 52                                                                     |
| <b>Tablo 5.1</b> | Beş kişilik asansörün modellenmesi için kullanılacak boyutlar .... 67                                                 |
| <b>Tablo 5.2</b> | NPU100 Profili Özellikleri ..... 68                                                                                   |
| <b>Tablo 5.3</b> | NPU65 Profili Özellikleri..... 71                                                                                     |
| <b>Tablo 6.1</b> | Kabin çerçevesi elemanlarının sonlu elemanlar analizi için işlem adımları ..... 77                                    |
| <b>Tablo 6.2</b> | Yapı çeliğinin malzeme özellikleri ..... 79                                                                           |
| <b>Tablo 6.3</b> | Üst askı kirişinde farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri ..... 85 |
| <b>Tablo 6.4</b> | Üst askı kirişinde oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri ..... 87                                |
| <b>Tablo 6.5</b> | Alt kirişte farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri ..... 90        |
| <b>Tablo 6.6</b> | Alt kirişte oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri ..... 91                                       |
| <b>Tablo 6.7</b> | Yan kirişte farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri ..... 95        |
| <b>Tablo 6.8</b> | Yan kirişte oluşan maksimum normal gerilme değerleri ..... 96                                                         |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                               | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Asansör tesisine ait bölümler .....                                               | 6               |
| Şekil 2.2 : Kabin konstrüksiyonları .....                                                     | 7               |
| Şekil 2.3 : Kılavuzlamada kullanılan patenler .....                                           | 8               |
| Şekil 3.1 : Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli .....                                        | 12              |
| Şekil 3.2 : Yan dikine kirişin üç boyutlu modeli .....                                        | 12              |
| Şekil 3.3 : Alt kirişin üç boyutlu modeli .....                                               | 13              |
| Şekil 3.4 : Asansör kabin çerçevesi montajı .....                                             | 14              |
| Şekil 3.5 : Yandan destekli kabin çerçeve konstrüksiyonu .....                                | 15              |
| Şekil 3.6 : Köşeden destekli kabin çerçeve konstrüksiyonu .....                               | 16              |
| Şekil 3.7 : Yandan destekli kabin çerçevesinin diyagramı .....                                | 21              |
| Şekil 3.8 : Yükün kabine girerken ve kabin içerisindeki eksantrik konumu .                    | 22              |
| Şekil 3.9 : Eksantrik yüklü çerçevede şekil değişimi .....                                    | 23              |
| Şekil 3.10 : Kabin platformu üzerinde yük dağılımı .....                                      | 24              |
| Şekil 3.11 : Döndürme momentinin hesabı için diyagram .....                                   | 27              |
| Şekil 3.12 : Elastik eğri .....                                                               | 31              |
| Şekil 3.13 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 34              |
| Şekil 3.14 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 34              |
| Şekil 3.15 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 35              |
| Şekil 3.16 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 35              |
| Şekil 3.17 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 36              |
| Şekil 3.18 : Dönme açısının hesabı için diyagram .....                                        | 36              |
| Şekil 3.19 : Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler ..... | 37              |
| Şekil 3.20 : Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler .....        | 39              |
| Şekil 3.21 : Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı .....                                     | 39              |
| Şekil 3.22 : Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler ..... | 41              |
| Şekil 3.23 : Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler .....        | 42              |
| Şekil 3.24 : Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı .....                                     | 42              |
| Şekil 3.25 : Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler ..... | 44              |
| Şekil 3.26 : Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler .....        | 45              |
| Şekil 3.27 : Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı .....                                     | 45              |
| Şekil 4.1 : Çözüm bölgesinin üçgen elemanlara ayrılması .....                                 | 50              |

|                   |                                                                                                                       |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Bir üçgen eleman ve düğüm noktaları .....                                                                           | 51 |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Kiriş-kafes yapı sistemleri .....                                                                                   | 53 |
| <b>Şekil 4.4</b>  | : İki boyutlu sürekli ortamın kiriş kafes sistemi gibi incelenmesi ...                                                | 53 |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Bir boyutlu bir sonlu eleman .....                                                                                  | 54 |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Bir üçgen sonlu eleman .....                                                                                        | 54 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | : İki boyutlu (a) Dikdörtgen, (b) İki üçgenli dikdörtgen, (c) Dörtgen, (d) Dört üçgenli dörtgen sonlu elemanlar ..... | 55 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | : Üç boyutlu sonlu elemanlar .....                                                                                    | 55 |
| <b>Şekil 4.9</b>  | : Doğal bölmeye örnekler .....                                                                                        | 57 |
| <b>Şekil 4.10</b> | : Sonlu elemanların ve düğüm noktalarının numaralandırılması ....                                                     | 58 |
| <b>Şekil 4.11</b> | : Uygun numaralama ile şerit (bant) genişliğinin azaltılması .....                                                    | 59 |
| <b>Şekil 4.12</b> | : Belli hacme sahip üç boyutlu bir cisim .....                                                                        | 60 |
| <b>Şekil 4.13</b> | : Yer değiştirme koordinatları .....                                                                                  | 61 |
| <b>Şekil 4.14</b> | : Birim şekil değiştirme bileşenleri .....                                                                            | 62 |
| <b>Şekil 4.15</b> | : Gerilme bileşenleri .....                                                                                           | 63 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | : Üst askı kirişinin eğilme moment diyagramı .....                                                                    | 68 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | : Alt kirişin eğilme momenti diyagramı .....                                                                          | 69 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | : Normal çalışma koşullarında üst askı kirişinin eğilme momenti diyagramı .....                                       | 72 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | : Normal çalışma koşullarında alt kirişin eğilme momenti diyagramı .....                                              | 74 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | : Kabin iskeleti yan kirişlerinin eğilme moment diyagramı .....                                                       | 76 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | : AnsysWorkbench giriş ekranı .....                                                                                   | 78 |
| <b>Şekil 6.2</b>  | : Simulation tools a geçiş ekranı .....                                                                               | 79 |
| <b>Şekil 6.3</b>  | : Sonlu elemanlara ayırma (mesh) menüsü .....                                                                         | 80 |
| <b>Şekil 6.4</b>  | : Solid 187 geometrisi .....                                                                                          | 82 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | : Solid 187 elemanı yüzey koordinat sistemi .....                                                                     | 82 |
| <b>Şekil 6.6</b>  | : Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli .....                                                                          | 84 |
| <b>Şekil 6.7</b>  | : Üst askı kirişindeki yüklerin modele uygulanması .....                                                              | 84 |
| <b>Şekil 6.8</b>  | : Üst askı kirişindeki sınır koşullarının modele uygulanması.....                                                     | 85 |
| <b>Şekil 6.9</b>  | : Üst askı kirişindeki gerilme analizi değerleri .....                                                                | 86 |
| <b>Şekil 6.10</b> | : Üst askı kirişindeki yer değiştirme değerleri .....                                                                 | 86 |
| <b>Şekil 6.11</b> | : Farklı metotlar kullanılarak üst askı kirişi üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri .....                | 87 |
| <b>Şekil 6.12</b> | : Farklı metotlar kullanılarak üst askı kirişi üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme değerleri .....                | 88 |
| <b>Şekil 6.13</b> | : Alt kirişin üç boyutlu modeli .....                                                                                 | 88 |
| <b>Şekil 6.14</b> | : Alt kirişteki yüklerin modele uygulanması .....                                                                     | 89 |
| <b>Şekil 6.15</b> | : Alt kirişteki sınır koşullarının modele uygulanması .....                                                           | 89 |
| <b>Şekil 6.16</b> | : Alt kirişteki gerilme analizi değerleri .....                                                                       | 90 |
| <b>Şekil 6.17</b> | : Alt kirişteki yer değiştirme değerleri .....                                                                        | 91 |
| <b>Şekil 6.18</b> | : Farklı metotlar kullanılarak alt kiriş üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri .....                      | 92 |
| <b>Şekil 6.19</b> | : Farklı metotlar kullanılarak alt kiriş üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme değerleri .....                      | 92 |
| <b>Şekil 6.20</b> | : Yan kirişin üç boyutlu modeli .....                                                                                 | 93 |
| <b>Şekil 6.21</b> | : Yan kirişteki yüklerin modele uygulanması .....                                                                     | 94 |

|                   |                                                                                                  |    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 6.22</b> | : Yan kirişteki sınır koşullarının modele uygulanması .....                                      | 94 |
| <b>Şekil 6.23</b> | : Yan kirişteki gerilme analizi değerleri .....                                                  | 95 |
| <b>Şekil 6.24</b> | : Farklı metotlar kullanılarak yan kiriş üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri ..... | 96 |



## SEMBOL LİSTESİ

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| $F$           | : Kuvvet                              |
| $h$           | : Yükseklik                           |
| $\sigma$      | : Normal Gerilme                      |
| $\tau$        | : Kayma Gerilmesi                     |
| $M_e$         | : Eğilme Momenti                      |
| $e$           | : Sehim                               |
| $E$           | : Elastisite Modülü                   |
| $J$           | : Tarafsız Eksene Göre Atalet Momenti |
| $W$           | : Mukavemet Momenti                   |
| $L$           | : Uzunluk                             |
| $\varphi$     | : Dönme Açısı                         |
| $A$           | : Alan                                |
| $\varepsilon$ | : Normal Birim Uzama                  |
| $\gamma$      | : Kayma Birim Uzama                   |
| $\nu$         | : Poisson Oranı                       |

# ASANSÖR KABİN ÇERÇEVELERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE GERİLME ANALİZİ

## ÖZET

Bu çalışmada asansörlerin normal çalışma koşullarında, kabin içerisine giren yüklerin kabin çerçevesi üzerinde oluşturduğu gerilme ve yer değiştirmeler hem analitik yöntemlerle hem de sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir.

Analitik hesaplarda kullanılan birinci ve ikinci metot, günümüz asansör tesisinin emniyet hesaplarında kullanılan basitleştirilmiş metot (birinci yaklaşım) ve basitleştirilmiş hesaba göre daha ayrıntılı ve gerçeğe daha yakın olan çerçeve köşelerinde oluşan iç momentlerinde dahil edildiği hesaplamaları kapsamaktadır.

Bu çalışmada bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle mühendislik problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan, sayısal bir yöntem olan sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminde çözüm bölgesi sonlu sayıda elemana bölünerek bu elemanların fiziksel davranışı şekil fonksiyonu ile tanımlanır ve tek bir eleman için denklem sistemi kurularak, tüm çözüm bölgesinde sistem denklemleri birleştirilir. Yükleme ve sınır şartlarının da hesaba katılmasından sonra eleman bazında gerilme ve yer değiştirmeler hesaplanır. Bu çalışmada asansör kabin çerçeve elemanlarının katı modelleme işlemi bilgisayar ortamında SolidWorks ile yapılmış olup farklı eleman boyutuna sahip sonlu elemanlar kullanılarak ANSYS Workbench' de gerilme analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada üç farklı yöntemle üst askı kirişi, alt kiriş ve yan kirişlerin mukavemet hesapları yapılmıştır. Böylece karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşılmıştır. Her bir kiriş için ayrı olarak; birinci yaklaşım, ikinci yaklaşım ve 7mm, 10mm ve 15mm'lik eleman boyutları ile sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında sonlu elemanlar yöntemiyle daha hassas sonuçlara ulaşıldığını, kiriş üzerindeki gerilme ve yer değiştirme dağılımının çok net bir şekilde ortaya çıktığı ve kiriş üzerinde oluşan maksimum gerilme ve yer değiştirme bölgesinin çok küçük olduğu görülmüştür.



# **FINITE ELEMENT MODELING OF ELEVATOR CARFRAMES AND STRESS ANALYSIS**

## **SUMMARY**

In this project, stress and displacements which occur on the carframe because of loads entered to cabin have been investigated by not only analytical method but also finite element method in normal running conditions.

The first and second method used by analytical calculations consist of simplified method used by safety calculations of current elevator systems and calculations that are real and detailed more than simplified method and involve inner moments occurred at the corner of frame.

In this study, finite element method was used. Finite element method is a numerical method and used widely to solve engineering problems with development of computer technologies. In finite element method, solution area is divided into finite elements and these physical behaviours are described with shape functions. An equation system is set up for only one element and then system equations in all the solution area are connected. Stress and displacements based on element are calculated after applying load and boundary conditions. In this study, solid model of elevator carframe parts was formed at SolidWorks, stress analysis was done in ANSYSWorkbench by using different finite element sizes.

In this study, strength calculation of crosshead beam, safety plank and stiles have been done by using three different approaches. Thus, comparative results have been reached. For each beam, analysis had been done by using first approach, second approach and finite element approach with 7 mm, 10 mm and 15 mm element sizes. When results are compared, more accurate results have been found with finite element analysis, distribution of stress and displacements on beam have been determined clearly and area of maximum stress and displacement on beam have been found so small.

## 1. GİRİŞ

Asansörler kot farkı olan yerler arasında çabuk, kolay, rahat, güvenli olarak taşıma yapan araçlardır. Günümüzde büyük şehirlerde ve endüstri merkezlerinde gerek hızlı kentleşme ile ortaya çıkan yüksek katlı yapılarda ve gerekse endüstriyel tesislerde asansör vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Dünyaca tanınmış birçok kule ve gökdelenleri asansörsüz düşünmek olanaksız olmaktadır.

Bir asansörden öncelikle emniyetli bir şekilde taşıma yapması istenir. Bir asansörün TS 10922 EN 81-1 standartlarına göre imalatı bazı güvenlik gereksinimlerini karşılamalıdır. Asansör imalatçıları asansörleri bu gereksinimleri göz önünde bulundurarak dizayn ve imal etmektedirler. Benzer şekilde kabininde yeterli derecede emniyetli hale getirilebilmesi için kabin karkasının, parçalarının ve bağlantı elemanlarının, kullanılan malzemelerin ve imalat koşullarının hepsinin emniyet gereksinimleri sağlanmalıdır. Bu nedenle kabini saran ve taşıyan karkasın mukavemet hesapları son derece önemlidir. Yüklerin kabine giriş, çıkışında ve yükün kabin içindeki konumunda belirsizlikler olması nedeniyle çerçeve üzerine etki eden kuvvetlerin tespit edilmesi dolayısıyla çerçeve mukavemet hesapları güçleşmektedir. Bu nedenle hesaplamalar bir takım kabuller yapılarak basitleştirilmektedir. Çerçeve elemanları üzerinde oluşan iç kuvvet ve momentlerinin de hesaba katıldığı daha ayrıntılı ve gerçeğe daha yakın olan hesaplama tarzı ile belli kabuller yapılarak basite indirgenmiş olan hesaplamalar analitik yolla bulacağımız sonuçların temelini oluşturacaktır. Bu konu üzerinde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Asansör kabin iskeletinin köşebentler kullanılarak (yan kirişlerde) modelleme işlemi gerçekleştirilmiş olup farklı çözümleyiciye sahip bir sonlu eleman programında analizi yapılmıştır [1]. Fakat bu çalışmada, sadece basitleştirilmiş yaklaşım kullanarak elde ettikleri sonuçlarla sonlu eleman sonuçlarını karşılaştırmışlar ve eleman boyutunun analiz sonuçlarına olan etkilerini değerlendirmemişlerdir.

Diğer bir çalışmada basitleştirilmiş hesap yöntemiyle tespit ettikleri değerleri, paraşüt tertibatının devreye girmesi durumunda kullanarak; çerçeve üzerinde

dinamik kuvvetlerden dolayı oluşan gerilme ve yer değişimlerini tespit etmeye çalışmışlardır [2].

Bir mühendislik biriminin bir şirkete yaptığı çalışmada ise asansör çerçevesini modelleyip, sistemin sahip olduğu doğal frekansı tespit edebilmek için modal ve harmonik cevap analizlerini yapmışlardır [3].

Bu araştırmalardan yola çıkarak yapmış olduğumuz çalışmada, asansör kabin ereve elemanları üzerine etki eden yükleme ve sınır koşullarının tespit edilerek sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizinin gerçekleştirilmesi ve elde edilen değerlerin analitik sonuçlarla karşılaştırılması amaç edinilmiştir.

Birinci bölümde, asansör tesisleri genel olarak incelenmiş ve tarihsel gelişimine değinildikten sonra, konstrüksiyonu oluşturan elemanları tanıtılarak incelenmiştir.

İkinci bölümde, kabin ereve elemanları tanımlanmış ve bazı çalışma koşullarındaki kabin erevesi mukavemet hesapları hem basitleştirilmiş metot hem de gerçeğe daha yakın kabullerle oluşturulmuş ikinci metot kullanılarak ortaya konmuştur.

nc bölümde, yapılan bu tez çalışmasında kullanılan yöntem olan sonlu elemanlar yöntemi genel olarak incelenmiş olup, sistemlerde yük altında gerilme ve yer değiştirmelerin sonlu elemanlar yöntemiyle nasıl tespit edildiği irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde, bir örnek çalışma ortaya konulmuş olup ereve elemanları bağımsız birer kiriş olarak dşnlmş gerekli mukavemet hesapları yapılmıştır.

Beşinci bölümde, sonlu elemanlar yöntemi kabin ereve elemanlarının gerilme analizinde kullanılarak karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşılmıştır.

Sonuçlar ve tartışma bölümünde ise elde edilen değerler her bir kabin ereve elemanı için derlenip bir araya getirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. ASANSÖRLER

Günümüzde yüksek bina yapımına doğan ihtiyaç ve eğilim, asansör tekniğindeki gelişme yolunda çalışmalar yapılmasını teşvik etmiş, sağlanan ilerlemeler dolayısıyla da yapılarda yükselme, imkan ve hız kazanmıştır. Modern yapıların yükselmesi sonucu, hızlı ve yüksek teknolojinin kullanıldığı asansörlere ihtiyaç artmıştır [4].

İnsan taşımacılığında kullanılan otomobil, uçak, gemi gibi araçların içinde en güvenilir olanı asansörlerdir. Geliştirilen mekanik sistem günümüzde halen kullanılmakla birlikte, elektronik alanındaki gelişmeler ile asansörler daha konforlu ve güvenilir hale gelmiştir [4].

Şehirlerimizdeki nüfus artışı ile şehirleşme sürecinin hızlanması yüksek binalara dolayısıyla asansöre ihtiyacın artmasına neden olmuş ve asansörsüz bina veya mahal düşünmek imkansız hale gelmiştir. Günümüzde, dünyaca tanınmış birçok kule ve gökdelenleri asansörsüz düşünmek olanaksızdır. Asansörler kot farkı olan yerler arasında çabuk, kolay, rahat, güvenli olarak taşımayı gerçekleştirirler [4].

Her türlü konut, iş, fabrika, santral, değirmen, hastane, okul, tiyatro binaları, devlet daireleri, kuleler, depolar, antrepolar, tren ve metro istasyonları, bakım-tamir atelyeleri, trafik terminal binaları, otopark binaları, yolcu, savaş ve uçak gemileri, feribotlar, füze rampaları, inşaat yerleri, maden kuyuları vs. gibi çok yaygın ve değişik alanlarda asansörler kullanılmaktadır [4].

Asansörler literatürde; boyutları ve yapımı itibarıyla insanları da içine alacak bir kabini olan, tam düşey veya tam düşey doğrultuya 15 dereceden daha az eğimli olabilen kılavuz raylar arasında belli duraklara insan ve yük taşıyan bir araçtır [5].

### 2.1. Asansörlerin Tarihsel Gelişimi

MÖ 285-212 yılları arasında yaşamış olan Arşimed ( Archimedes ) tarafından MÖ 236 yılında el ile çalıştırılan basit bir vinç şeklinde, bugünkü asansörlerin atası sayılabilecek; kaldırma makinası yapıldığı, Romalı Mimar Vitruv'un yazılarından

anlaşılmaktadır. Roma saraylarında, merdiven çıkmak yerine böyle bir yardımcı makineden faydalandığını gösteren kalıntılara rastlanmıştır [4].

Yolcu taşıyan ilk asansör, Fransız Kralı XV. Louis için günümüzden 250 yıl önce (1743 yılında) Versailles Sarayına yerleştirilmiştir. Bu asansör uçan iskemle adıyla anılmakta ve bazı ağırlık dengeleriyle hareket etmekte ve insan gücü ile çalışmaktaydı [4].

İngiltere’de 1830 yıllarında, direkt hidrolik tahrikli yük asansörleri, 1835’de de buhar makinesi ile çalışan bir transmisyon milinden kayışla hareket alan, “ teagle “ denilen asansörler yapılmıştır [4].

İlk ve en önemli, bugün ki uygulamaya çok yakın asansör, Amerikalı Elisha Graves Otis, 1851’de Londra Sergisinde bir yük asansörüyle hayata geçmiştir. Otis 1853 yılında, Newyork’ta Crystal Place Exhibition ( sergi sarayında ) ziyaretçiler için bir insan asansörü imal etmiştir. Bu asansörde en önemli olan özellik, bu asansörün, insanlar için, tam emniyetli olmasını temin ve kesin garantisini bütün sorumluluğuyla yüklenmiş olmasıdır [4,6].

Diğer taraftan, büyük şehirlerde basınçlı su şebekesi kuruluşu da, hidrolik asansör yapımı konusunda eğilimde etken olmuştur. Paris’te ilk “ güvenli hidrolik asansör “ , Leon Edoux tarafından yapılp ( ascenseur ) deymi ile adlandırılarak 1867 Paris sergisinde tanıtılmıştır. 1868 yılında da, Newyork’ta Equitable Life Assurance Building iş hanına ilk asansör takılmıştır [4].

Halatlar üzerinden etkili ilk indirekt hidrolik asansörü 1878’de Otis firması tarafından yapılmıştır. Aynı yıl içinde, Otis, hız regülatörü ilavesi ile, asansör paraşüt düzenini geliştirmiştir. Yüksek hızlı ve aynı anda hareket eden dört birimden oluşan ilk grup asansörler Newyork’da Boreel binasına 1879 yılında Otis Elevator Co. Tarafından yerleştirildi. 1880 yılında ise, Manheim Endüstri Sergisinde, Siemens ve Halske Firması 22 metre yüksekliğinde bir binaya ilk elektrikli asansörü yerleştirdiler [4].

Paris’de 1889 yılında işletmeye açılan Eiffel kulesinde, üç ayrı firmanın yaptığı ve üç kademede, toplam 7 dakikada insanları yukarı çıkaracak kapasitede hidrolik asansörler bulunmaktaydı. 1880 yılında, ilk kremayerli tırmanan elektrikli asansör, Werner Von Siemens tarafından bir binaya monte edilmiştir [4].

Otis, 1889 yılında sonsuz vida mekanizmalı ve halat tamburlu, elektrik motoru ile direkt bağlantılı asansör makinasını yapmıştır. Otis tarafından 1892 yılında asansör makinasında Ward-Leonard tahriğini uygulamış, 1894 yılında ise ilk basma düğmeli kumandayı gerçekleştirmiştir. 1900 yılında, Fransız de Bueren, Newyork'ta redüktörsüz ( gearless ) asansör makinasını German-American House'a kurmuştur. 1904 yılında Otis firması, redüktörsüz ve tahrik kasnaklı asansörü yerleştirmiştir [4].

Tahrik kasnaklı sistemlerin, asansör tahriğinde uygulanan diğer tarzlara göre, önemli üstünlükleri vardır. Asansör hareket mesafesi, pratik olarak sınırsızdır. Makina yapısı, bina yüksekliğine ya da asansör hareket mesafesine bağlı değildir. Tahrik kasnağı, çok sayıda halat kullanma olanağı verir. Bu da, işletme güvenliğinin artmasına, ayrıca küçük çaplı kasnak kullanılmasına yol açar. Diğer taraftan, en üst durağı aşarak tavana doğru gidiş haline ve raylar arasında sıkışma sonucu halat boşluğu tehlikesine karşı kendiliğinden önleyici etkilidir [4].

Asansör yapımında önemli yeri olan tahrik kasnağı, 1877 yıllarında Alman madenciliğinde kullanılan tahrik kasnaklarının ( Koepescheibe ) daha gelişmiş şekli olarak kabul edilmektedir. Hesap şekli daha eskiden bilinen J. A. Eytelwein ( 1764-1848) tahrik kasnağı, çalışma saatleri toplamı 35 yıla ve hareket mesafesi toplamı 400.000 km'ye varan çok dayanıklı bir tahrik elemanıdır [4].

Amerikan konstrüksiyonlarında tahrik kasnakları yuvarlar yiv profilili olup, yeterli kuvvet iletimini sağlayabilmek için ağır ve pahalı bir yapımı olan iki kat halat sarımı ve karşı kasnak kullanılmasını gerektirmekteydi. Hemen aynı yıllarda İngiltere'de görülmeye başlanan tahrik kasnaklarında V-profilili yivler bulunmaktadır. Tek kat halat sarımlı olan bu tip, Amerikan asansör yapımcıları tarafından 1919 yılında adapte edildikten sonra, tamburlu asansör yapımı gitgide azalmıştır [4].

Asansör mühendisleri 1915 yılında “ hassas seviye düzeni “ uygulamışlardır. Tahrik kasnaklı asansörler üzerinde, 1927 yılında, Dipl.- İng. Hymans ve Hellborn, ayrıca Prof. Donadt tarafından yapılan bilimsel araştırma ve yayınlardan sonra, çeşitli yiv profilleri, yapım tarzı gelişimini tamamlamış ve günümüze kadar ulaşmıştır [4].

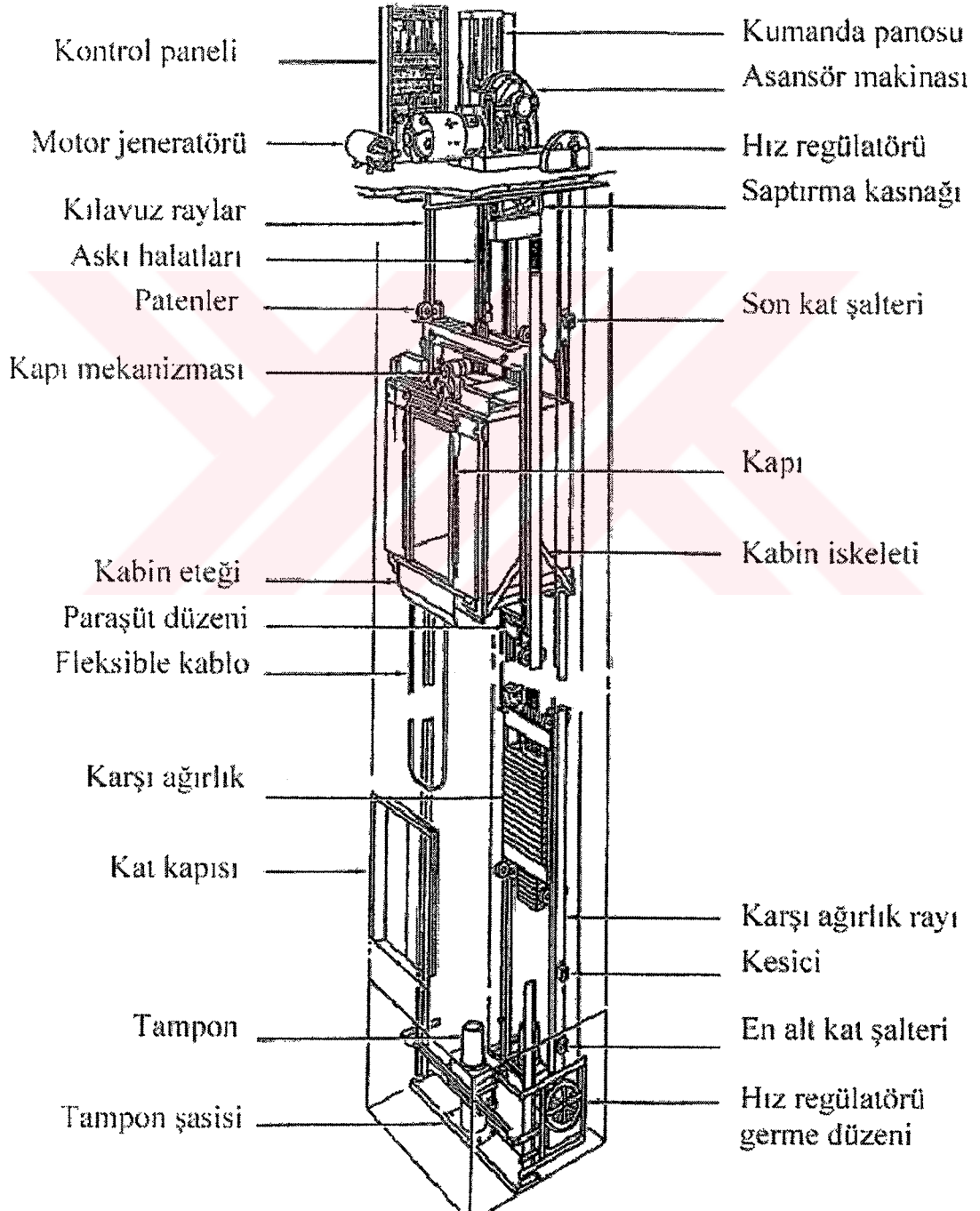
Son yüzyıl içinde, işletme güvenliğini, kullanma rahatlığı ve kolaylığını artırıcı yönde, özellikle elektrik ve elektronik olarak büyük ilerlemeler görülmüştür. Günümüzde 300 metre yüksekliği aşan binalar ve kuleler ( Eiffel kulesi 300 m, Empire State Building 448 m, Moskova Televizyon Kulesi 537 m ) yapılmış olup,



asansör hızları saniyede 7 metreye ulaşmıştır. Asansör kabininin kablo bağlantısı bulunmayan, kumandaların elektro – manyetik olarak iletildiği duruma kadar gelişme sağlanmıştır [4].

## 2.2. Asansör Tesisinin Bölümleri

Yaygın olarak binalarda tesis edilen asansörlerin genel bölümleri ile kullanılan makine parçaları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



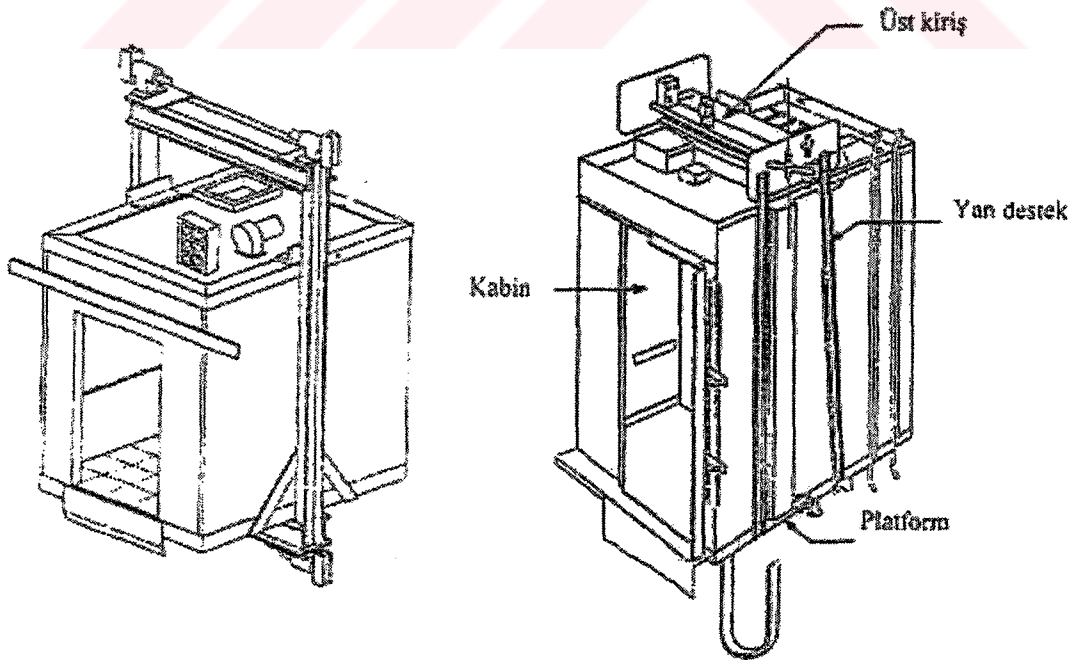
Şekil 2.1 Asansör tesisine ait bölümler [4].

Asansör kuyusu, kabin ve varsa karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığının içinde hareket ettiği boşluktur. Bu boşluk genellikle kuyu dibi, kuyu duvarları ve kuyu tavanı ile sınırlıdır [5].

Makine dairesi, asansör makinesi ve kumanda tablosunun, ana şalter, hız regülatörü ve saptırma makarasının da bulunduğu kapalı mekana makine dairesi denir. Makine dairesi, çok kez asansör boşluğu üstünde olduğu gibi, altta veya yanda da yapılabilir.

Kabin, Asansörün insan ve/veya yükleri taşıyan bir parçasıdır [5]. Asansör kabini yük ve insanların katlar arasında taşınmasında kullanılan çelik profil iskeleti ile askı halatlarına bağlı, kapılı veya kapısız olabilen çelik konstrüksiyonlardır. Kabinler platform ve taşıyıcı bir iskeletten meydana getirilir. Kabin malzemesi olarak farklı malzemeler kullanılabilir dikkat edilmesi gereken temel nitelik sağlamlık ve kolayca tutuşmamasıdır. Taban alanı, fazla yüklenmemesi için, taşınan insan sayısına göre üstten sınırlandırılmıştır. Kılavuz raylara dört noktadan temas eden patenler, kabinin dıştan alt ve üst bölümlerine konulur. Asansör paraşüt düzeni kabinin üst ya da alt kirişlerine yerleştirilir [4].

İnsan taşıyan asansörlerde kabin içinde estetik ve konfora özen gösterilir. Hasta taşıyan asansörün kabini, sedye arabası ve sürücüsünü alacak ölçüde derin yapılıdır. Çeşitli kabin konstrüksiyonları Şekil 2.2’de görülmektedir [4].

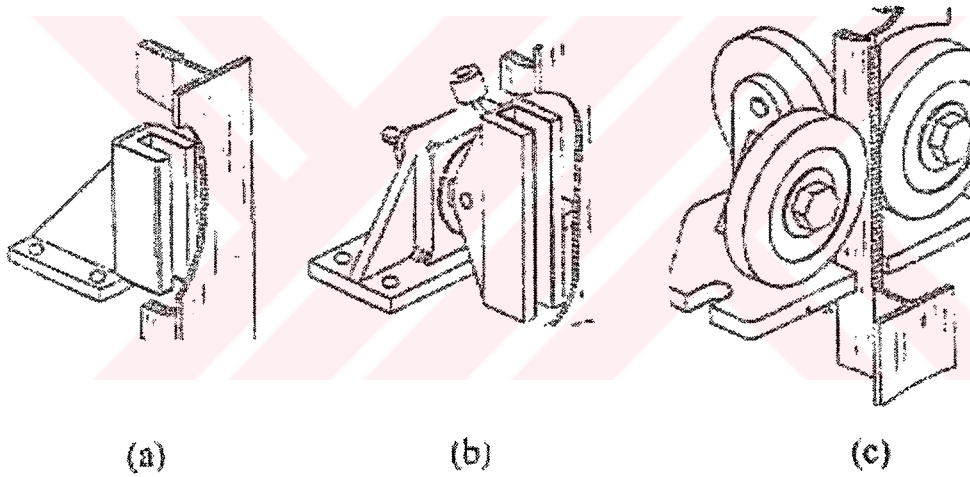


Şekil 2.2 Kabin konstrüksiyonları [4].



Kılavuz raylar, asansör tesisinde kabini ve karşı ağırlığı düşey hareketlerde ayrı ayrı kılavuzlamak ve yatay hareketlerini minimuma indirmek, paraşüt tertibatının çalışması durumunda kabini durdurmak maksadıyla kullanılır. Kabin ve karşı ağırlığın düşey doğrultularını korur, dönmesini engeller. Aynı zamanda, paraşüt düzeninin kabini tutmak için kullanacağı elemanlar raylardır. Genellikle soğuk çekme çelik T- profilleri kullanılır. Karşı ağırlık için, gergin yuvarlak profil çelik çubuktan ya da köşebentten yapılabilir. Asansör kılavuz rayları ve bağlama pabuçları TS 4789 ( 4/1986 ) da ele alınmıştır [4].

Patenler, kabin ve karşı ağırlık ayrı ayrı kılavuz raylara patenler ile alt ve üst kısımlarından kılavuzlanmaktadır. Kılavuzlama yapan patenler (a) kayan paten, (b) döner paten, (c) tekerlekli patenler olmak üzere 3 ayrı tiptedir. Kılavuzlamada kullanılan patenler Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kılavuzlamada kullanılan patenler [4].

Kat kapıları, asansör duraklarındaki kapılar basit, yarı otomatik ya da tam otomatik olabilir. Her türlü halde, güvenlik için, kapı tam kapanmadan ve sürgülü emniyet sağlanmadan kabin hareket etmemeli, aynı zamanda, kabinin bulunmadığı durakta kat kapısı açılmamalıdır [4].

Karşı ağırlık, sürtünme ile tahriki sağlayan bir kütle olarak bilinmektedir [7]. Kabin ağırlığını ve tam yükün de 0.4 ya da 0.5’ini karşılayacak değerde seçilir. Kolay taşınabilmesi ve miktar ayarlanması bakımından birbiriyle bağlanabilecek dökme demir parçalar halinde yapılır. Karşı ağırlık çelik bir çerçeve yardımcı ağırlıklar ve çelik çerçeveye tutturulmuş yönlendirme elemanlarından oluşmaktadır [4].

Askı elemanı, asansörlerde genellikle yük taşıyıcı elemanlar çelik tel halatlardır. TS 1918/7 veya DIN 3058 Seale tipi halatları asansörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsan taşıyan asansörlerde en az 2 halat kullanılmalı ve halat çapı 8 mm den az olmamalıdır [4].

Hız regülatörü, asansör belli bir hıza ulaştığında tahrik tertibatını devre dışı bırakan ve gerektiğinde güvenlik tertibatını çalıştıran bir düzenek olarak bilinmektedir [5]. Hız regülatörü asansör boşluğunun üst tarafında, makine dairesinde bulunur. Regülatör halatı kabinin hareketini, regülatör kasnağına iletir. Aşırı hız halinde sıkıştırılan bu halat paraşüt mekanizmasını harekete geçirir [4].

Son kat şalteri, son kat şalteri kabin en alt ve en üst durumlarını sınırlar, kabine tespit edilirler veya makine dairesi zeminine yerleştirilirler ve kabin tarafından çalıştırılırlar. Birinci hal genellikle yüksek hızlı asansörlerde, ikinci hal ise düşük hızlı asansörlerde kullanılır.

Paraşüt tertibatı, aşağı doğru aşırı hız kazanma veya askı tertibatının kopması halinde devreye girerek kabin, karşı ağırlık veya dengeleme ağırlığını frenleyerek sabit tutan, mekanik bir tertibat olarak bilinir [5]. Kabinin üst veya alt kirişlerine yerleştirilir [4].

Tamponlar, arıza yüzünden en alt durakta durmayıp yoluna devam eden kabin ve karşı ağırlığın zemine çarpışını yumuşatmak üzere, asansör hızına göre, elastik, yay veya hidrolik elemanlar kullanılır. Asansör tesislerinde kabinin ve karşı ağırlığın altına ayrı ayrı yerleştirilirler [4].

Asansör makinesi, genellikle elektrik motorlu ve tahrik kasnaklıdır. Redüktörlü ve redüktörsüz olmak üzere iki çeşidi vardır. Sonsuz vida mekanizmasının, sessiz çalışması küçük hacimde büyük çevrim oranı sağlaması ve düşük veriminin frenlemeye yardımcı olması yönünden asansörde yaygın kullanımını sağlamıştır [4].

Elektrik donanımı, makine dairesinde, bir kablo üzerinde ana şalter ve sigortalar bulunur. Elektrik motorunun çalıştırılması, otomatik frenin gevşetilmesi, aydınlatma, emniyet ve kumanda düzenleri için çeşitli devreler düzenlenir. Kumanda devrelerinde ve kabinde 250 voltun üzerinde gerilim bulunmaktadır. Bütün metal elemanlar ayrı ayrı topraklanır. Raylar topraklama iletkeni olarak kullanılmaz [4].

Kumanda düzeni, asansörlerin kolay, rahat, düzenli ve güvenli bir şekilde kullanılmaları için kumanda sistemleri gerçekleştirilir. Basma yerine, manyetik veya elektronik yoldan dokunma ile görev yapan düğmeler de vardır. Düğmeli kumanda,

kabinin dışından ve içinden verilmesi bakımından “ iç “ ve “ dış “ kumanda olarak ikiye ayrılır. Küçük yük asansörleri sadece dış kumandalıdır. Genellikle iç ve dış kumanda sistemleri birlikte uygulanır ve iç kumandaya öncelik gözetilir [4].



### **3. ASANSÖR KABİN ÇERÇEVESİ**

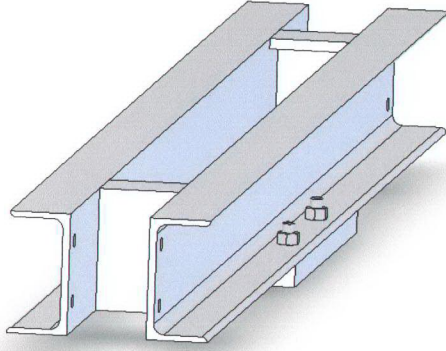
Asansör kabin çerçevesi, asansör kabin ve yükünü taşıyan dikdörtgen biçiminde ve askıda olan rijit bir taşıyıcı çelik yapıdır. Kabin çerçevesi, üst askı kirişi, iki adet dikey konumda yan kirişler ve alt kirişten meydana gelir. Kabin platformu, üst ve alt kılavuz pabuçları, kabin emniyet tertibatı ve askı halatları, hidrolik asansörlerde piston veya silindirler, destek elemanları (çubuklar) kabin çerçevesine bağlanırlar. Bu parçalar direkt olarak kabin çerçevesini oluşturan parçalar değildirler. Asansörün düşey transportu sağlayabilmesi için zorunlu olan parçalardır.

#### **3.1. Kabin Çerçevesini Oluşturan Elemanlar**

Asansör kabin çerçevesi, iki adet yan dikine kirişin üst kısmından üst askı kirişi ile alt kısmından alt kirişlere cıvatalanarak, kaynaklanarak veya perçinlenerek birbirine bağlanmasından meydana gelmektedir. Çerçeve şeklinde bu sistemi oluşturan elemanlar aşağıda tanımlanmaktadır.

##### **3.1.1. Üst Askı Kirişi**

Çerçevenin üst kısmını oluşturur. Genellikle iki adet çelik U profilden meydana gelir. Kabini taşımaya yarayan askı tertibatı ( bağlama plakası veya zincirler ) üst askı kirişlerine bağlanmıştır. Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli

### 3.1.2. Yan Dikine Kirişler

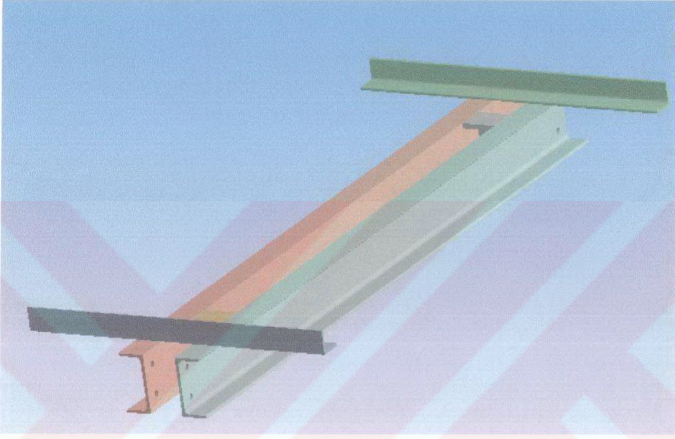
Çerçevenin üstten üst askı kirişiyle alttan ise alt kirişe bağlanmış olan çelik dikine U veya L köşebent profillerden oluşur. Yan dikine kirişler üç boyutlu bir modeli Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Yan dikine kirişin üç boyutlu modeli

### 3.1.3. Alt Kiriş

Üst askı kirişine benzer şekilde iki adet U profilden meydana gelen kabin platformunu destekleyen kiriştir. Alt kirişin üç boyutlu modeli Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Alt kirişin üç boyutlu modeli

### 3.1.4. Kılavuz Pabuçlar

Kabin ve karşı ağırlık ayrı ayrı kılavuz rayına patenler ile alt ve üst kısımlarından kılavuzlanmaktadır. Kılavuzlama yapan patenler, kayan paten, döner paten ve tekerlekli paten olmak üzere üç ayrı tiptedir [8].

### 3.1.5. Paraşüt Tertibatı

Alt kirişlerin altına veya içine monte edilen emniyet tertibatı kabinin aşırı hızlanması durumunda kabini yavaşlatıp durdurur [8].

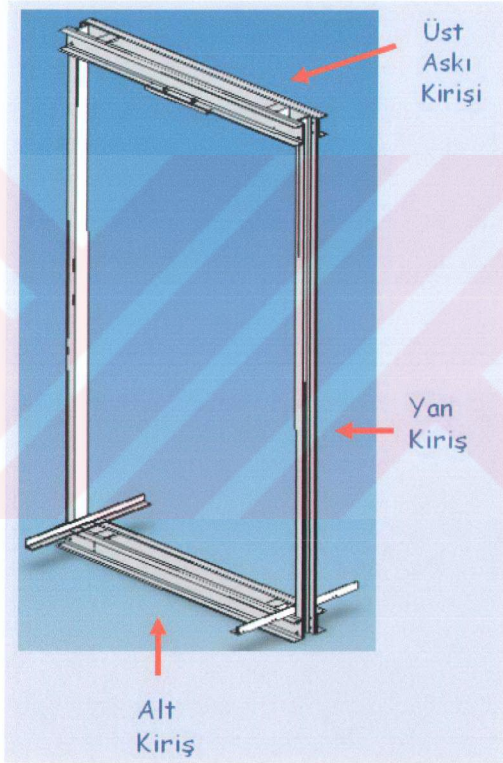
### 3.1.6. Halat Bağlama Tertibatı

Askı halatlarının kabin çerçevesine bağlanmasında kullanılan tertibattır. Bağlama plakası veya zincirler günümüzde kullanılan halat bağlama tertibatlarındandır.

### 3.1.7. Destek Elemanları

Kabin çerçevesinin bir parçası olmamasına rağmen kabin platformunun köşeleri ile kabin çerçevesi arasında destek vazifesi görürler [8].

Yukarıda tanımlanan ve şekillerle gösterilmiş olan asansör kabin çerçevesi elemanlarının civata bağlantısı ile montaj edilmiş hali Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



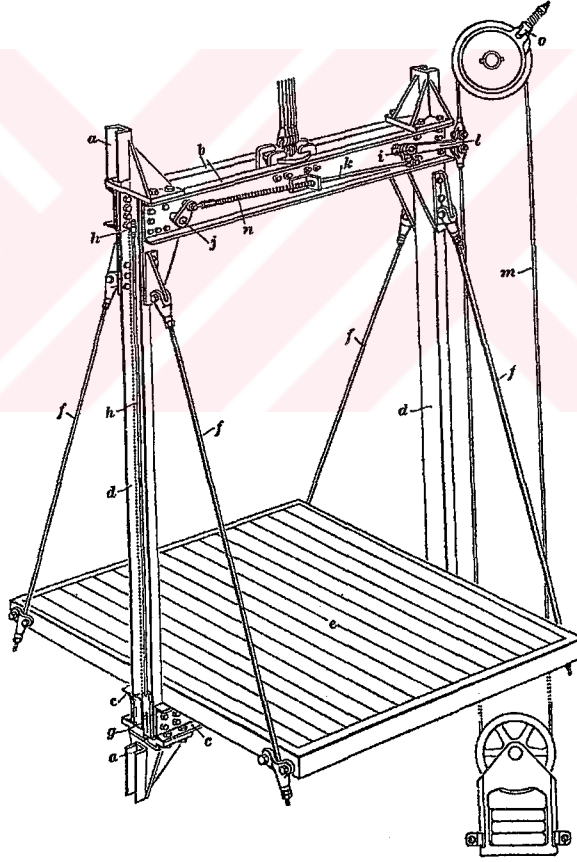
Şekil 3.4 Asansör kabin çerçevesi montajı [9].



### 3.2. Özel Tip Kabin Çerçeve Konstrüksiyonları

Genel olarak kabin çerçeveleri aynı yapıda olmakla birlikte kaldırılma şekli ve kabinin çerçeve üzerinde desteklenme şekline göre konstrüksiyonlarında bazı farklılıklar vardır. Aşağıda özel tip çerçeve konstrüksiyonları kısaca açıklanmıştır.

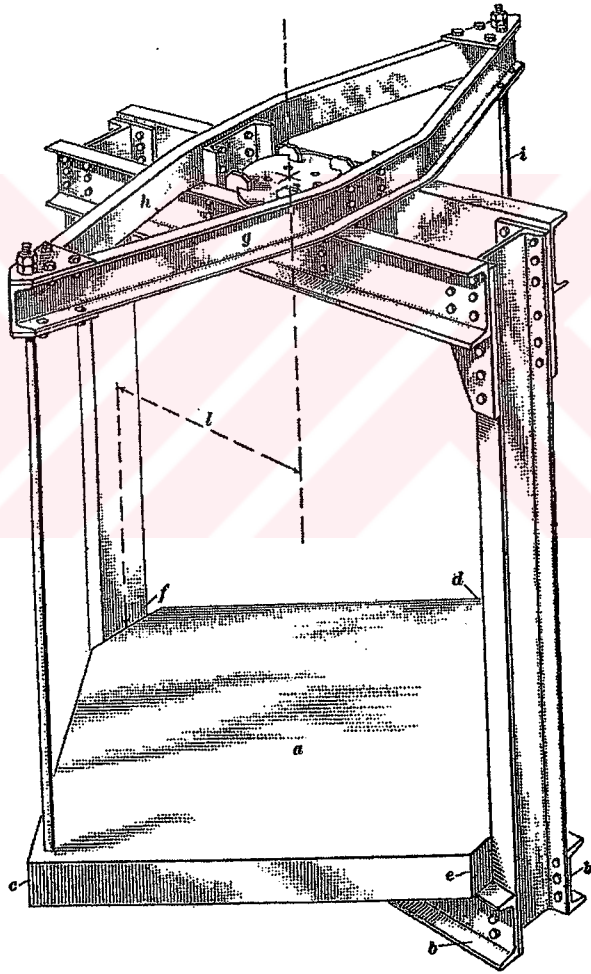
Yandan destekli kabin çerçevesi, Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bu tip çerçeve sistemleri karşı iki kenarın ortasından kılavuz raylara pabuçlarla yataklanmakta ve Şekil 3.5’de gösterilmemiş olsa da kılavuz pabuçlarının (a) yeri ve pozisyonu bu rayların konumunu göstermektedir. (b) ile üst askı kirişi, (c) ile alt kirişler, (d) ile dikine yan kirişler, (f) ile de destek çubukları gösterilmiştir. Bu çubukların bir ucu kabin platformuna diğer ucu ise yan dikine kirişlere bağlanmıştır.



Şekil 3.5 Yandan destekli kabin çerçeve konstrüksiyonu [10].



Köşeden destekli kabin çerçevesi, Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu tip çerçeve sistemleri karşı iki köşeden kılavuz raylara pabuçlarla kılavuzlanmaktadır. Kabin platformu (a) , direkt olarak alt kirişler (b) tarafından desteklenmektedir. Burada *c* ve *d* köşelerindeki destekleme sistemi, kabine girişin *ce* ve *cf* kenarlarından veya diğer iki kenardan olması durumunda geçerlidir. Bu kenarları yükleme ve boşaltma esnasında açık tutabilmek için bir taşıyıcı kafes kullanmak gereklidir. Bu kafes üst askı kirişinin üst kısmına bağlanmıştır. Ayrıca platformun *c* ve *d* köşelerini kafes uç noktalarından askıya almak için destek çubukları (i) kullanılır.



Şekil 3.6 Köşeden destekli kabin çerçeve konstrüksiyonu [10].

Alttan destekli kabin çerçevesi, bu tip çerçeve sistemlerinde çerçeveye bağlanmış tüm elemanlar kabin platformunun altında bulunur.

Üstten askılı kabin çerçevesi, bu tip çerçeve sistemlerinde askı halatı bağlantı tertibatı (bağlama sacı veya zincirler) üst askı kirişine monte edilmiştir. En çok tercih edilen kabini askıya alma tarzı bu şekildedir.

Altan askılı kabin çerçevesi, bu tip çerçeve sistemlerinde askı halatı bağlantı tertibatı (bağlama sacı veya zincirler) kabin platformunun alt kısmına monte edilmiştir [8,10].

### **3.3. Kabin Tasarım Prensipleri**

Kabin çerçevesi, kabini çevreleyen ve taşıyan bir çelik yapıdan oluşmaktadır. Bu çelik yapı; üst askı kirişi, iki adet dikey yan kirişler ve alt emniyet kirişlerinin birleşiminden meydana gelir. Kabin çerçevesinde bu birleşim, dikey yan kirişlerin üst uçlarından üst askı kirişine, alt uçlarından alt emniyet kirişine cıvatalanarak, perçinlenerek veya kaynak edilerek bağlanması ile oluşturulmaktadır. Bu şekilde montajı yapılan çerçeve sistemi, alt ve üst köşelerine bağlanmış kılavuz pabuçlar yardımıyla kılavuz raylara bağlanmaktadır. Kabin kenar destekleri ve üst askı kirişi kafes sistemi, pabuçlar gibi çerçeveye bağlayan ek parçalar çerçeveden ayrı parçalar olarak düşünülürler. Bunun nedeni ise her iki kabin desteği de aynı tip çerçeve sistemi için kullanılabileceğidir.

Bir asansörün TS 10922 EN 81-1 standartlarına göre imalatı bazı güvenlik gereksinimlerini karşılamalıdır. Asansör imalatçıları asansörleri bu gereksinimleri göz önünde bulundurarak dizayn ve imal etmektedirler. Benzer şekilde kabininde yeterli derecede emniyetli hale getirilebilmesi için kabin karkasının, parçalarının ve bağlantı elemanlarının, kullanılan malzemelerin ve imalat koşullarının hepsinin emniyet gereksinimleri sağlanmalıdır. Asansör kabin çerçevesi, çerçeveyi bükmeye ve yan dikine kirişleri eğmeye zorlayan eksantrik kuvvetleri taşıyabilecek tarzda dizayn edilmelidir.

Kabin üst askı kirişi çerçevenin en üst kısmını oluşturur. Çoğu asansör sistemlerinde kabinin seyahat esnasındaki hareketini sağlayan halatların bağlantısı bu kirişler üzerindedir. Bu askı halatlarına, üst askı kirişi genellikle bağlama sacı ve zincirlerle bağlanırlar. Üst askı kirişi, kabin anma yükü nedeniyle büyük ölçüde eğilme gerilmesine maruz kalır.

Kabin alt kirişi çerçevenin tabanını oluşturur. Seyahat esnasında yolcular ve/veya yüklerin yerleştirildiği kabin platformu bu kiriş üzerine oturur. Kabin platformu diğer

asansör teçhizatı için destek olarak daha fazla fonksiyona sahiptir. Elektrik bağlantı kutuları ve hareketli kablo askı tertibatı platformun alt kısmına monte edilir. Alt kirişte, kabin anma yükü nedeniyle büyük ölçüde eğilme gerilmesine maruz kalmaktadır [2,11,12].

Kabin yan dikine kirişleri eksantrik yükü taşıyabilecek yeterlikte rijit olmalıdırlar. Dikine kiriş kesitleri kabin genişliğine etki etmemesi; kılavuz ray ve kabin kenarı arasında minimum yer kaplaması için belirli limitler içerisinde olmalıdır. Dikine kirişler gerekli mukavemete sahip olacak şekilde üst ve alttan sınırlandırılır. Kabin anma yükü nedeniyle meydana gelen bu eksantrik kuvvetler nedeniyle dikine kirişler büyük ölçüde eğilme ve çekme gerilmesine maruz kalır.

Kabin çerçevesi yapımında çerçeve elemanları olarak sıcak veya soğuk haddeden çekilmiş NPU profilli yapı çelikleri kullanılmaktadır. Üst ve alt kirişlerde genellikle NPU profilli iki adet sırt sırta getirilmiş yapı çeliği kullanılmakla birlikte yan kiriş olarak yine NPU profil veya köşebentler (L profil) kullanılmaktadır.

Kılavuz pabuçlar çerçeveye rijit olarak bağlanmalıdır. Genellikle bu bağlantı cıvatalar ile yapılır. Pabuçlar raylardan gelen tepki kuvvetlerini karşılayabilecek dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmalıdırlar. Pabuçlar kayan, döner ve tekerlekli olmak üzere üç şekilde tasarlanırlar.

Kabin eteği (ayak koruyucusu) kabin platformuna bağlanır ve bunlar kuyu eşik kenarlarıyla aynı hizada ve kapı açıklığının genişliği kadar olmalıdır. Kabin eteği çelikten veya çelikle denk mukavemet ve rijitlikteki başka bir malzemeden yapılır. Ayak koruyucuları platformun taban yüzeyinden zemine doğru uzanan düz bir dikey yüzeye sahiptir. Eteğin düşey bölümünün yüksekliği en az 0,75 m olmalıdır. Düşey bölümünün ucu, aşağıya doğru, yatay düzlemle en az 60° açı yapacak şekilde eğik bir kısımla uzatılmalıdır. Bu kısmın yatay düzlemdeki izdüşümü en az 20 mm olmalıdır.

Kabin tamamen deliksiz duvarlar, taban ve tavan ile çevrelenmiş olmalıdır. Kabin dış duvarı kabin platformu üzerine monte edilir ve kural olarak bir dizi panelin bir araya gelmesinden oluşur. Kabin dış duvarı ve kabin kaplama malzemeleri metal, yanmaya karşı dayanımlı ağaç veya aynı mukavemete sahip diğer bazı uygun malzemeler olmalıdır. Kabin duvarları, içten dışa doğru herhangi bir noktasında dik olarak yuvarlak veya kare şeklindeki 5 cm<sup>2</sup> alana eşit olarak dağılacak 300 N değerinde bir kuvvet uygulandığında; kalıcı bir şekilde şekil değiştirmemeli ve en fazla 15 mm

esnemelidir. Estetik düzenlemeler müşteri talebi veya mimarlar tarafından yapılır. Yolcu asansörlerinde kabinin iç kısımları binanın iç kısmının dekoratif düzenine uydurulmalıdır [11,13].

Eğer bir asansör izole edilecekse platform tertibatı kauçuk veya ses sönümleme özelliği olan başka bir malzemeden yapılmış izolasyon kaplaması üzerine yerleştirilir. Kabin duvarı, otomobillerde kullanılan astar boyasına benzer bir boyanın tüm dış yüzeye püskürtülmesi ile kendiliğinden izole edilmiş olur. Ses izoleli tutturucular kabin duvarını kabin yan kırıslara karşı korumak için kullanılır. Kabin duvarı veya platformu üzerine yapılan herhangi bir bağlantı uygun esnek birleştirme elemanları ile yapılır. Kabinin, ses ileten tüm boru ve kanalları platformdan izole edilir.

Kabin anma yükü, kabin içindeki net platform alanına bağlı olup ulusal ve/veya uluslararası standartlarda belirtilen değerden daha az olmamalıdır. Avrupa'da (EN 81-1) ve ABD'de (A 17.1) standartlarında yer alan maksimum net platform alanı ile anma yükü arasındaki ilişki Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Çizelgede verilen değerlerden daha büyük anma yükleri için her fazladan 100 kg için net platform alanına 0,16 m<sup>2</sup> eklenmelidir. Maksimum kişi sayısı ise toplam anma yükünün 75'e bölünüp çıkan sonucun altındaki en yakın sayının bulunması ile elde edilir.

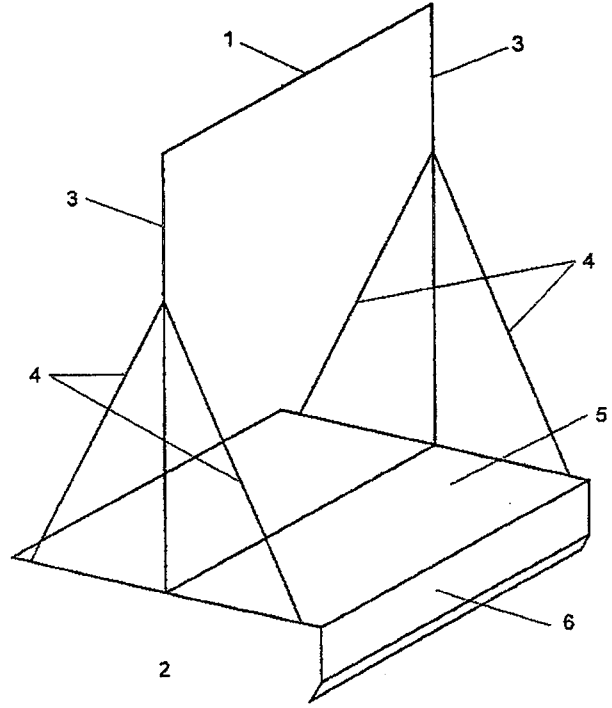
**Tablo 3.1** Maksimum net platform alanı [11].

| <b>Anma Yüğü(kg)</b> | <b>Maksimum Net Platform Alanı(m<sup>2</sup>)</b> | <b>Anma Yüğü(kg)</b> | <b>Maksimum Net Platform Alanı(m<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------|---------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
| 100                  | 0,37                                              | 900                  | 2,20                                              |
| 180                  | 0,58                                              | 975                  | 2,35                                              |
| 225                  | 0,70                                              | 1000                 | 2,40                                              |
| 300                  | 0,90                                              | 1050                 | 2,50                                              |
| 375                  | 1,10                                              | 1125                 | 2,65                                              |
| 400                  | 1,17                                              | 1200                 | 2,80                                              |
| 450                  | 1,30                                              | 1250                 | 2,90                                              |
| 525                  | 1,45                                              | 1275                 | 2,95                                              |
| 600                  | 1,60                                              | 1350                 | 3,10                                              |
| 630                  | 1,66                                              | 1425                 | 3,25                                              |
| 675                  | 1,75                                              | 1500                 | 3,40                                              |
| 750                  | 1,90                                              | 1600                 | 3,56                                              |
| 800                  | 2,00                                              | 2000                 | 4,20                                              |
| 825                  | 2,05                                              | 2500                 | 5,00                                              |

Asansör kabin duvarlarında genellikle sadece önden girişı sağlayan açıklık olmasına rağmen, hem önden hem de arkadan girişı sağlayacak açıklığa sahip modeller de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazen önden ve kenardan açıklığı olan asansör kabin duvarı da kullanılmaktadır. Ancak böyle bir asansörün kurulması daima bir yerleştirme problemi ortaya çıkarır.

Kabin çerçevesi olarak en sık rastlanan, karşılıklı iki kenarından kılavuz raylarla kılavuzlanmış ve yandan destekli konstrüksiyondur. Yandan destekli bir kabin çerçeve konstrüksiyonunun diyagramı Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Destek çubukları, kabin platform iskeletinden yan dikine kirişlerine uzatılmıştır. Bu çubukların görevi platformu yükleme ve taşıma esnasında desteklemek ve onu emniyetli bir pozisyonda tutmaktır [11].

1. Üst askı kirişi
2. Alt emniyet kirişi
3. Yan dikine kirişler
4. Destek çubukları
5. Kabin platformu
6. Kabin eteği (Ayak koruyucu)



Şekil 3.7 Yandan destekli kabin çerçevesinin diyagramı [11].

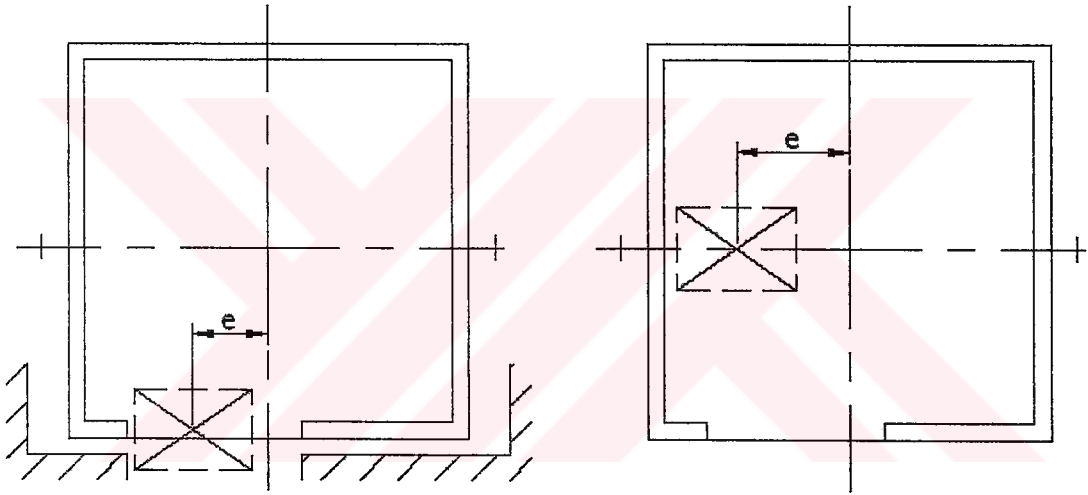
Asansör kuyusunun bitişik kenarlarında girişler olması halinde köşeden destekli kabin çerçevesi kullanılır. Bu tür konstrüksiyonlarda kılavuz raylar platformun köşelerine gelecek şekilde yerleştirilir. Şekil 3.6'da *cf* ve *ce* kenarları yükleme ve boşaltma için açık tutulmak zorunda olduğundan *c* ve *d* köşeleri için basit ve rijit olmayan sistem mümkündür. Sonuç olarak, bir üst askı kafes sistemi kullanılmalıdır. Bu kafes sistemi üst askı kirişe bağlanmış iki adet (*g* ve *h*) kirişten meydana gelir. Platform *c* ve *d* köşelerinden dikey desteklerle *i* üst askı kafes sisteminin uçlarından bağlanarak askıya alınmıştır.

Alttan destekli veya alttan askılı kabin çerçeveleri kullanılması halinde, üst ve alt kılavuz patenlerin eksenleri arasındaki dikey mesafe kılavuz raylar arasındaki mesafenin %40'ından az olmamalıdır.

### 3.4. Kabin Çerçevesi Hesabı

Kabin çerçevesi hesabı, yapılacak kabinin uzun ömürlü ve amaca uygun olmasını sağlayacak taşınan yolcu veya yüklerin emniyeti bakımından en önemli bilgileri içeren hesaplamalardır. Kabin çerçevesi ve kılavuzlama elemanları tüm çalışma koşullarında maruz kalınan kuvvet ve momentleri emniyetli bir şekilde taşıyabilecek tarzda tasarlanmalıdır.

Kabin çerçeve elemanlarına etki eden yükler diğer asansör teçhizatlarına göre daha karmaşıktır. Çünkü çerçeveler çok çeşitli yükler taşırlar. Eğer yükleme koşulları, yükün platforma nereden gireceği, nereden çıkacağı ve asansörün çalışması esnasında alacağı pozisyon bilinmiyorsa, çerçeve üzerine etki eden kuvvetler kesin olarak tespit edilemez. Bu durumda asansörün hareket halinde ve yüklendiğinde, herhangi bir anda yükün alacağı pozisyonu hakkında kesin bir tahmin yapmalıyız. Asansör kapısının tam açıldığı durumda, kabin içerisine giren yüklerin eksantrikliği giriş kapısının izin verdiğiinden fazla olamaz ve aynı şekilde yükün kabin içerisindeki eksantrikliği kabin duvarlarının boyutlarının izin verdiğiinden fazla olamaz. Bu durumun temsili resmi Şekil 3.8’de verilmiştir. Bu parametreler kabin çerçevesi tasarımında kullanılacak başlangıç noktalarıdır [8].



Şekil 3.8 Yükleme sırasında kabin çerçevesi üzerindeki yükün eksantrik konumu [8].

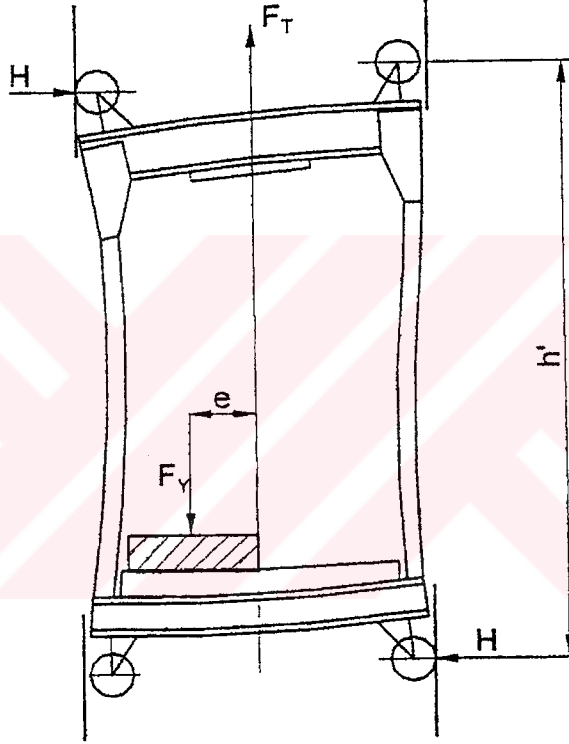
Her iki durumda da, kabin çerçevesi kendi düzleminde yüklemeden doğan büyük bir eğilme gerilmesine maruzdur. Bu gerilme değeri, kabin anma yükünün kabin çerçevesinin merkezine olan uzaklığı ile çarpımına eşittir.

Kabin çerçeve elemanlarının gerekli boyutlarını saptamada üst askı ve alt çarpma kirişlerinde nadiren zorlukla karşılaşırlar. Hesaplamalar çoğu durumda basit olmakla birlikte yan dikine kirişlerde durum biraz daha farklıdır.

Simetrik bir yükleme halinde esas olarak yan dikine kirişlerde çekme, üst askı kirişinde ve alt kirişte eğilme gerilmesi meydana gelecektir. Fakat yer değiştiren bir kabin anma yükünün varlığında bu yük çerçeve elemanlarında ilave gerilmeler meydana getirecektir. Bu durum yan dikine kirişlerde ilave bir eğilme gerilmesine ve



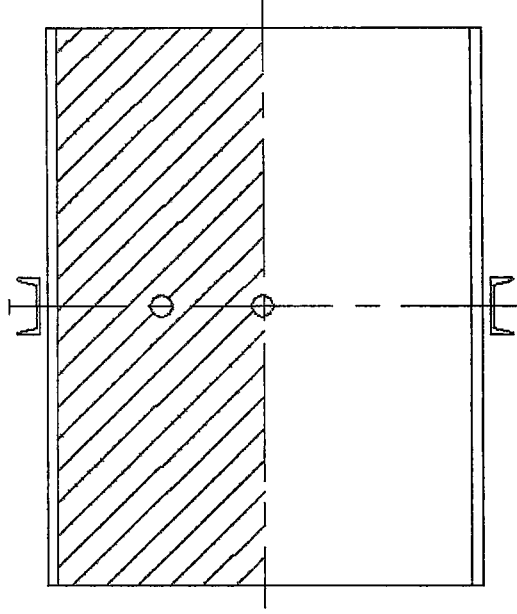
üst ve alt kirişlerde ise burulma gerilmesine neden olmaktadır. Çünkü bu durumda çerçeveye büyüklüğü, yük  $F_y$  ile eksantrikliğinin  $e$  çarpımı olan bir döndürme momenti etkir. Sonuç olarak, dikine kirişler bu eğilmeden dolayı bir miktar çökecek ve bu kabin platformunun bir tarafa doğru eğilmesine neden olacaktır. Bu moment kılavuz raylardan kılavuz pabuçlara gelen tepki kuvvetleri ile karşılanır. Kılavuz pabuçlara etkiyen tepki kuvvetleri çerçevenin dönmesini engellerken dikine kirişlerin bir miktar eğilmesine neden olurlar. Tipik bir örnek Şekil 3.9’da gösterilmiştir [8].



Şekil 3.9 Eksantrik yüklü çerçevede şekil değişimi [12].

Yük çerçeveye tekil olarak etkitilmiş, ancak gerçekte yük platform üzerine yayılı olarak etkir. Yükün platformun yarısına üniform olarak yüklenmesi hali için hesaplama gerçeğe daha yakın sonuçlar verecektir. Bu yükleme hali Şekil 3.10’da taralı alan ile gösterilmiştir [8].





Şekil 3.10 Kabin platformu üzerinde yük dağılımı [8].

Kabin çerçevesi, platform elemanları ve onların bağlantılarında müsaade edilebilecek maksimum gerilmeler ABD standartlarında (A 17.1), Avrupa standartlarında (EN 81-1) ve Türk standartlarında (TS 10922) belirtilmişlerdir [12].

Üzerlerine statik yük tesir eden bir kabin çerçevesi ve platformu için müsaade edilebilecek maksimum yer değiştirmeler (sehim) ise üst askı kirişi, alt emniyet kirişi ve çerçeve sistemi parçaları için mesnet aralıklarının  $1/960$  dan büyük olmamalıdır.

Yukarıda verilen bilgilerden sonra aşağıda farklı iki yaklaşım ile kabin çerçevesi hesabı incelenmiştir. Bunlardan ilki, günümüzde asansör imalatçıların referans aldığı belli kabuller yapılarak basite indirgenmiş olan hesaplama; ikincisi ise düzgün yayılı yüklemenin olduğu ve çerçevenin köşelerinde oluşan iç kuvvet ve momentlerin çerçeveyi oluşturan kiriş uçlarına uygulandığı daha ayrıntılı ve gerçeğe daha yakın olan hesaplama.

#### 3.4.1. Birinci Yaklaşım ile Hesap

Bu hesap yöntemi yandan destekli kabin çerçevesi ve platform elemanları için geçerli olup, çoğunlukla kabin çerçeve elemanlarının statik haldeki durumu göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmaktadır. Gerilme ve yer değiştirme için kullanılan bağıntılar genellikle köşeden destekli, alttan askılı ve diğer özel tip kabin çerçeve sistemleri için kullanılmazlar. Bu tür çerçevelerde bağıntılar bazı

düzeltilmeler yapılarak oluşturulur. Günümüz şartlarında asansör imalatçıları tarafından çoğunlukla tercih edilen bağlantı şekli cıvatalı olduğundan ilgili bağıntılarda buna göre oluşturulacaktır [11].

#### 3.4.1.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi ve Sehim

Üst askı kirişindeki gerilme hesap edilirken kabin en üst durakta ve anma yükü ile yüklenmiş farz edilir. Yani hareketli kabloların etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Üst askı kirişi iki ucundan mafsallanmış bir basit kiriş olarak düşünülür. Gerilme  $\sigma'_e$  ve sehim  $e$  için denklemler aşağıda verilmiştir. Bulunan eğilme gerilmesi değeri malzemenin emniyet gerilmesi değerinden küçük veya eşit olmalıdır.

$$\sigma'_e = \frac{(F_y + F_K)L}{4nW_e} \quad (3.1)$$

ve

$$e = \frac{(F_y + F_K)L^3}{48EJ_x n} \quad (3.2)$$

dir. Burada,  $F_T$  üst askı kirişine tesir eden toplam yük (N),  $F_y$  kabin anma yükü (N),  $F_K$  kabin ağırlığı (N),  $L$  kiriş uzunluğu (mm),  $E$  kiriş malzemesinin elastisite modülü (N/mm<sup>2</sup>),  $W_e$  x-x eksenine göre kiriş kesitinin eğilme mukavemet momenti (mm<sup>3</sup>),  $J_x$  x-x eksenine göre kiriş kesitinin atalet momenti (mm<sup>4</sup>),  $n$  kiriş adedidir.

#### 3.4.1.2. Kabin Alt Kirişinin Çarpmadan Doğan Gerilmesi

Kabinin tampona çarptığı zaman alt kirişinin tam ortasına isabet edecek şekilde çarpma tamponu kullanılmalıdır. Kabinin tampona çarptığı zaman kabin çarpma kırşında meydana gelecek gerilmeler tamponun kiriş ortasına çarptığı ve kirişin her iki ucuna gelecek yük kabin yükü ile kabin ve halat ağırlıkları toplamının yarısıdır. Bulunan eğilme gerilmesi değeri malzemenin emniyet gerilmesi değerinden küçük veya eşit olmalıdır [14].

$$\sigma_e' = \frac{(F_y + F_k + F_h)L}{n.2.W_e} \quad (3.3)$$

dir. Burada,  $F_h$  halat kütlesi (N),  $L$  alt kirişin uzunluğudur (mm).

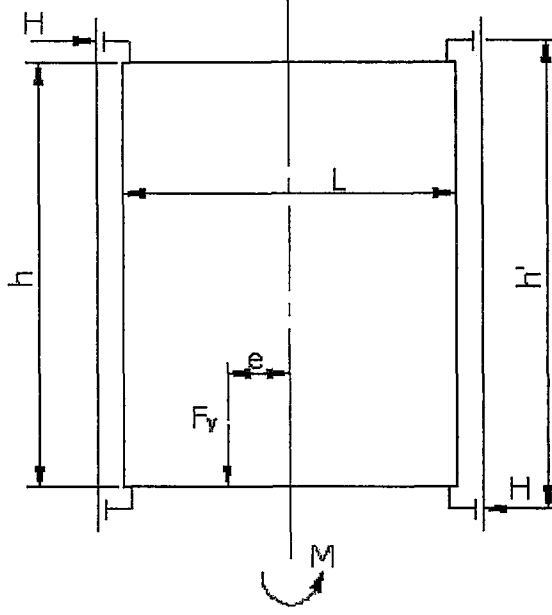
#### 3.4.1.3. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Boyut Kontrolü

Kabin çerçevesi yan kirişleri eğilme ve çekme gerilmeleri ile zorlanır. Kirişler için kritik olan gerilme değeri aşağıdaki eşitlik ile verilir. Bulunan eğilme gerilmesi değeri malzemenin emniyet gerilmesi değerinden küçük veya eşit olmalıdır.

$$\sigma = \frac{M.h}{4.h'.W_e} + \frac{(F_y + F_k + F_h)}{2(A_n - dt)} \quad (3.4)$$

Burada,  $A$  yan kirişlerin net kesit alanı ( $\text{mm}^2$ ),  $A_n$  kiriş kesiti ( $\text{mm}^2$ ),  $a$  civata deliklerinin toplam kesit alanı ( $\text{mm}^2$ ),  $d$  delik çapı (mm),  $M$  yükleme sınıfına bağlı döndürme momenti (N.mm),  $h$  yan kirişlerin uzunluğu (mm),  $h'$  patenler arası düşey uzunluk (mm),  $W_e$  çerçevenin bir tarafındaki yan kirişin kesit alanının eğilme mukavemet momenti ( $\text{mm}^3$ )dir.

Döndürme momenti kabine yerleştirilen yükün çerçeve eksenine göre eksantrik olmasından dolayı oluşmaktadır. Şekil 3.11'de eksantrik yüklenmiş çerçeve modeli gösterilmiştir [11].



Şekil 3.11 Döndürme momentinin hesabı için diyagram [11].

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi döndürme momenti kabin anma yüküyle onun tahmin edilen pozisyonunun eksantrikliği ile çarpımına eşittir. Yani;

$$M = F_y e \quad (3.4a)$$

Yan kirişlerin hesabı için döndürme momentinin değeri yükleme sınıfına göre belirlenir. Amerikan standartlarında (A 17.1) yükleme sınıfına göre döndürme momenti aşağıdaki formüller ile verilir [11].

A sınıfı yükleme: Yolcu veya genel yüklerin yüklenmesi durumu,

$$M = \frac{F_y L}{8} \quad (3.4b)$$

B sınıfı yükleme: Motorlu taşıtların yüklenmesi durumu,

$$M = \frac{F_y L}{8} \quad \text{veya} \quad M = F_y \left( \frac{L}{2} - 1220 \right) \quad (3.4c)$$

C sınıfı yükleme: Ağır yüklerle yükleme durumu,

$$M = \frac{F_y L}{4} \quad (3.4d)$$

#### 3.4.1.4. Yan Kirişlerin Burkulma Kontrolü

Ekseninden baskıya zorlanan ince sütunun kesitinin boyuna oranı küçük ise, bu sütunda burkulma oluşabilir. Asansör yan kirişlerinde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri genel olarak iki bölgede incelenir. Bunlardan ilki elastik bölgedir. Elastik bölgede malzemeye etki eden kuvvetler kalıcı deformasyon yaratmaz. Plastik bölgede ise malzemeye etki eden kuvvetler malzemede kalıcı deformasyon yarattığından elemanda bu değerlerde gerilmelerin oluşması istenmez.

Elastik bölge içinde kalan burkulma olayları için Euler'in teorisi, plastik deformasyonlara göre burkulma hesapları için bir tek teori yoktur. Bu teorilerin arasında bugün hala makine yapımı hesaplarında kullanılan Tetmajer teorisi ilk aklı gelendir. Plastik deformasyonun oluşmaması için hesaplanan burkulma gerilmesi, malzemenin orantılı mukavemet değerine eşit veya küçük olması gereklidir ( $\sigma_{bk} \leq \sigma_0$ ) [15].

Pratikte kullanılan Tetmajer'e göre hesaplama formülü şöyledir:

$$\sigma_{bk} = a - b\lambda_{he} \quad (3.5)$$

(3.5) denkleminde; a ve b değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2** Tetmajer formülündeki a ve b değerleri [15].

| Malzeme      | E (N/mm <sup>2</sup> ) | $\lambda_0$ | a (N/mm <sup>2</sup> )                             | b(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------|------------------------|-------------|----------------------------------------------------|-----------------------|
| St37         | 2,1.10 <sup>5</sup>    | 104         | 310                                                | 1,14                  |
| St50 St60    | 2,1.10 <sup>5</sup>    | 89          | 335                                                | 0,62                  |
| %5 Ni- Çelik | 2,1.10 <sup>5</sup>    | 86          | 470                                                | 2,30                  |
| Kır döküm    | 1,0.10 <sup>5</sup>    | 80          | $\sigma_{bk} = 776 - 12 \lambda + 0,053 \lambda^2$ |                       |
| Çam ağacı    | 1,0.10 <sup>4</sup>    | 100         | 29,3                                               | 0,194                 |

Yan kirişlerin burkulma kontrolünde hangi teorinin kullanılacağını tespit etmek için narinlik derecesi hesabı yapılacaktır. Yani  $\lambda_{he} \leq \lambda_0$  ise hesaplar plastik deformasyon teorilerine göre,  $\lambda_0 < \lambda_{he}$  ise hesaplar Euler'e göre yapılacaktır [15].

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_0}} \quad (3.6)$$

ve

$$\lambda_{he} = \frac{L_{bk}}{i_{\min} = \sqrt{J/A}} \quad (3.7)$$

Burada,  $E$  elastisite modülü ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\sigma_0$  orantılı mukavemet değeri ( $\text{N/mm}^2$ ),  $L_{bk}$  hesapsal burkulma boyu (mm),  $i_{\min}$  kesitin atalet yarıçapı (mm),  $A$  kesit alanıdır ( $\text{mm}^2$ ) dir.

Yapılan hesaplarda narinlik sayısı 20 ile 30 arasında ise burkulma hesabı yapılmaz, sütun veya parça doğrudan doğruya basma gerilmesi ile kontrol edilir. Çelik konstrüksiyon, kren ve köprü yapımı hesaplarında DIN 4114 standardında gösterilen Omega yöntemi ile hesaplar yapılır. Burada burkulma sayısı omega  $\omega$  yardımcı değer olarak kullanılır. Hesap formülü de şu şekildedir:

$$\sigma_{bk} = \frac{\omega \cdot F}{A} \leq \sigma_{BEM} \quad (3.8)$$

Pratikte omega değerleri Tablo 3.3'de gösterilmiştir [15].

**Tablo 3.3** Omega ( $\omega$ ) değerleri [15].

| $\lambda_{he}$ | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  | 200   | 220   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| St37           | 1,04 | 1,14 | 1,30 | 1,55 | 1,90 | 2,43 | 3,31 | 4,32 | 5,47 | 6,75  | 8,17  |
| St52           | 1,06 | 1,19 | 1,41 | 1,79 | 2,53 | 3,65 | 4,96 | 6,48 | 8,21 | 10,13 | 12,26 |
| Tahta          | 1,08 | 1,26 | 1,62 | 2,20 | 3,00 | 4,32 | 5,88 | 7,68 | 9,72 | 12,00 | 14,52 |

#### 3.4.1.5. Yan Kirişlerin Atalet Momentinin Emniyet Kontrolü

Bir asansör tesisinde kullanılacak yan dikine kirişlerde yüklemekten dolayı oluşacak atalet momenti, kullanılacak malzemenin atalet momentinden daha küçük olmalıdır [14].

$$I'_x = \frac{M.h^3}{457,2.E.H} \quad (3.9)$$

#### 3.4.1.6. Kabin Döşemesinin Gerilme Hesabı

Kabin döşemesinde taşıyıcı kiriş olarak kullanılacak kirişlerde oluşan eğilme gerilmesi,

$$\sigma'_e = \frac{M_e}{nW_e} \quad (3.10)$$

olarak verilmiştir. Burada n döşemedeki kiriş adedidir. Bulunan eğilme gerilmesi değeri malzemenin emniyet gerilmesi değerinden küçük veya eşit olmalıdır [14].

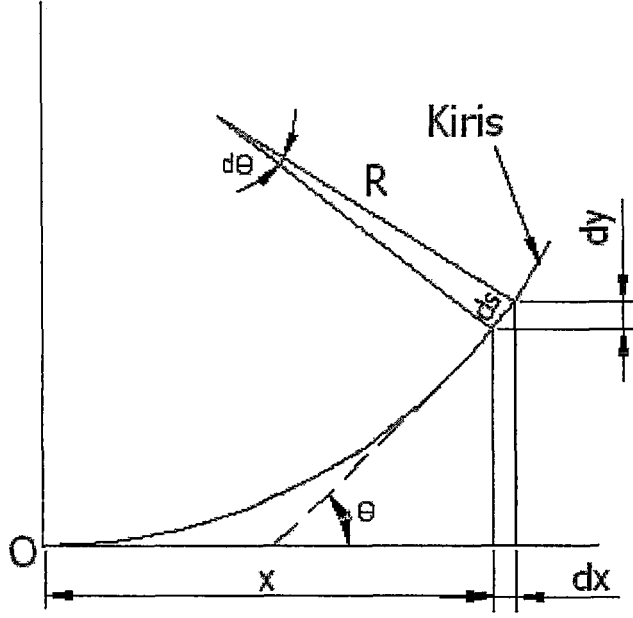
#### 3.4.2. İkinci Yaklaşım ile Hesap

Bu hesap yönteminde birincisinden farklı olarak yükün çerçeve tabanına düzgün yayıldığı düşünülür ve çerçevenin köşelerinde oluşan iç momentler de hesaba katılır. Böyle bir sistemde iç momentlerin hesabında kullanılacak matematiksel çözüm, çerçeveyi oluşturan kirişlerin uçlarında meydana gelen dönme açılarının eşit olduğunun kabul edilmesine bağlıdır. Aynı köşedeki üst kirişin ucundaki dönme açısı, aynı köşedeki dikey yan kirişin ucundaki dönme açısına eşit olmalıdır. Bu dönme açıları elastik eğrinin diferansiyel denkleminin entegrasyonu, moment-alan veya enerji metotları kullanılarak bulunabilir. Bulunan dönme açılarından aynı köşede olanların birbirlerine eşitlenmesi ile elde edilecek denklemler, statik denge denklemleri ile birlikte çözülerek çerçeve köşelerindeki iç moment ve kuvvetler hesaplanır [12].

Bu çalışmada, karkas köşelerindeki dönme açılarının (eğim) tespiti için iki katlı entegral metodu kullanılacaktır [12].

##### 3.4.2.1. Elastik Eğrinin Denklemi

Elastik davranan düz bir kiriş üzerine herhangi bir yük etki ettiğinde kirişin tarafsız eksenine elastik eğri denmektedir. Sabit yük altında elastik eğri R yarıçapında Şekil 3.12'de gösterildiği gibi bir yay haline gelir. Kiriş eğrisinin denklemi kurulmak istenirse aşağıdaki nümerik işlemler yapılmalıdır [16].



Şekil 3.12 Elastik eğri [17].

Kiriş üzerindeki  $ds$  elemanın eğimi;

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta \quad (3.11)$$

(3.11) denkleminin her iki tarafının  $x'$  e göre türevi alınırsa;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \sec^2 \theta \frac{d\theta}{dx} \quad (3.11a)$$

(3.11a) denklemini kısmi türev olarak ayırırsak;

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \sec^2 \theta \frac{d\theta}{ds} \frac{ds}{dx} \quad (3.11b)$$

Şekil 3.12'de görüldüğü gibi eğri geometrisinden  $R.d\theta = ds$ , kesikli çizgilerle gösterilen teğetin  $x$  eksenine yaptığı  $\theta$  açısının tanjantı alınırsa  $\tan \theta = \frac{dy}{dx}$  ve

$\frac{ds}{dx} = \sec \theta$  dir. Ayrıca  $\sec^2 \theta = 1 + \tan^2 \theta$  eşitliği ifadede yerine konursa denklem

aşağıdaki gibi olur:



$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3.12)$$

Kirişin yük altında yer değiştirmesi  $y$ , elastik sınırlar içinde küçük olduğundan  $dy/dx$  çok küçüktür. Bu ifadenin üslü değerleri ise bir yanında ihmal edilebileceğinden denklem aşağıdaki hale indirgenebilir [17].

$$\frac{1}{R} = \pm \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.13)$$

Eğilme momentinin yönü Şekil 3.12'deki eğriyi içbükey veya dışbükey şeklinde değiştireceğinden bir işaretle bu ayrım yapılmıştır. Ayrıca eğilme momentinden eşitlik aşağıdaki gibi olur;

$$\frac{d^2 y}{dx^2} EI = \pm M \quad (3.14)$$

Bu denkleme elastik eğri denklemi denir.

#### 3.4.2.2. İki Katlı Entegral Metodu

Kirişlerde meydana gelen şekil değişimlerinin hesap edilebilmesi için kullanılan metotlar arasında yerini alan iki katlı entegral metodunun yanı sıra süper-pozisyon metodu, moment-alan metodu ve enerji metodu da kullanılmaktadır. Bu dört metot arasından en genel olması ve işaret anlaşımlar bakımından karışıklığa meydan vermemesi nedeniyle iki katlı entegral metodu kullanılacaktır [18].

Elastik eğri denkleminin  $x$ 'e göre farklı derecelerden diferansiyelleri alınarak kiriş ve elastik eğriye ait bazı fiziksel özellikleri bulunur [18].

$$\text{Sehim} = y \quad (3.15)$$

$$\text{Eğim} = \frac{dy}{dx} \quad (3.16)$$

$$\text{Moment} = -M_x = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.17)$$

$$\text{Kesme kuvveti} = -T_x = -\frac{dM}{dx} = EI \frac{d^3 y}{dx^3} \quad (3.18)$$

$$\text{Yük} = -q_x = \frac{dT}{dx} = EI \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (3.19)$$

Elde edilen elastik eğrinin  $x$ 'e göre integrali alınarak elde edilen eğrinin eğimi saptanır. Bu eşitliğin  $x$ 'e göre integrali alınarak sehimi hesap edilir. Böylece;

$$y = \int \frac{dy}{dx} dx = \iint \frac{-M}{EI} dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.20)$$

bulunur. Buradaki  $C_1$  ve  $C_2$  değerleri integral sabitleri olup sınır şartlarındaki sehim ve eğim değerleri göz önüne alınarak saptanır.

$dy/dx = 0$  eşitliğinden maksimum sehimin olduğu kesit ( yani  $x$  değeri ) tespit edilir. Kirişin sahip olacağı maksimum sehim ise tespit edilen  $x$  değerinin olduğu noktada oluşur [18].

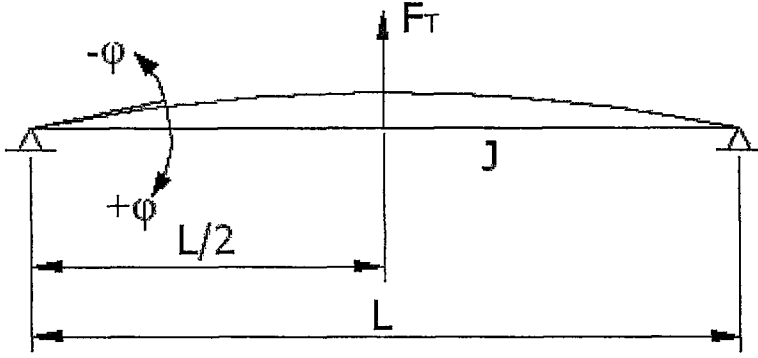
Kabin çerçevesinin köşe uçlarındaki iç momentlerin hesaplanmasından sonra kabin çerçevesini oluşturan parçalar bağımsız birer basit kiriş olarak düşünülebilir ve hesaplamalar buna göre yapılır [11].

Hesaplamalar üç farklı çalışma koşulu için yapılacaktır. Bu çalışma koşulları; normal çalışma, emniyet tertibatının çalışması ve çerçevenin tampona çarpması durumlarıdır. Her üç çalışma koşulunda yüklemenin simetrik olduğu, yükün kabin platformuna düzgün olarak yayıldığı ve çerçevenin üst kirişinin ortasından halatlarla askıya alındığı kabul edilecektir [12].

Yapılacak hesaplamalarda aşağıdaki yükleme durumları oluşabilir;

- Ortasında tekil yük bulunan basit kiriş:

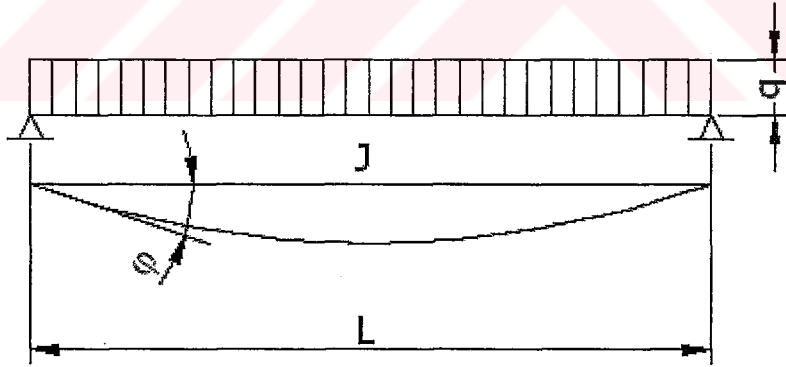
Şekil 3.13’de dönme açılarının negatif ve pozitif yönleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$\varphi = -\frac{F_T L^2}{16EJ} \quad (3.21)$$

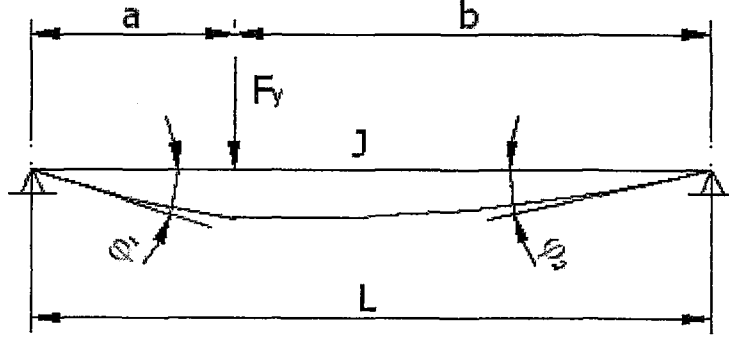
- Üzerinde düzgün yayılı yük bulunan basit kiriş:



Şekil 3.14 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$q = \frac{F_T}{L} \text{ olmak üzere, } \varphi = \frac{qL^3}{24EJ} \quad (3.22)$$

- Herhangi bir yerinde tekil yük bulunan basit kiriş:

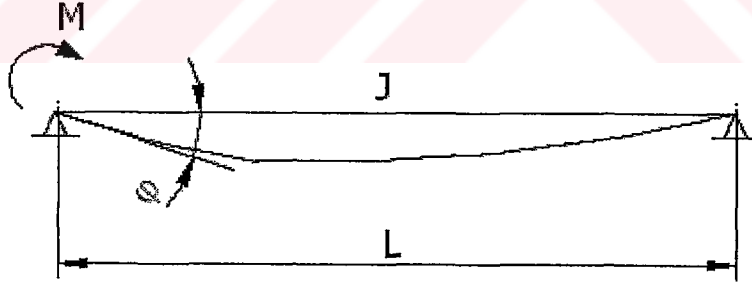


Şekil 3.15 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$\varphi_1 = \frac{F_y b (L^2 - b^2)}{6LEJ} \quad (3.23)$$

$$\varphi_2 = \frac{F_y a b (L + a)}{6LEJ} \quad (3.24)$$

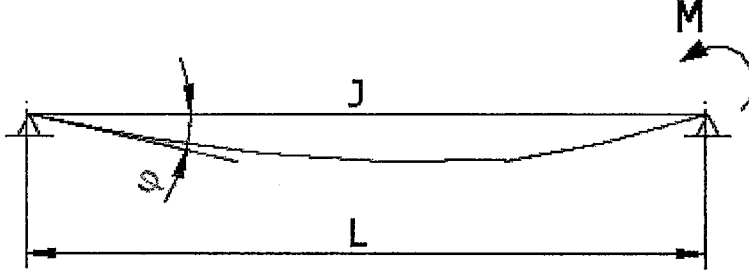
- Bir ucunda iç moment bulunan basit kiriş:



Şekil 3.16 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$\varphi = \frac{ML}{3EJ} \quad (3.25)$$

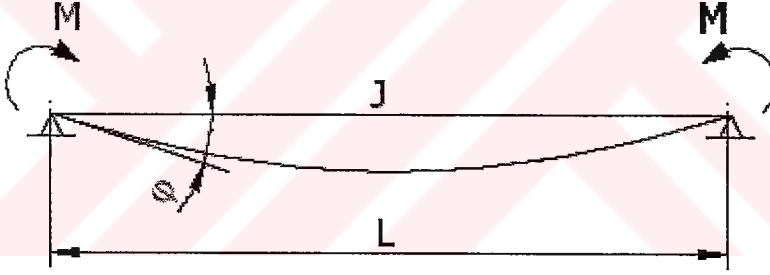
- Diğer ucunda iç moment bulunan basit kiriş:



Şekil 3.17 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$\varphi = \frac{ML}{6EJ} \quad (3.26)$$

- Her iki ucunda aynı değerde iç moment bulunan basit kiriş:



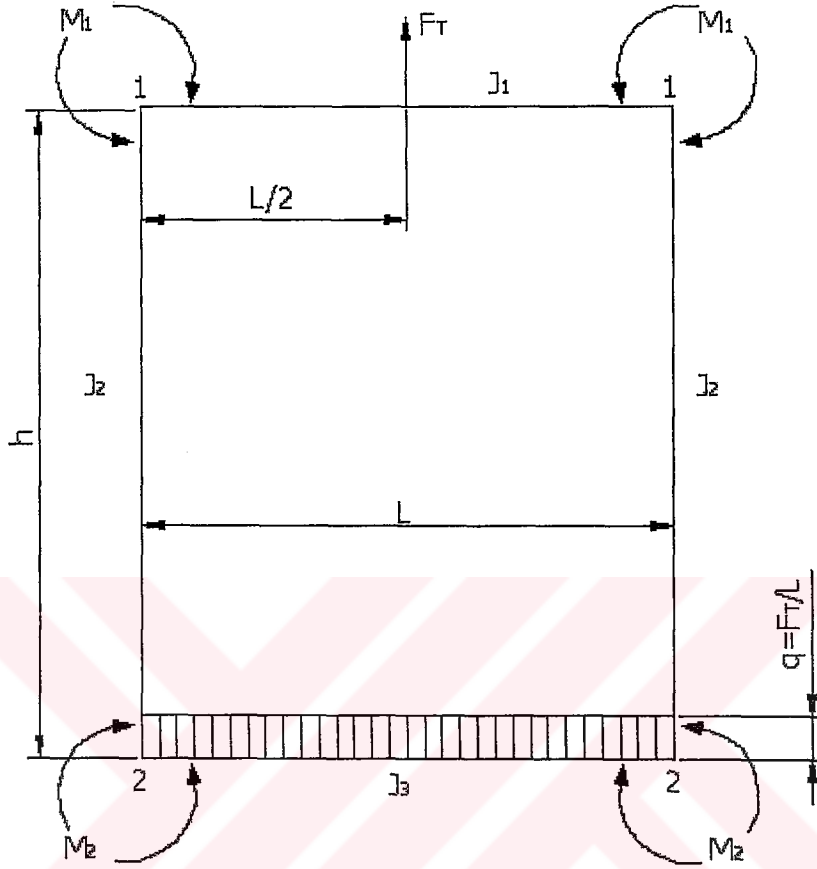
Şekil 3.18 Dönme açısının hesabı için diyagram [11].

$$\varphi = \frac{ML}{2EJ} \quad (3.27)$$

### 3.4.2.3. Normal Çalışma

Normal çalışma koşullarında üst askı kirişi kabin anma yükü ve kabinin kendi ağırlığının toplamı kadar bir yükü orta noktasından tekil bir şekilde etki edecek şekilde taşır. Çerçevenin simetrik olması ve yükün çerçevenin dikey eksenine simetrik yerleştirilmesinden dolayı çerçevenin üst kısmını oluşturan üst askı kirişinin köşelerindeki iç momentler birbirine eşit ( $M_1$ ), aynı şekilde çerçevenin alt kısmını oluşturan alt kirişlerin köşelerindeki iç momentlerde ( $M_2$ ) birbirine eşit olacaktır [11].

Şekil 3.19’da boyutlar, her bir kiriş ait atalet momentleri, kuvvet ve iç momentler çerçeve modeli üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler [11].

Üst askı kirişinin sol ucu ile yan dikine kirişin üst ucu arasında dönme açısı eşitliği kurulacak olursa iç moment  $M_1$  eşitliği elde edilir.

$$-\frac{F_T L^2}{16EJ_1} + \frac{M_1 L}{2EJ_1} = -\frac{M_1 h}{3EJ_2} - \frac{M_2 h}{6EJ_2} \quad (3.28)$$

$M_2$  momenti için eşitlik ise, alt kirişin sol ucundaki dönme açısının yan dikine kirişin alt ucundaki dönme açısına eşitlenmesiyle elde edilir.

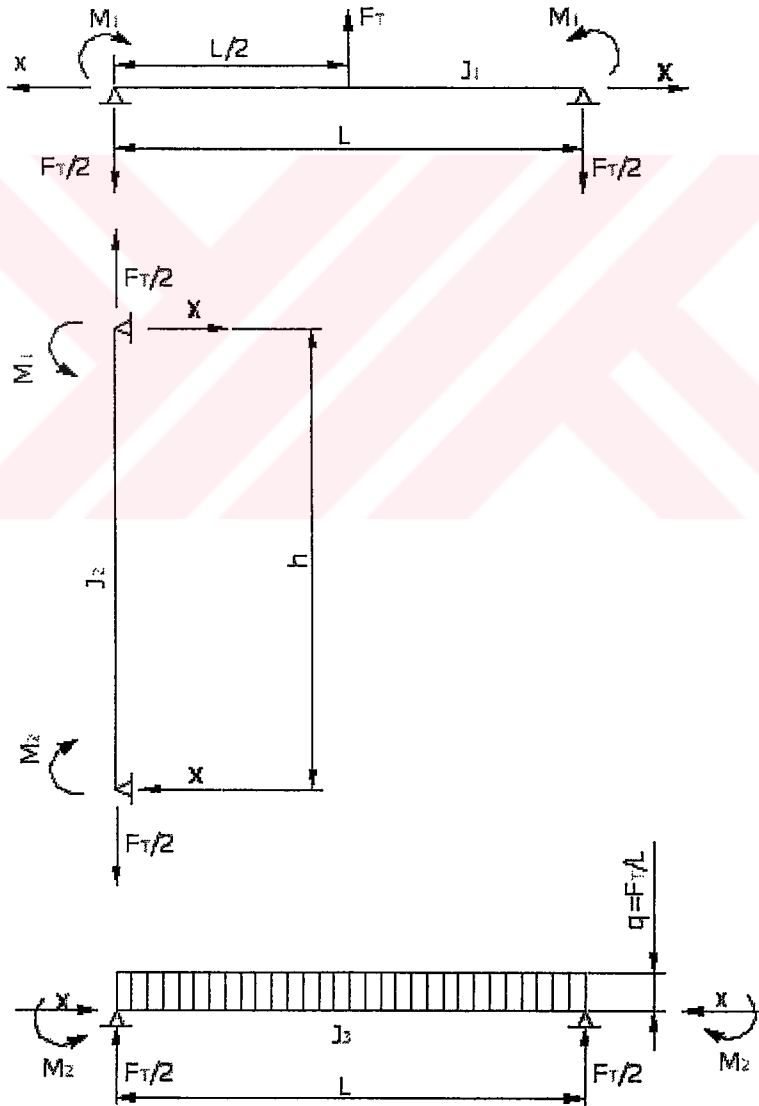
$$\frac{F_T L^2}{24EJ_3} - \frac{M_2 L}{2EJ_3} = \frac{M_2 h}{3EJ_2} + \frac{M_1 h}{6EJ_2} \quad (3.29)$$

Denklem (3.28) ve (3.29)'un birlikte çözülmesiyle  $M_1$  ve  $M_2$  iç momentlerinin değerlerini veren denklemler elde edilir. Bu denklemler aşağıda verilmiştir.

$$M_1 = \frac{F_T L^2}{24} \cdot \frac{6hJ_2J_3 + 9LJ_2^2 - 2hJ_1J_2}{h^2J_1J_3 + 2Lh(J_1J_2 + J_2J_3) + 3L^2J_2^2} \quad (3.30)$$

$$M_2 = \frac{F_T L^2}{24} \cdot \frac{4hJ_1J_2 + 6LJ_2^2 - 3hJ_2J_3}{h^2J_1J_3 + 2Lh(J_1J_2 + J_2J_3) + 3L^2J_2^2} \quad (3.31)$$

Şekil 3.20'de parçalarına ayrılmış bir kabin çerçevesi ve normal çalışma koşullarında üzerlerine etkiyen kuvvet ve momentler gösterilmiştir.

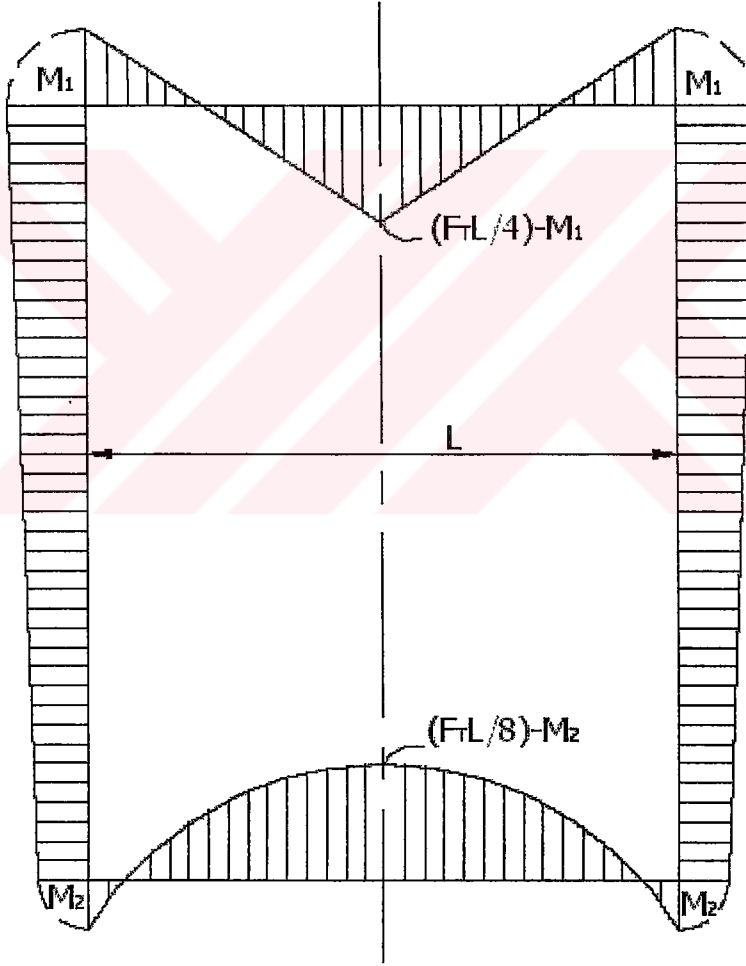


Şekil 3.20 Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler [11].

$M_1$  ve  $M_2$  iç momentlerinin değerleri arasındaki fark nedeniyle bir  $X$  iç kuvveti doğmaktadır. Bu kuvvet üst askı kirişini çekmeye, alt kirişi ise basmaya çalışır.  $X$  kuvvetinin değeri aşağıda verilmiştir.

$$X = \frac{M_1 - M_2}{h} \quad (3.32)$$

İç kuvvet ve momentler bulunduktan sonra kirişler birbirlerinden bağımsız birer basit kiriş olarak düşünülür ve basit kirişlerin mukavemet hesabında olduğu gibi gerekli mukavemet hesapları yapılır. Hesaplar daha önceki paragraflarda belirtildiği gibi en büyük zorlanma olan eğilmeye göre yapılır [12].



Şekil 3.21 Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı [11].



#### 3.4.2.4. Emniyet Tertibatının Çalışması

Şekil 3.22’de böyle bir çalışma koşullarında çerçeve elemanları üzerinde oluşacak moment ve kuvvetler gösterilmektedir. Paraşüt tertibatının (emniyet tertibatı) çalışması esnasında oluşacak dinamik kuvvet için kullanılacak bir  $\psi$  katsayısı mevcuttur. Denklem (3.33)’de bu katsayının değerini veren eşitlik gösterilmiştir [11].

$$\psi = 1 + \frac{a}{g} \quad (3.33)$$

Burada  $\psi$  dinamik kuvvet katsayısı,  $a$  yavaşlatma ivmesi ( $m/s^2$ ),  $g$  yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ ) dir.

Bu çalışma koşullarında da yükün çerçeve tabanına düzgün olarak yüklendiği kabul edilmiştir. Normal çalışma koşullarında iç momentlerin hesabı için kullanılan dönme açılarının eşitliğinden kurulan denklemler, bu çalışma koşullarında da sınır koşulları göz önünde bulundurularak üretilecektir. Bilinmeyen  $M_1$  ve  $M_2$  iç momentleri, denklem (3.34) ve (3.35)’teki eşitliklerin beraber çözülmesiyle elde edilir.

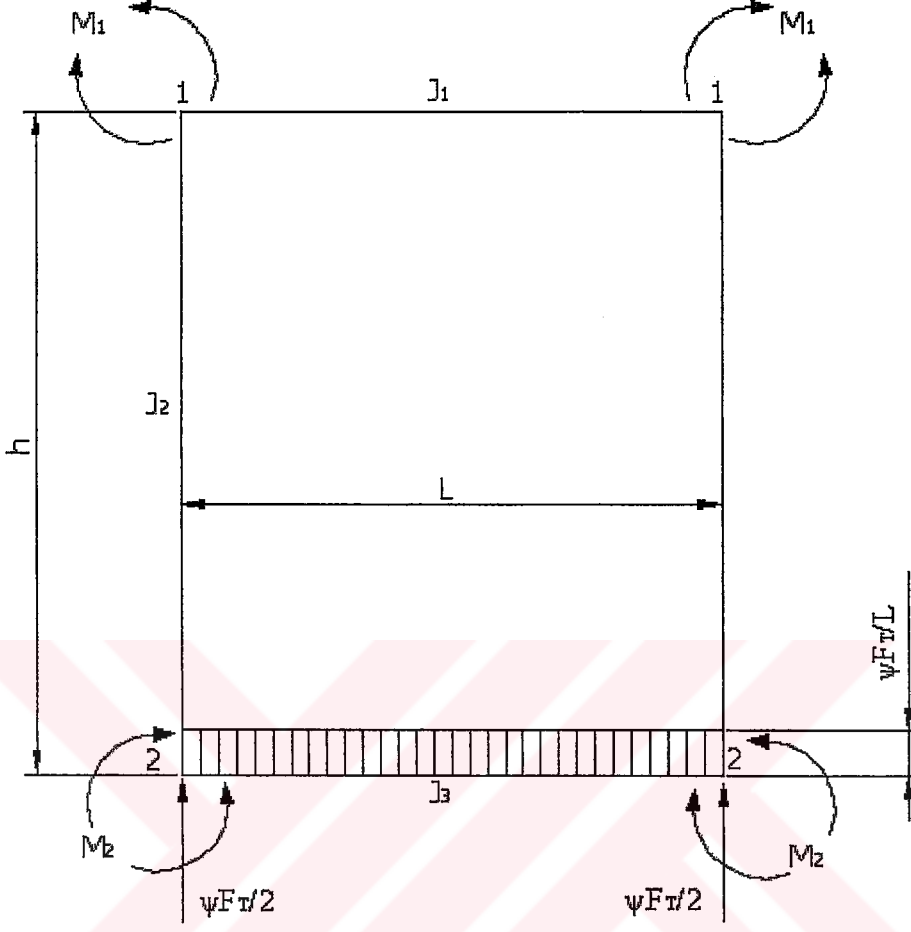
$$-\frac{M_1 L}{2EJ_1} = \frac{M_1 h}{3EJ_2} - \frac{M_2 h}{6EJ_2} \quad (3.34)$$

$$\frac{\psi F_T L^2}{24EJ_3} - \frac{M_2 L}{2EJ_3} = -\frac{M_1 h}{6EJ_2} + \frac{M_2 h}{3EJ_2} \quad (3.35)$$

Denklem (3.34) ve (3.35) birlikte çözülürse  $M_1$  ve  $M_2$  iç momentlerini veren ifadele elde edilir [11].

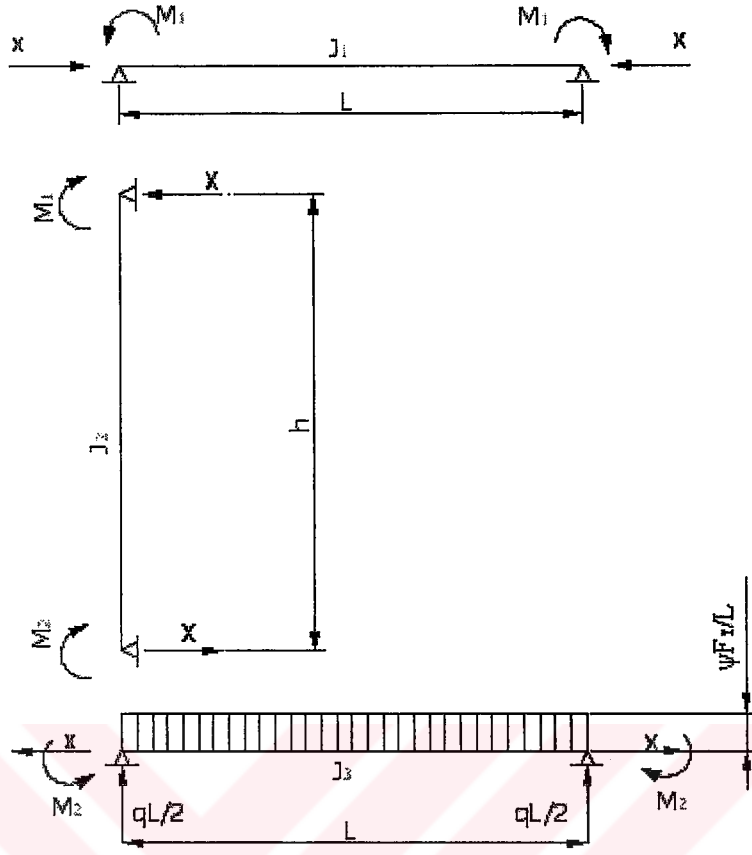
$$M_1 = \frac{\psi F_T L^2}{12} \cdot \frac{hJ_1 J_2}{h^2 J_1 J_3 + 2Lh(J_1 J_2 + J_2 J_3) + 3L^2 J_2^2} \quad (3.36)$$

$$M_2 = \frac{\psi F_T L^2}{12} \cdot \frac{2hJ_1 J_2 + 3LJ_2^2}{h^2 J_1 J_3 + 2Lh(J_1 J_2 + J_2 J_3) + 3L^2 J_2^2} \quad (3.37)$$

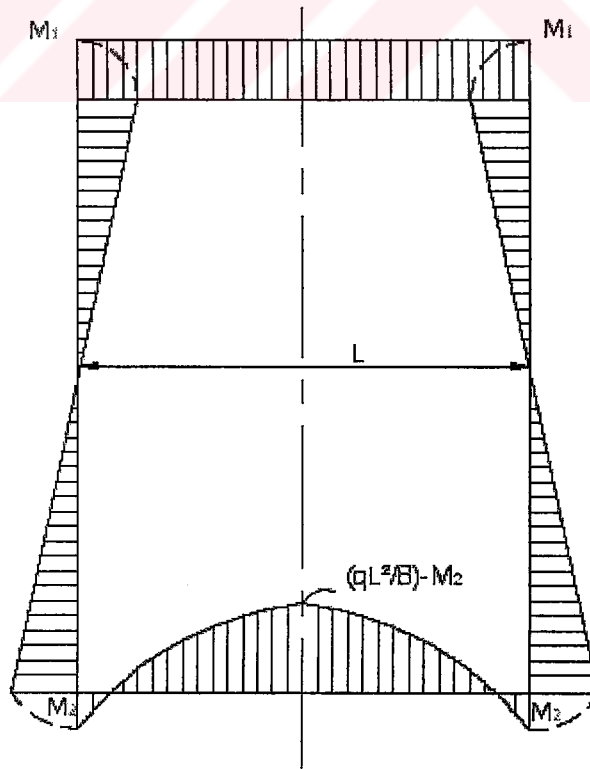


Şekil 3.22 Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler [11].

Şekil 3.23’de çerçevenin bağımsız elemanlarına tesir eden kuvvet ve momentler; Şekil 3.24’de ise paraşüt tertibatının çalışması halinde çerçevede oluşacak eğilme momentleri gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler [11].



Şekil 3.24 Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı [11].

İç kuvvet ve momentler bulunduktan sonra kirişler bağımsız birer basit kiriş olarak düşünülür ve bundan sonra her bir kiriş için mukavemet hesapları ayrı ayrı yapılır. Hesaplar en büyük zorlanma olan eğilme zorlanmasına göre yapılır. Şekil 3.24’de çizilen karkas üzerindeki moment dağılım diyagramından yararlanılarak hesaplamalar daha hızlı ve kolay bir biçimde tamamlanacaktır [12].

$M_1$  ve  $M_2$  iç momentleri arasındaki fark nedeniyle bir iç kuvvet oluşacaktır. Bu kuvvet (3.38) denklemi kullanılarak bulunur.

$$H = \frac{M_1 + M_2}{h} \quad (3.38)$$

#### 3.4.2.5. Çerçevenin Tampona Çarpması Durumu

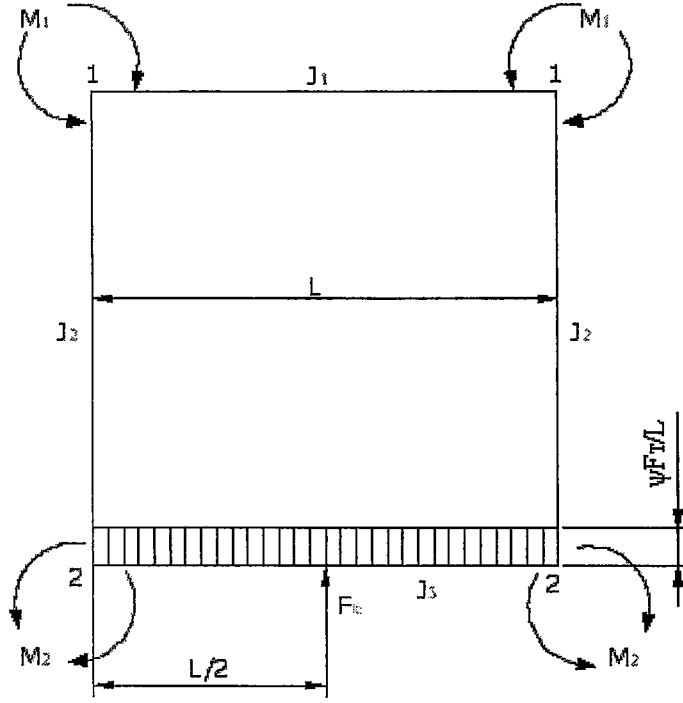
Kabinin tampona çarpması hali için çerçeve modeli Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Burada da paraşüt tertibatının çalışması durumunda olduğu gibi dinamik kuvvetlerin etkisini hesaba katmak için  $\psi$  katsayısı kullanılır. Yine aynı şekilde çerçeve tabanına düzgün yayılı bir yükün etki ettiği düşünülecektir. Tampon tepki kuvveti  $F_B$

$$F_B = F_T \psi = F_T \left( 1 + \frac{a}{g} \right) \quad (3.39)$$

ile bulunur [11]. Aynı şekilde aynı köşelerdeki dönme açılarının eşitliğinden  $M_1$  ve  $M_2$  iç momentlerinin tayini için ön eşitlikler bulunur.

$$\frac{M_1 L}{2EJ_1} = -\frac{M_1 h}{3EJ_2} + \frac{M_2 h}{6EJ_2} \quad (3.40)$$

$$-\frac{F_B L^2}{16EJ_3} + \frac{F_B L^2}{24EJ_3} + \frac{M_2 L}{2EJ_3} = -\frac{M_2 h}{3EJ_2} + \frac{M_1 h}{6EJ_2} \quad (3.41)$$



Şekil 3.25 Çerçeve modeli üzerindeki boyutlar, atalet momentleri, kuvvet ve momentler [11].

Denklem (3.40) ve (3.41) birlikte çözülerek  $M_1$  ve  $M_2$  iç momentlerini veren bağıntı elde edilir. Bu bağıntılar aşağıdaki gibi olur.

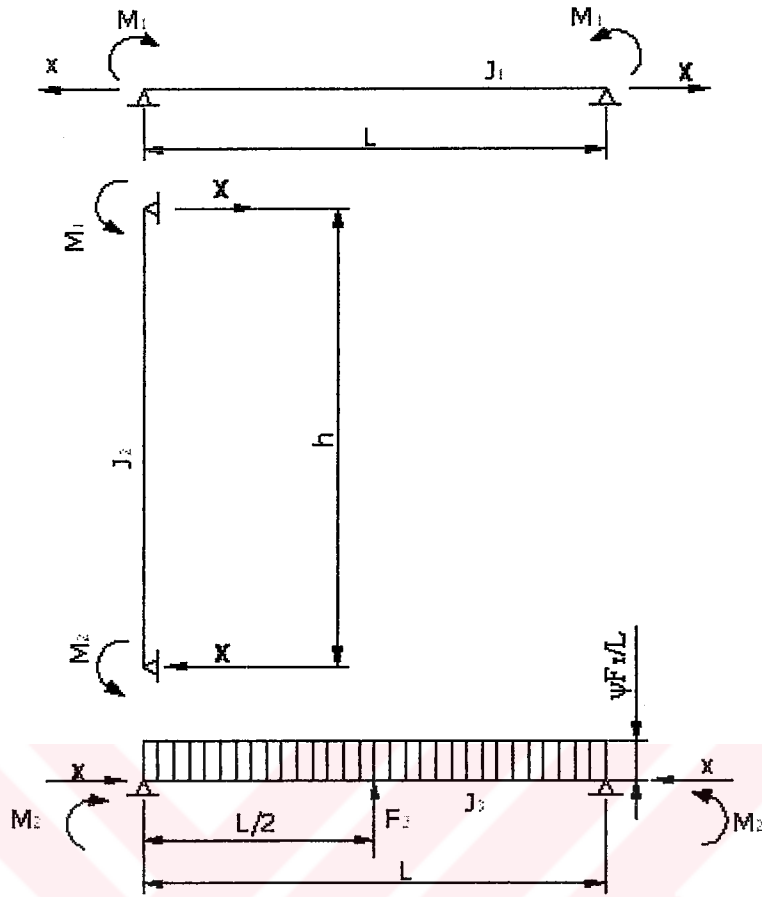
$$M_1 = \frac{F_B L^2}{24} \cdot \frac{h J_1 J_2}{h^2 J_1 J_3 + 2 L h (J_1 J_2 + J_2 J_3) + 3 L^2 J_2^2} \quad (3.42)$$

$$M_2 = \frac{F_B L^2}{24} \cdot \frac{2 h J_1 J_2 + 3 L J_2^2}{h^2 J_1 J_3 + 2 L h (J_1 J_2 + J_2 J_3) + 3 L^2 J_2^2} \quad (3.43)$$

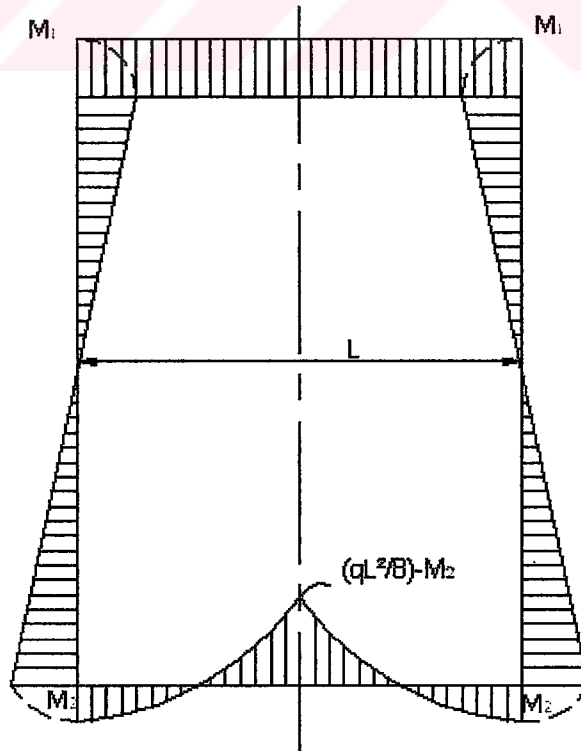
Kabin çerçevesinin parçalarına ayrılmış elemanları üzerine tesir eden yükler Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Kabinin tampona çarpması durumunda kabin çerçevesi üzerindeki eğilme momenti dağılımı Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Paraşüt tertibatının çalışmasında olduğu gibi iç moment farkından bir iç kuvvet oluşur. Bu kuvvet;

$$X = \frac{M_1 + M_2}{h} \quad (3.44)$$

İç kuvvet ve momentler bulunduktan sonra kirişler bağımsız birer kiriş olarak düşünülür ve gerekli mukavemet hesapları yapılır. Hesaplar eğilmeye göre yapılır.



Şekil 3.26 Parçalarına ayrılmış çerçeve üzerine tesir eden kuvvet ve momentler [11].



Şekil 3.27 Çerçeveye ait eğilme momenti diyagramı [11].

#### 4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislerin karşılaştığı karmaşık ve zor fiziksel problemleri kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla çözeabilen sayısal bir yöntemdir [19].

Sonlu elemanlar yöntemi matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanının almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme sahiptir [20].

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır [20].

##### 4.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihsel Gelişimi

“Sonlu Elemanlar Yöntemi” ismi yeni verilmiş olmasına rağmen, arkasındaki temel fikir yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin, eski matematikçiler, bir çemberin çevre uzunluğunun bulunması problemini etrafına poligon çizerek çözmüşlerdir. Poligonun köşe sayısı ne kadar arttırılırsa sonuca o kadar yaklaşılmaktadır. Burada poligonun kenarları sonlu elemanlar olarak kabul edilebilir. Bu işlemin karakteristikleri, günümüzdekiler de dahil tüm sonlu elemanlar metodu problemleri için geçerlidir [21].

Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt

yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telaffuz edilmiştir [19]. Clough yapmış olduğu çalışmada, perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımını ele almıştır [21].

İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlar olup (Grafton ve Strome (1963)), bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir (Gallagher (1969)). Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında lineer olmayan problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak lineer olmayan problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk Martin (1965) tarafından tartışılmıştır. Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı (Zienkiewicz ve diğerleri (1966) ve Koenig ve Davids (1969)). 1943 yılında Courant bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir [22].

Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleştirilmiştir [22].

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin Zienkiewicz ve Cheung (1965) sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Aynı zamanda, Zienkiewicz ve Cheung (1965) "Sonlu Elemanlar Yöntemi"nin geniş bir uygulama alanı olduğunu göstermiş ve tüm alan problemlerine uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır [23,24]. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer bir çok alana uygulanmaktadır [22].

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yıllarının ortaları itibariyle sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlanmıştır [22].



## 4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Uygulama Alanları

Sonlu Elemanlar Yöntemi, özellikle son otuz yılda olgunlaşmıştır. Kompleks ve pahalı kritik problemlerin çözümünde çok kullanılan bir metottur. Yapısal dayanım dizaynı, akışkan akış problemleri, darbe analizleri (su altı ve malzeme içinde) , akustik, termal analiz, titreşim, çarpışma simülasyonları, elektrik analizleri, kütle geçişi, burkulma problemleri, dinamik analizler, elektromanyetik değerlendirme, metallere şekil verme gibi çok geniş çalışma ve uygulama alanlarına sahiptir [25]. Sonlu Elemanlar Yönteminin uygulama alanlarını genel olarak aşağıdaki gibi üç grupta toplamak mümkündür [19].

Özdeğer problemleri; denge problemlerinin bir uzantısıdır. Gerçekte denge ve özdeğer problemleri sınır değer problemleridir. Özdeğer problemlerinde bazı özel ve kritik değerler de tayin edilmelidir. Bu gruba giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve öz titreşimleri, lineer viskoelastik sönümlleme, burulma, göl ve limanlarda dalgaların serbest titreşimleri, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması gibi problemler sayılabilir [19].

Denge problemleri; bu tip problemlerde sistemin durumu zamanla değişmez, bunlara “sabit (kararlı) hal problemleri” de denir. Bu tür problemlere örnek olarak makina ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler gösterilebilir [19].

Yayıma problemleri; zamana bağlı olan problemlerdir; sistemin ardışık durumları başlangıç şartlarına bağlı olarak belirlenir. Bunlara “başlangıç değer problemleri” de denir bu gruba giren problemler arasında yapılarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, viskoelastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akışlar sayılabilir [19].

Sonlu Elemanlar Yönteminin yapı, zemin, ısı, hidrodinamik gibi bir çok çeşitli mühendislik alanlarında uygulanabilmesi ve bilgisayarlar için sistematik genelleştirilmesi, yöntemin konstrüktörler ve araştırma mühendisleri tarafından geniş ölçüde benimsenmesine yol açmıştır. Sonlu Elemanlar Yönteminin ilk ve en geniş uygulama alanı “Gerilme Analizi”dir. Sonlu Elemanlar Yönteminin gerilme analizi problemlerine uygulanmasında üç yaklaşım vardır :

- (a) Yer Değiştirme Yöntemi
- (b) Kuvvet Yöntemi
- (c) Karma Yöntem

Bunlardan birincisinde yer değişimleri ve deformasyonlar; ikincisinde kuvvetler ve gerilmeler; üçüncüsünde bazı yer değişimleri ve bazı kuvvetler bilinmeyenler veya serbest değişkenler olarak ele alınmaktadır [19].

#### **4.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları ve Sınırları**

Sonlu Farklar Yöntemi, Ağırlıklı Artıklar Yöntemi gibi sayısal yöntemlerin çoğu, bilgisayar çağı başlamadan önce gelişmiştir ve sonradan bilgisayarlara uyarlanmıştır. Bunun aksine, Sonlu Elemanlar Yöntemi bilgisayar çağının bir ürünüdür. Bu nedenle Sonlu Elemanlar Yöntemi'nin diğer sayısal yöntemlere göre yüksek hızlı bilgisayarlara daha uygun gelen özellikleri vardır. Bu özelliklerin başlıcaları aşağıda belirtilmiştir :

1. Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle, verilen bir cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
2. Çok bağlantılı bölgeler (yani bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
3. Değişik malzeme ve/veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme lineer olmayan, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağlı) malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
4. Sebep-sonuç bağıntılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş "kuvvetler" ve "yer değiştirmeler" cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliği problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
5. Sınır şartları kolayca uygulanır.
6. Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verir [26].

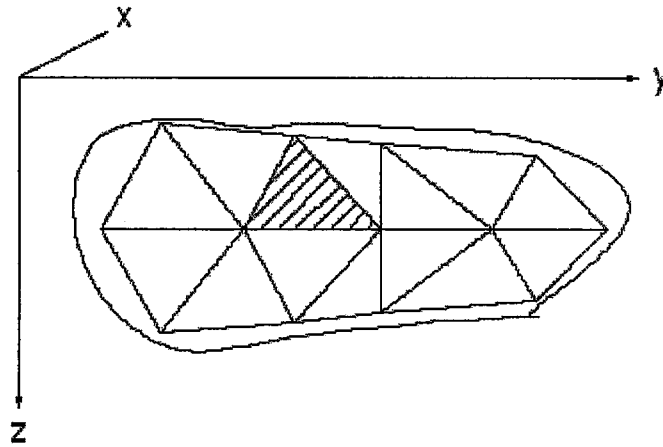
Sonlu Elemanlar Yönteminin yukarıda açıklanan avantajlarının yanında bazı sınırlamaları da vardır. Bunlar :

1. Bugünkü haliyle yöntemin bazı karmaşık olaylara uygulanmasında, diğerlerine göre daha büyük zorluklarla karşılaşmakta ve her zaman istenen sonuçlar alınamayabilmektedir. Örneğin çatlama, kırılma davranışı, temas problemleri, yumuşayan lineer olmayan malzeme davranışı gibi.
2. Genellikle büyük bilgisayar belleğine ve uzun hesaplama zamanına ihtiyaç duyulmaktadır.
3. Ancak malzeme parametreleri ve katsayıları iyi tanımlanmışsa, gerçekçi sonuçlar verir.
4. Diğer yaklaşık yöntemlerde de olduğu gibi Sonlu Elemanlar Yöntemi'nden alınan sonuçlar dikkatlice değerlendirilmelidir. Formülasyonda kullanılan varsayımlar ve yaklaşıklıklar sonuçların değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır
5. Doğru sonuç elde edebilmek için sürekli ortamın bölünmesi ve çok sayıdaki giriş bilgileri hatasız olmalıdır. Programın verileri iyi kontrol edilmelidir [19].

#### 4.4. Sonlu Elemanlar Yönteminin Elastik Sürekli Ortamlara Uygulanması

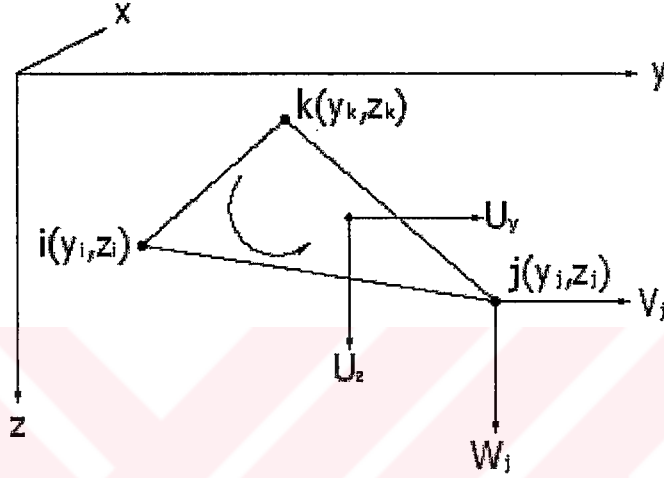
Sonlu elemanlar yöntemi, elastik ve sürekli ortamlara genellikle aşağıdaki adımlar ile uygulanır.

1. Sürekli ortam, eğri veya yüzeylerle belli şekil ve sayıda “sonlu elemanlara” bölünür. Örneğin, Şekil 4.1’de çözüm bölgesi üçgen elemanlara ayrılmıştır [19].



Şekil 4.1 Çözüm bölgesinin üçgen elemanlara ayrılması [19].

2. Sonlu elemanlar, birbirlerine ve sürekli ortama belli sayıda “düğüm noktası” ile bağlıdır. Bu düğüm noktalarının yer değişimleri (veya dönmeleri) problemin “bilinmeyenleri” veya sistemin “serbest (bağımsız) değişkenleri” dir. Örneğin Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de üçgen elemanların i, j, k köşeleri düğüm noktalarıdır; bunlar iki doğrultuda hareket edebilir, yani iki serbestlik derecesine sahiptir. O halde üçgen eleman altı serbestlik derecesine sahiptir, yani üçgen elemanda bilinmeyenlerin sayısı altıdır, bunlara “düğüm yer değiştirmeleri” denir [19].



Şekil 4.2 Bir üçgen eleman ve düğüm noktaları [19].

3. Serbest değişkenlerin sonlu eleman içindeki değişimleri “değişken (yer değişimi) fonksiyonları” veya “değişken (yer değişimi) modelleri” ile ifade edilir.
4. Sonlu elemanın deformasyon hali, deformasyon–yer değişimi bağıntıları kullanılarak; gerilme hali gerilme-deformasyon bağıntıları kullanılarak düğüm yer değiştirmeleri cinsinden ifade edilir.
5. Sonlu elemana etki eden bütün iç ve dış yükler dengede olmalıdır. Bunun için minimum potansiyel enerji prensibi kullanılmak suretiyle denge denklemleri kurulur. Örneğin üçgen eleman için altı denge denklemi yazılır.
6. Yukarıdaki inceleme her sonlu eleman için ayrı ayrı yapılır ve aynı düğüm noktasına komşu elemanlardan gelen etkiler toplanır. Böylece sürekli ortamın çözüm bölgesi için bir denklem takımı elde edilir. Mesela düzlem deformasyon hali için düğüm sayısının iki katı kadar denklem elde edilir.
7. Sürekli ortamın sınırlarındaki şartlar kullanılır ve denklem takımı çözülür. Böylece düğüm yer değişimleri bulunur.

8. Düğüm yer değişimleri yardımı ile elemanlardaki deformasyon hali, gerilme hali bileşenleri ve istenirse asal gerilmeler hesaplanır [19].

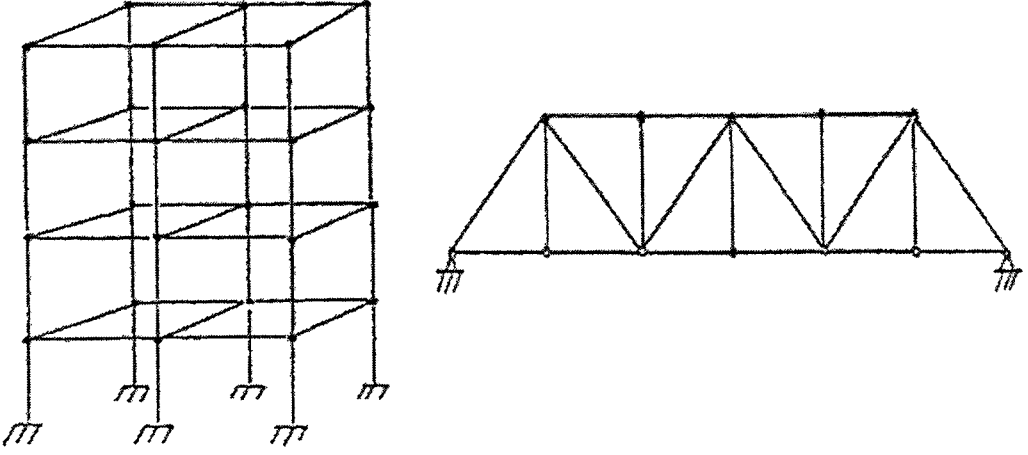
Sonlu elemanlar analizinde,  zet olarak işlem adımlarını bir araya getirdiğimizde Tablo 4.1’deki adımlar uygulanacaktır.

**Tablo 4.1** Sonlu elemanlar analizinde temel adımlar

|                      |                                                                                                            |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oluşum Evresi        | Eleman tipi seçilir                                                                                        |
|                      |  z m bölgesi sonlu elemanlara ayrılır                                                                     |
|                      | İnterpolasyon fonksiyonu seçilir                                                                           |
|                      | Bir sonlu elemanın fiziksel davranışını temsil edebilmek için şekil fonksiyonu oluşturulur                 |
|                      | Bir sonlu eleman için denklem sistemi oluşturulur                                                          |
|                      | Bütün  z m bölgesinde elemanlar bir araya getirilerek rijitlik matrisi oluşturulur                        |
|                      | Sınır koşulları, yükleme ve başlangıç koşulları sisteme uygulanır                                          |
|  z m Evresi         | Lineer veya lineer olmayan cebirsel denklemler, düğüm noktası bazında çözümler elde edebilmek için çözülür |
| Değerlendirme Evresi | Analiz sonucunda diğer önemli bilgilere ulaşılır                                                           |

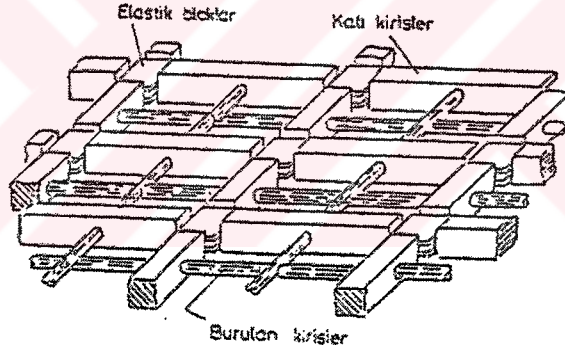
#### 4.5. Sonlu Elemanlarla İlgili  zellikler

Sonlu elemanlar metodunun temelinde parçadan bütüne gitme prensibi bulunmaktadır. Bu prensip ilk önce şekil 4.3’te görülen kiriş-kafes yapıları üzerinde uygulanmıştır. Daha sonra iki ve üç boyutlu sürekli ortamlar şekil 4.4’te görüldüğü gibi, değişik boyutlarda kiriş elemanlarından meydana gelmiş olarak d ş n lm ş ve bu yaklaşıma “parçalı eleman yöntemi” (discrete element method) adı verilmiştir [19].



Şekil 4.3 Kiriş-kafes yapı sistemleri [19].

Sonlu eleman kavramı, fiziksel bakımdan kiriş-kafes yaklaşımından farklıdır. Sonlu eleman, iki veya üç boyutlu sürekli ortamın iki veya üç boyutlu bir parçası veya bölgesidir. Fiziksel sistemin davranışı sonlu elemanların geometrileri ve malzeme özellikleri ile belirlenir. O halde önce sonlu elemanın özellikleri bilinmelidir.



Şekil 4.4 İki boyutlu sürekli ortamın kiriş kafes sistemi gibi incelenmesi [19].

#### 4.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Çeşitleri

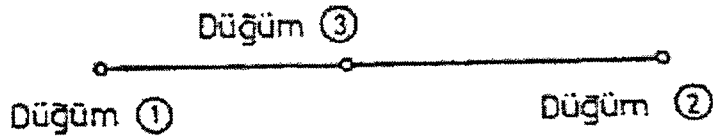
Bir sürekli ortamın en uygun şekilde sonlu elemanlara bölünmesi problemi çözüme bağlıdır. Önce sonlu elemanın şekli seçilmelidir. Bu seçim, sürekli ortamın boyutuna, yapının veya cismin geometrisine uygun olmalıdır. Sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Sonlu elemanın sınırları genellikle doğrulardır; ancak bazı problemlerde eğri sınırlı sonlu elemanlar da kullanmak mümkündür ve faydalıdır.

Sürekli ortamın geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa bir boyutlu sonlu elemanlar

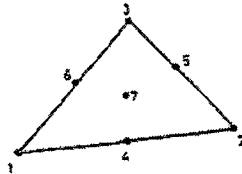
tercih edilir. Söz konusu koordinat elemanın ekseni boyunca ölçülür. Şekil 4.5’de bir boyutlu bir sonlu eleman gösterilmiştir. Bu sonlu elemanı komşu sonlu elemanı komşu sonlu elemanlara bağlayan (1 ve 2) noktalarına “dış düğüm noktaları”, (3) noktasına “iç nokta” denir [19].

Bir boyutlu elemanlar yapısal ve ısı transferi problemlerinde kullanılabilirler. Herhangi bir noktadaki yer değişiminin veya sıcaklığın tespit edilebilmesi için bir boyutlu elemanlarda lineer, ikinci mertebeden veya üçüncü mertebeden interpolasyon fonksiyonu seçmek mümkündür. Burada dikkat edilmesi gereken, lineer eleman için iki, interpolasyon fonksiyonu ikinci mertebeden olan eleman için üç, üçüncü mertebeden bir boyutlu eleman için dört adet düğüm noktasının olması gerektiğidir. Doğruluk derecesi interpolasyon fonksiyonunun mertebesi arttıkça artacaktır [20].

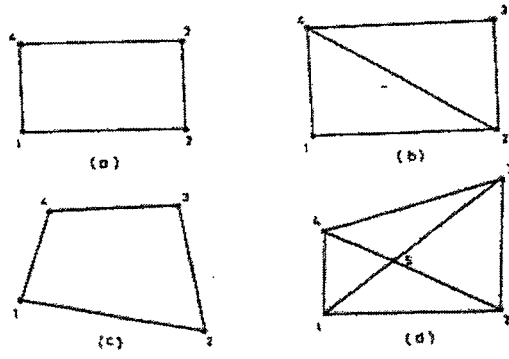
Katı mekaniğinde birçok problemler, yaklaşık olarak, “iki boyutlu sonlu elemanlarla” çözülebilir. Bunların en basiti üçgen elemandır. Şekil 4.6’da gösterilen üçgen elemanda (1,2,3) noktaları, bu üçgen elemanı komşu sonlu elemanlara bağlayan, “dış düğüm noktaları”, (4,5,6) “kenar noktaları”, (7) “iç nokta” olarak bilinir. Şekil 4.7 diğer iki boyutlu sonlu elemanları; (a) dikdörtgen elemanı; (b) iki üçgenli dik dörtgen elemanı; (c) dörtgen elemanı; (d) dört üçgenli dörtgen elemanı göstermektedir. [19].



Şekil 4.5 Bir boyutlu bir sonlu eleman [19]

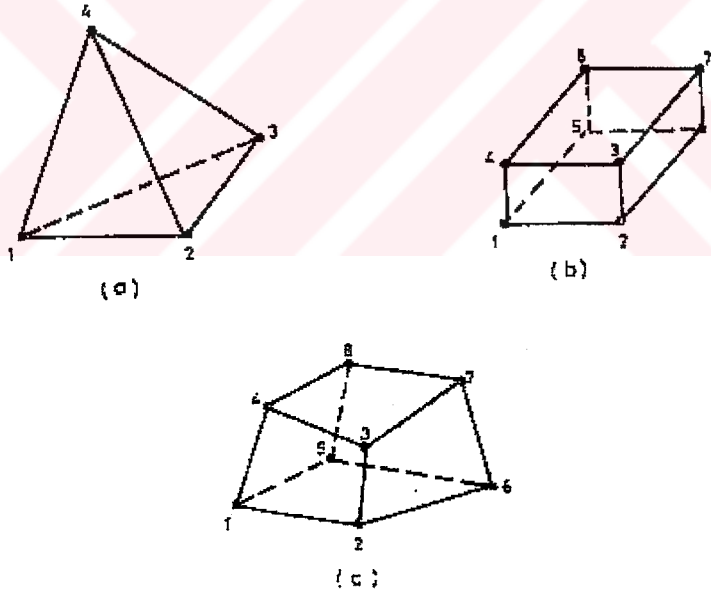


Şekil 4.6 Bir üçgen sonlu eleman [19].



Şekil 4.7 İki boyutlu (a) Dikdörtgen, (b) İki üçgenli dikdörtgen, (c) Dörtgen, (d)Dört üçgenli dörtgen sonlu elemanlar [19].

Eksenel simetrik cisimlerde kesiti üçgen veya dörtgen olabilen “toroid veya halka sonlu elemanlar” kullanılır. Şekil 4.8’de “üç boyutlu sonlu elemanlar” gösterilmiştir. (a) dörtyüzlü, (b) dikdörtgenler prizması, (c) keyfi bir altıyüzlü sonlu elemandır.



Şekil 4.8 Üç boyutlu sonlu elemanlar [19].

Katı cisimlerin mekaniğinde üç boyutlu elemanların rolü büyüktür. Şekil 4.8a’daki dört düğüm noktalı dörtyüzlü eleman en basit üç boyutlu eleman tiplerindendir. Bu tip elemanlarda her düğüm noktasında x,y ve z koordinatlarında olmak üzere üç adet serbestlik derecesi vardır. Burada düğüm noktası bazında yer değişimlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle şekil fonksiyonlarının tespit edilmesi gerekmektedir.



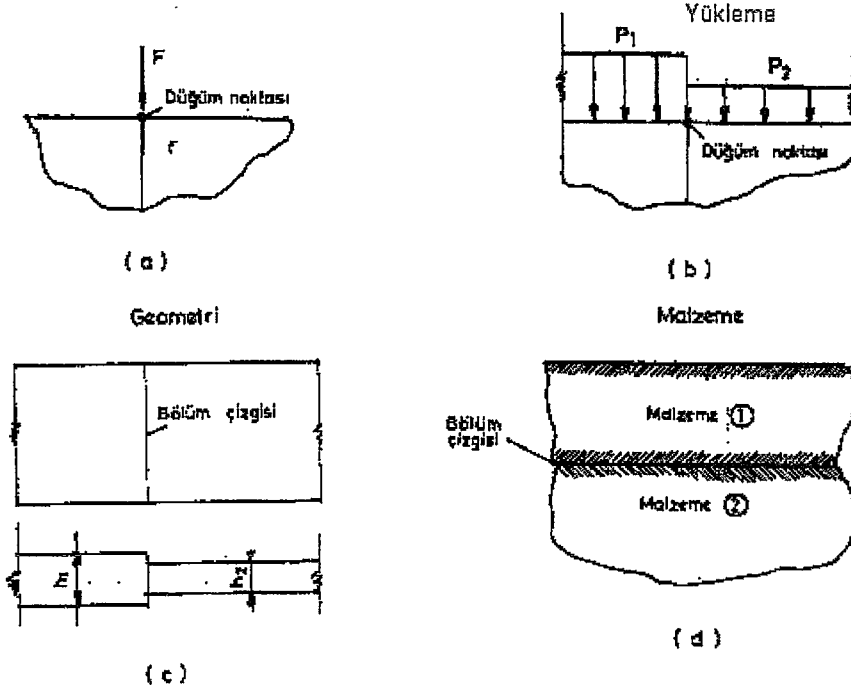
Şekil fonksiyonlarının tespit edilmesinden sonra bir elemanın herhangi bir koordinatındaki yer değiştirmeler kolaylıkla tespit edilebilir. Bunun yanında eğri yüzeye sahip sınırlarda ve daha fazla kesinlik, doğruluk istendiği katı cisimlerin modellenmesinde kullanılan üç boyutlu on düğüm noktalı dörtyüzlü elemanlarda kullanılmaktadır. 6. bölümde on düğümlü bir üç boyutlu dörtyüzlü eleman hakkında daha detaylı bilgiler verilmiştir [20].

Isı transferi problemlerinde ise, sekiz veya yirmi düğüm noktalı tuğla elemanlar tercih edilmektedir. Isı geçişinin hesaplanmasında dörtyüzlü elemanlara göre daha hassas sonuçlar vermektedirler [20].

#### **4.7. Sistemle İlgili Özellikler**

Sistemin sonlu elemanlara bölünmesi, esas olarak mühendislik ön sezişine dayanır. Sonlu elemanların boyutu, sayısı, şekli, büyüklüğü ve geometrisi, gerçek sisteme uygun olarak seçilmelidir. Burada genel amaç, doğru çözüme basit yerdeğişimi fonksiyonlarıyla yaklaşma imkanını verecek olan yeteri kadar küçük sonlu elemanların seçilmesidir. Ancak sonlu eleman sayısı çok fazla olursa, bunun bilgisayar maliyeti arttıracığı unutulmamalıdır [19].

Sistem, süreksizlik noktalarından; yani geometrinin, yüklemenin, malzeme özelliklerinin keskin değiştiği yerlerden bölünmelidir. Buna “doğal bölme” denir. Şekil 4.9’da iki boyutlu problemlerde doğal bölmeye örnekler gösterilmiştir. Burada (a,b) yüklemenin, (c) geometrinin, (d) malzeme özelliklerinin değiştiği doğal sınırları göstermektedir [19].



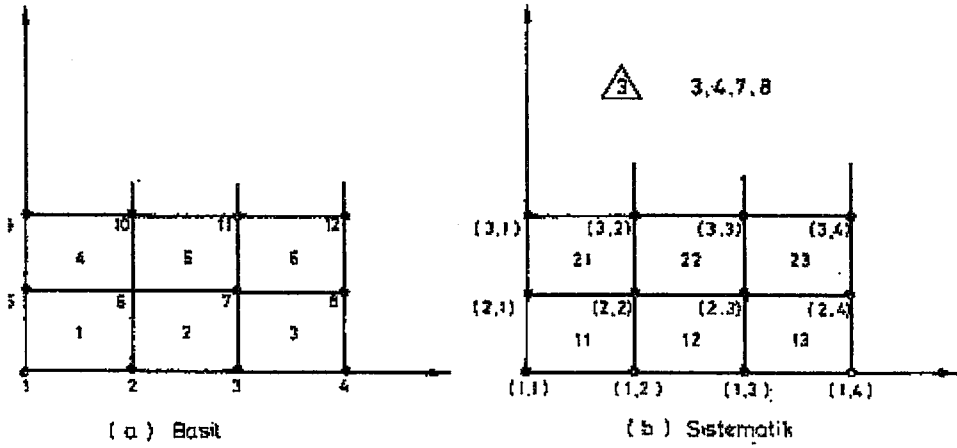
Şekil 4.9 Doğal bölmeye örnekler [19].

Çözüm bölgesi tamamıyla düzgün bir ağ ile bölünebilir veya gerilmelerin daha hızlı değişmesi beklenen bölgelerde daha küçük sonlu elemanlar kullanılabilir. Eğri sınırlar, kenarları doğru olan sonlu elemanlar ile yaklaşık gösterilebilir. Eğri kenarlı eş parametrelili sonlu elemanlar ile çözüm bölgelerini daha kesin tanımlamak mümkündür [19].

#### 4.8. Sonlu Elemanların Numaralandırılması

Bilgisayar programı için sonlu elemanlar ve düğüm noktaları uygun şekilde numaralandırılmalıdır. Bunun için iki yol vardır. Şekil 4.10a'da basit numaralandırma sistemi gösterilmiştir. Burada gerek düğüm noktalarına, gerekse sonlu elemanlara sağdan sola sırayla numara verilmiştir. Numaralamaya aşağıdan yukarıya doğru sıralar ile devam edilir. Çözüm için her sonlu elemana ait düğüm noktalarının numaraları bilinmelidir [19].

Şekil 4.10b'de ise sistematik numaralandırma sistemi gösterilmiştir. Burada her düğüm noktası ve her sonlu eleman iki rakam ile belirtilir. Birinci rakam sıraları, ikinci rakam sütunları gösterir [19].



Şekil 4.10 Sonlu elemanların ve düğüm noktalarının numaralandırılması [19].

Bilgisayar programında her sonlu elemanın numarası ve bu elemana ait düğüm noktalarının numaraları giriş bilgileri içerisinde ayrı ayrı verilir veya bir alt program çözüm bölgesini otomatik olarak böler ve sonlu elemanları, düğüm noktalarını numaralandırır. Bu tip alt programlar özeldir ve genellikle de yayınlanmamıştır.

Sistemin katılık matrisinin şerit (bant) genişliği, sonlu elemanların numaralandırılması ile yakından ilgilidir. Nitekim bant genişliği

$$B = (F + 1)S \quad (4.1)$$

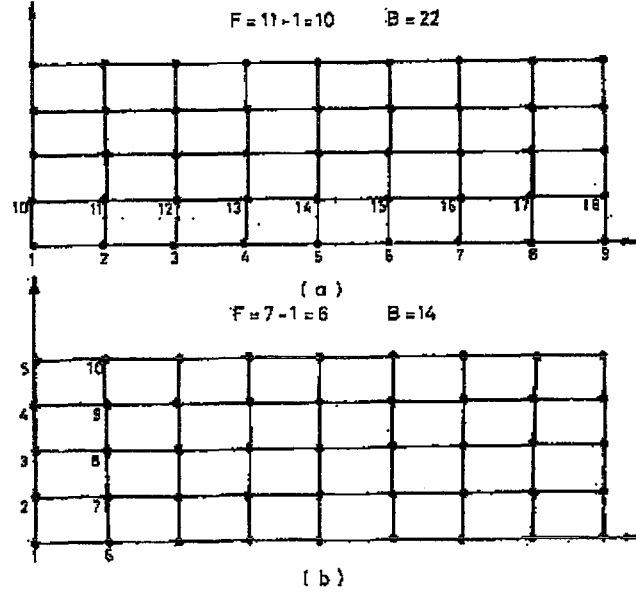
ile ifade edilir. Burada,

B: şerit (bant) genişliği

F: sistemdeki bütün elemanlar dikkate alınarak tespit edilmiş, herhangi bir elemandaki düğüm numaraları arasındaki en büyük fark

S: her düğüm noktasındaki serbestlik derecesidir.

Uygun numaralandırma ile bant genişliğinin nasıl azalacağı, Şekil 4.11'de açıkça görülmektedir. Aynı yapı sisteminde bant genişliği birinci halde 22, ikinci halde 14 olacaktır [19].



Şekil 4.11 Uygun numaralama ile şerit (bant) genişliğinin azaltılması [19].

Sistem katılık matrisinde en büyük değerler köşegen veya köşegen civarında ise, denklem sisteminin çözümü kolaydır. Bu şartın sağlanması, yumuşak killi toprağa çakılmış beton bir kazığın eksenel simetrik incelenmesi gibi, bazı problemlerde uygun numaralama ile ters düşebilir. Bu hususa dikkat edilmelidir.

Bilgisayarda sistem katılık matrisinin bant şeklinde saklanması halinde yer ihtiyacı " $N^2 / 2$ " yerine sadece " $N \times B$ " olur. Ayrıca şerit katılık matrisi ile denklem sisteminin çözüm zamanı yaklaşık " $N \times B^2 / 2$ " ile orantılıdır; halbuki tam dolu bir katılık matrisi ile çözüm zamanı yaklaşık " $N^3 / 6$ " ile orantılı olur [19].

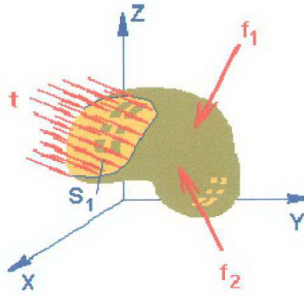
Eğer incelemede yüksek dereceden yer değişimi fonksiyonlarının kullanılması gerekli ise, çok sayıda kenar noktası kullanılmamalıdır. Bunun için köşe noktalarında yer değişimi türevleri ilave serbestlik derecesi olarak seçilmelidir [19].

## 4.9. Sonlu Elemanların Matematiksel Modellenmesi

### 4.9.1. Üç Boyutlu Lineer Elastisite

Lineer elastisite, yer değiştirmenin yeteri kadar küçük olduğu varsayıldığında kuvvet ile yer değiştirme arasındaki lineer bir ilişki olduğunu farzetmektedir. Bu yaklaşım, günümüzde kullanılan çoğu makine parçası dizaynında geçerlidir. Elastisite üzerindeki tartışmalar, üç boyutlu belli bir  $V$  hacmine sahip cisimlerle

düşünüldüğünde başlamaktadır. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi “F” belli bir noktaya uygulanan kuvveti, “t”  $S_1$  yüzeyine etki eden yayılı yükü temsil etmektedir [27].



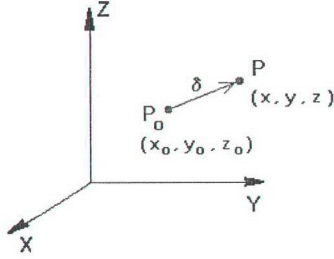
Şekil 4.12 Belli hacme sahip üç boyutlu bir cisim [27].

Yüzey gerilmeleri katı cisme gelen kuvvetlerin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Katı cismin yüzeyinde oluşan yüzey kuvvetleri ve katı cismin kendi hacminde oluşan katı kuvvetleri olmak üzere iki tür kuvvet olmaktadır. Katı kuvvetlerine örnek olarak, yerçekimi kuvveti verilebilirken, yüzey kuvvetlerine örnek olarak cisme dışarıdan uygulanan kuvvetler verilebilir [27].

Aşağıdaki konularda, bir katı cisme uygulanan belli bir kuvvet karşısında meydana gelen yer değiştirme, gerilme ve birim uzama değerleri arasındaki ilişkiyi sonlu elemanlar yöntemine göre açıklanmaktadır.

#### 4.9.2. Yer Değiştirme İlişkisi

Uygulanan belli bir kuvvet altında katı cisimde bulunan bir “Po” noktası yer değişime uğrayarak “P” noktasına hareket eder. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi “Po” (  $x_0, y_0, z_0$  ) koordinatlarına sahipken, “P” noktası (  $x, y, z$  ) koordinatlarına sahiptir [27].



Şekil 4.13 Yer değıştirme koordinatları [28].

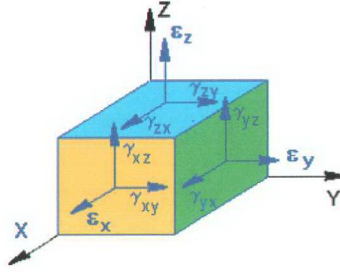
Katı cismin elastik özelliklere sahip olduğu ve uygulanan kuvvetin kaldırıldığında eski durumuna geri döndüğü kabul edilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde katı modelin her noktasındaki yer değıştirme vektörü  $\delta$  ve bu noktalardaki koordinatlar  $(x, y, z)$  olarak kabul edilmektedir. Yer değıştirme vektörü  $\delta$ 'in kartezyen koordinatlardaki bileşenleri  $u, v$  ve  $w$  olursa;

$$\delta(x, y, z) = \begin{pmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

#### 4.9.3. Birim Uzama Bileşeni

Katı bir cismin yer değışimleri arasındaki ilişki “birim uzama” olarak tanımlanmaktadır. Kartezyen koordinat sistemine göre birim şekil değıştirme bileşenleri Şekil 4.14’de gösterilmektedir [27].

“V” hacmine sahip katı bir cisimde herhangi bir “P” noktasındaki “birim uzama” bileşeni, o noktadaki  $(u, v, w)$  yer değışmelerinin bir fonksiyonu olarak hesap edilebilmektedir. Bu yaklaşıma göre “birim uzama” çok küçük değerler olduğundan ikinci dereceden terimler ihmal edilebilmektedir. Birim şekil değıştirme değerleri aşağıdaki formüllerle tanımlanmaktadır [20,27].



Şekil 4.14 Birim şekil değiştirme bileşenleri [27].

#### Normal Birim Uzama

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad \varepsilon_y = \frac{dv}{dy} \quad \varepsilon_z = \frac{dw}{dz} \quad (4.3)$$

#### Kesme (Kayma) Birim Uzama

$$\gamma_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \quad \gamma_{xz} = \frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} \quad \gamma_{yz} = \frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy} \quad (4.4)$$

Normal “birim uzama” değerleri ( $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ) “x, y, z” koordinatları doğrultusunda tanımlanmış bir noktada katı cismin tek doğrultudaki birim uzamasıdır. Kayma “birim uzama” değerleri çeşitli düzlemlerdeki açılal deformasyon değerleridir. Örnek olarak, “ $\gamma_{xy}$ ” değeri x-z ve y-z düzlemlerinin açılal deformasyon değeridir [27].

Matris formunda “Birim Uzama” ile “Yer Değiştirme” arasında aşağıdaki ilişki vardır.

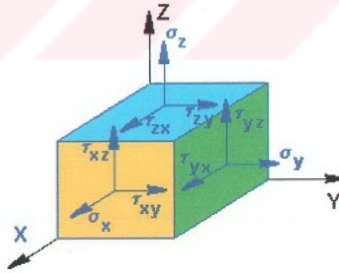
$$\varepsilon(x, y, z) = B \cdot \delta(x, y, z) \quad (4.5)$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx})^T \quad (4.6)$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d}{dy} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{d}{dz} \\ \frac{d}{dy} & \frac{d}{dx} & 0 \\ \frac{d}{dz} & 0 & \frac{d}{dx} \\ 0 & \frac{d}{dz} & \frac{d}{dy} \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

#### 4.9.4. Gerilme Bileşeni

Belli bir “V” hacmine sahip katı bir cisimde “Gerilme değerleri, “ $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ” Normal gerilmeleri ile altı adet kayma gerilmesinden oluşmaktadır. Kartezyen koordinatlarına göre, oluşan gerilme değerleri Şekil 4.15 ‘de gösterilmiştir [27].



Şekil 4.15 Gerilme bileşenleri [27].

Denge denklemleri de göz önüne alındığında belli bir hacme sahip bir katı modelde oluşan aşağıda tanımlanan kayma gerilmeleri birbirlerine simetrik olduğundan dolayı eşit olarak kabul edilir [20,27].



$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad (4.8)$$

Altı adet gerilme değeri matris formatında aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir :

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

Bu gerilme değerleri, “Birim Uzama” değerlerinin yanında malzeme özelliklerine de bağlıdır.

#### 4.9.5. Gerilme - Birim Uzama İlişkisi

Gerilme–Birim Uzama arasındaki ilişki Sonlu Elemanlar Yöntemine göre katı modelin mekanik özelliklerinin bilinmesi açısından önem teşkil etmektedir. Gerilme –Birim Uzama arasında (4.10) nolu eşitlikten de görüldüğü gibi “C” ile temsil edilen “Malzeme Elastisite Matrisi” tanımlanmıştır [21].

$$\sigma(x, y, z) = C \cdot \epsilon(x, y, z) \quad (4.10)$$

Genel anizotropik malzemelerde “C” Malzeme Elastisite Matrisi 36 tane terimden oluşmaktadır. Eğer homojen ve izotropik malzemeler için düşünüldüğünde bu matris daha basit bir terim halini almaktadır. Homojen terimi, belli bir hacme sahip katı modelin her yerinde aynı malzeme özelliklerini gösteren cisimler için kullanılmaktadır. İzotropik terimi ise belli bir hacme sahip katı modelin tüm doğrultulardaki aynı malzeme özelliklerine sahip olduğu cisimler için kullanılmaktadır [20,27].

Hooke kanununa göre aşağıdaki eşitlikleri tanımlayabilmekteyiz :

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_y}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_z}{E} & \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \cdot \tau_{xy} \\ \varepsilon_y &= \frac{\sigma_y}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_z}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_x}{E} & \gamma_{yz} &= \frac{1}{G} \cdot \tau_{yz} \\ \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_x}{E} - \nu \cdot \frac{\sigma_y}{E} & \gamma_{zx} &= \frac{1}{G} \cdot \tau_{zx}\end{aligned}\quad (4.11)$$

E : Elastisite Modülü

$\nu$  : Poisson Oranı

G : Rijitlik Modülü

Rijitlik Modülü için,

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (4.12)$$

tanımlanmaktadır. (4.11) nolu eşitlikleri Normal birim uzama değerleri için tekrar matris formunda yazacak olursak,

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \frac{1}{E} \cdot \begin{pmatrix} 1 & -\nu & -\nu \\ -\nu & 1 & -\nu \\ -\nu & -\nu & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

(4.13) eşitliğinde görülen gerilme ve birim uzama değerleri matris formunda yer değiştirilirse,

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} = \frac{E}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)} \cdot \begin{pmatrix} 1 - \nu & \nu & \nu \\ \nu & 1 - \nu & \nu \\ \nu & \nu & 1 - \nu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

elde edilir. (4.14) ve (4.11) denklemleri göz önüne alındığında ve buradaki değerlere kayma gerilmesi ve birim uzama değerleri de eklendiğinde 6x6 matris elde edilir ve (4.10) denkleminde göre “C” Malzeme Elastisite Matrisi

$$C = \frac{E}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)} \cdot \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{pmatrix} \quad (4.15)$$

olarak elde edilir [28]. (3.17) denkleminde de görüldüğü gibi “C” matrisi, simetrik ve elastisite modülü ile Poisson oranının bir fonksiyonu olan bir yapıya sahiptir [27].

## 5. KABİN ÇERÇEVESİ MUKAVEMET HESAPLARI

Kabin çerçevesi mukavemet hesapları, yapılacak kabinin uzun ömürlü ve amaca uygun olmasını sağlayacak taşınan yolcu veya yüklerin emniyeti bakımından en önemli bilgileri içeren hesaplamalardır. Bu çalışmada, günümüzde asansör imalatçılarının referans aldığı belli kabuller yapılarak basite indirgenmiş olan hesaplamaların (birinci yaklaşım) yanı sıra çerçeve köşelerinde oluşan iç momentlerinde hesaba katıldığı ikinci yaklaşım beş kişilik bir insan asansörü için göz önünde bulundurulacaktır. Ayrıca günümüz şartlarında asansör imalatçıları tarafından çoğunlukla tercih edilen bağlantı şekli cıvatalı olduğundan mukavemet hesapları buna göre yapılacaktır. Hesaplama ve sonlu elemanlarla analiz çalışmalarına geçmeden önce, beş kişilik bir insan asansör için hesaplamalarda gerekli olan bazı büyüklükler Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 5.1** Beş kişilik asansörün modellenmesi için kullanılacak boyutlar [14].

|                                              |         |
|----------------------------------------------|---------|
| Kapasite ( $F_v$ )                           | 4000 N  |
| Kabin Ağırlığı ( $F_k$ )                     | 5250 N  |
| Üst ve Alt Kirişlerin Boyu ( $L$ )           | 1230 mm |
| Yan Kirişlerin Uzunluğu ( $h$ )              | 2600 mm |
| Kılavuz Patenler Arası Düşey Uzaklık ( $H$ ) | 3000 mm |
| Kabin Genişliği ( $b_f$ )                    | 1100 mm |
| Kabin Derinliği ( $d_f$ )                    | 1000 mm |
| Kabin Yüksekliği                             | 2200 mm |
| Serbest Giriş Yüksekliği                     | 2000 mm |

### 5.1. Birinci Yaklaşım Göre Mukavemet Hesaplamaları

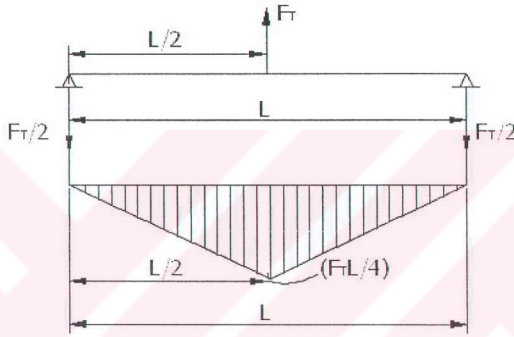
#### 5.1.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi

Üst askı kirişi malzemesi ve profili olarak iki adet yapı çeliği ve NPU100 (100x100x6) profili kullanılmıştır. NPU100 profili için bazı özellikler Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 5.2** NPU100 Profili Özellikleri [28].

| NPU | A-Kesit Alanı(cm <sup>2</sup> ) | J-Atalet Momenti(cm <sup>4</sup> ) | W-Mukavemet Momenti(cm <sup>3</sup> ) | i-Atalet Yarıçapı(cm) |
|-----|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 100 | 13.5                            | 206                                | 41.2                                  | 3.91                  |

Üst askı kirişi iki ucundan mafsallanmış ve tam ortasından yüklenmiş bir basit kiriş olarak düşünülür. Üst askı kirişinin eğilme momenti diyagramı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Gerilme ( $\sigma_e$ ) için hesaplamalar denklem (3.1)’e göre yapıldığında,



Şekil 5.1 Üst askı kirişinin eğilme moment diyagramı

$$\sigma_e = \frac{(F_y + F_K)L}{4nW_e} = \frac{(4000 + 5250)1230}{4 \cdot 2.41200} = 34,52 \text{ N/mm}^2 \quad (5.1)$$

olur.

Üst askı kirişinde maksimum gerilme Şekil 5.1’de görüldüğü gibi maksimum eğilme momentinin olduğu yer olan kirişin tam ortasında oluşmaktadır. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29]’de belirtildiği gibi  $90 \text{ N/mm}^2$  değeri alındığında hesaplanan  $34,52 \text{ N/mm}^2 < 90 \text{ N/mm}^2$  olduğundan kabin üstü askı kirişleri için kullanılan malzeme ve profil (NPU 100) uygundur.

### 5.1.2. Üst Askı Kirişinin Sehimi

Üst askı kirişinin sehimi (e) için hesaplamalar denklem (3.2)'ye göre yapıldığında,

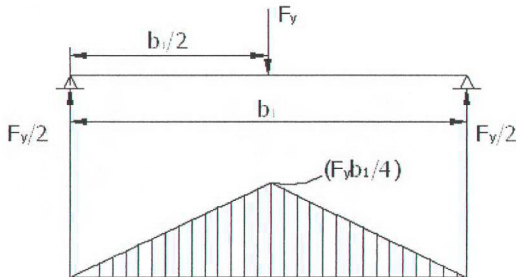
$$e = \frac{(F_y + F_k)L^3}{48EJ_x n} = \frac{(4000 + 5250)1230^3}{48.2.1.10^5.2060000.2} = 0,414 \text{ mm} \quad (5.2)$$

olur.

Üst askı kirişinde maksimum sehim yine simetrik bir yükleme kabulünden dolayı kirişin tam ortasında meydana gelmektedir. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $e/L \leq 1.10^{-3}$  değeri alındığında hesaplanan  $0,336.10^{-3} < 1.10^{-3}$  olduğundan kabin üstü askı kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

### 5.1.3. Kabin Alt Kirişinin Gerilmesi

Kabin alt kirişleri malzemesi ve profili olarak üst askı kirişi ile aynı olarak iki adet yapı çeliği ve NPU100 (100x100x6) profili kullanılmıştır. Alt kirişler iki ucundan mafsallanmış ve tam ortasından kabin anma yüküyle yüklenmiş ( $F_y$ ) olarak düşünülür. Bu yük kabin içerisinde en fazla kabin genişliği kadar hareket edebildiği için genişlik olarak alınmıştır. Alt kirişlere ait eğilme momenti diyagramı Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Bu durumda kabin alt kirişlerinde meydana gelen gerilme için hesaplamalar denklem (3.10)'a göre yapıldığında,



Şekil 5.2 Alt kirişin eğilme momenti diyagramı

$$\sigma'_e = \frac{F_y b_1}{4nW} = \frac{4000.1100}{4.2.41200} = 13,34 \text{ N/mm}^2 \quad (5.3)$$

olur.

Alt kirişte maksimum gerilme Şekil 5.2'de görüldüğü gibi maksimum eğilme momentinin oluştuğu yer olan kirişin tam ortasında oluşmaktadır. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $74 \text{ N/mm}^2$  değeri alındığında hesaplanan  $13,34 \text{ N/mm}^2 < 74 \text{ N/mm}^2$  olduğundan kabin alt kirişler için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

#### 5.1.4. Kabin Alt Kirişinin Sehim

Kabin alt kirişlerinde kabin anma yükü nedeniyle meydana gelen sehim miktarı hesap edildiğinde,

$$e = \frac{F_y L^3}{48EJ_x n} = \frac{4000.1230^3}{48.2.1.10^5.2060000.2} = 0,179 \text{ mm} \quad (5.4)$$

olur.

Alt kirişte maksimum sehim yine simetrik bir yükleme kabulünden dolayı kirişin tam ortasında meydana gelmektedir. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $e/L \leq 1.10^{-3}$  değeri alındığında hesaplanan  $0,14.10^{-3} < 1.10^{-3}$  olduğundan kabin alt kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

#### 5.1.5. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Boyut Kontrolü

Kabin yan kirişleri malzemesi ve profili olarak yapı çeliği ve NPU65 (65x65x5.5) profili seçilmiştir. NPU65 profili için bazı özellikler Tablo 5.3'de gösterilmiştir. Yan dikine kirişler her iki ucuna üstten üst askı kirişiyle, alttan alt kirişle bağlanabilmesi için iki adet cıvata deliğine sahiptir. Bu deliklerin çapı 1,1 cm dir.



**Tablo 5.3** NPU65 Profili Özellikleri [28].

| NPU | A-Kesit<br>Alanı(cm <sup>2</sup> ) | J-Atalet<br>Momenti(cm <sup>4</sup> ) | W-<br>Mukavemet<br>Momenti(cm <sup>3</sup> ) | i-Atalet<br>Yarıçapı(cm) |
|-----|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| 65  | 9.03                               | 57.5                                  | 17.7                                         | 2.52                     |

#### 5.1.5.1. Yan Kirişlerin Net Faydalı Kesit Hesabı

Kabin ağırlığı, yükü ve halatların ağırlıklarının yan kiriş üzerinde oluşturduğu çekme gerilmesinin hesabında kirişin en tehlikeli kesiti cıvata bağlantılarının olduğu kesittir. Bu kısımdaki net kesit alanı hesap edildiğinde,

$$A = A_g - a = 9,03 - 2,42 = 6,61 \text{ cm}^2 \quad (5.5)$$

$$a = Z.d.t = 4,1.1,0,55 = 2,42 \text{ cm}^2 \quad (5.6)$$

olur.

#### 5.1.5.2. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Eğilme ve Çekmeden Oluşan Gerilmeleri

Kabin çerçevesi yan kirişleri eğilme ve çekme gerilmeleri ile zorlanır. Yan dikine kirişlerdeki toplam gerilme değeri denklem (3.4)'deki gibi hesap edilirse,

$$\sigma_{TOP} = \left[ \frac{\left( \frac{F_y b_l}{8} \right) h}{4HW} + \frac{F_y + F_k + F_h}{2A} \right] = \frac{\left( \frac{4000.1100}{8} \right) 2600}{4.3000.17700} + \frac{9650}{2.661} = 14,03 \text{ N/mm}^2 \quad (5.7)$$

olur.

Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi 130 N/mm<sup>2</sup> değeri alındığında hesaplanan 14,03 N / mm<sup>2</sup> < 130 N/mm<sup>2</sup> olduğundan kabin yan kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 65 ) uygundur.

## 5.2. İkinci Yaklaşım Göre Mukavemet Hesaplamaları

Bu hesap yönteminde birincisinden farklı olarak çerçevenin simetrik olması ve yükün çerçevenin dikey eksenine simetrik yerleştirilmesinden dolayı çerçevenin üst kısmını oluşturan üst askı kirişinin köşelerindeki iç momentler birbirine eşit ( $M_1$ ),

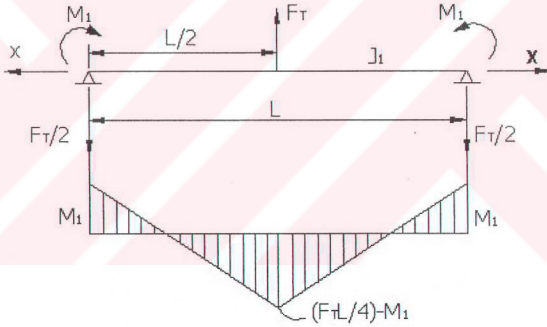


aynı şekilde çerçevenin alt kısmını oluşturan alt kirişlerin köşelerindeki iç momentlerde ( $M_2$ ) birbirine eşit olacaktır ve yükün çerçeve tabanına düzgün yayıldığı kabul edilmiştir [11].

Doğru seçilmiş yükleme ve sınır koşullarının artırılması sayısal yöntemlerde olduğu gibi bizi gerçek değerlere bir adım daha yaklaştıracaktır. Bu kısımda karşılaştırmaya imkan vermesi bakımından asansörün “Normal Çalışma” koşullarındaki mukavemet hesapları yapılacaktır.

### 5.2.1. Üst Askı Kirişinin Eğilme Gerilmesi

Üst askı kirişi iki ucundan mafsallanmış ve tam ortasından yüklenmiş bir basit kiriş olarak düşünülür. Üst askı kirişinin eğilme momenti diyagramı Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Normal çalışma koşullarında üst askı kirişinin eğilme momenti diyagramı[11].

Bu yükün kiriş üzerinde oluşturduğu en büyük eğilme momenti  $M_e = \frac{F_T L}{4} - M_1$

dir. Üst askı kirişinde maksimum gerilme Şekil 5.3’de görüldüğü gibi maksimum eğilme momentinin olduğu yer olan kirişin tam ortasında oluşmaktadır.

$$\sigma'_e = \frac{\frac{F_T L}{4} - \left( \frac{F_T L^2}{24} \cdot \frac{6hJ_2J_3 + 9LJ_2^2 - 2hJ_1J_2}{h^2J_1J_3 + 2Lh(J_1J_2 + J_2J_3) + 3L^2J_2^2} \right)}{nW} \quad (5.8)$$

Bu durumda üst askı kirişlerinde meydana gelen gerilme için hesaplamalar denklem (5.1)'e göre yapıldığında,

$$\sigma'_e = \frac{\frac{9250.1230}{4} - 205500}{2.41200} = 32,02 \text{ N/mm}^2 \quad (5.9)$$

$$M_1 = \frac{9250(123)^2}{24} \cdot \frac{6.260.57,5.206 + 9.123.57,5^2 - 2.260.206.57,5}{260^2.206.206 + 2.123.260(57,5.206 + 57,5.206) + 3.123^2.57,5^2} \quad (5.10)$$

$$M_1 = 205500 \text{ Nmm} \quad (5.11)$$

olur.

Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $90 \text{ N/mm}^2$  değeri alındığında hesaplanan  $32,02 \text{ N / mm}^2 < 90 \text{ N/mm}^2$  olduğundan kabin üstü askı kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

### 5.2.2. Üst Askı Kirişinin Sehimi

Normal çalışma koşullarında, Şekil 5.3'deki gibi yüklenmiş olan kirişin sehimi hesap edilebilmesi için öncelikle bu yükleme koşullarındaki sehim denklemi oluşturulmalıdır. İki katlı entegral metodu kullanılarak ve sınır şartları uygulanarak ( $x=0$  için  $y=0$  ve  $x=l/2$  için  $\theta=0$ ) sehim denklemi (5.2) deki hali alır.

$$e = \frac{6M_1L^2 - FL^3}{48EJn} \quad (5.12)$$

O halde normal çalışma koşullarında üst askı kirişinin sehimi için hesaplamalar denklem (5.2)'ye göre yapıldığında,

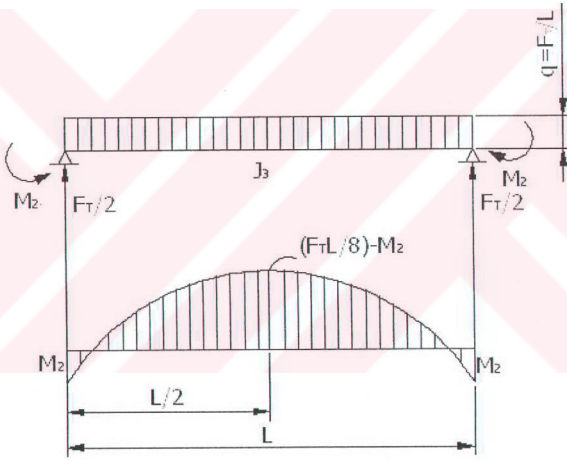
$$e = \frac{6.205500.1230^2 - 9250.1230^3}{48.2,1.10^5.2060000.2} = 0,37 \text{ mm} \quad (5.13)$$

olur.

Üst askı kirişinde maksimum sehîm yine simetrik bir yüklemeye kabulünden dolayı kirişin tam ortasında yukarı yönde meydana gelmektedir. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $e/L \leq 1.10^{-3}$  değeri alındığında hesaplanan  $0,3.10^{-3} < 1.10^{-3}$  olduğundan kabin üstü askı kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

### 5.2.3. Kabin Alt Kirişinin Gerilmesi

Kabin alt kirişi iki ucundan mafsallanmış, yükün uniform yayılı bir şekilde tüm alt kiriş boyunca etki ettiği bir basit kiriş olarak düşünülür. Alt kirişin eğilme momenti diyagramı Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Gerilme ( $\sigma'_e$ ) için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4 Normal çalışma koşullarında alt kirişin eğilme momenti diyagramı [11].

Bu yükün kiriş üzerinde oluşturduğu en büyük eğilme momenti  $M_e = \frac{F_T L}{8} - M_2$  dir. Alt kirişte maksimum gerilme Şekil 5.4'de görüldüğü gibi maksimum eğilme momentinin olduğu yer olan kirişin tam ortasında oluşmaktadır.

$$\sigma'_E = \frac{\frac{F_T L}{8} - \left( \frac{F_T L^2}{24} \cdot \frac{4hJ_1J_2 + 6LJ_2^2 - 3hJ_2J_3}{h^2J_1J_3 + 2Lh(J_1J_2 + J_2J_3) + 3L^2J_2^2} \right)}{nW} \quad (5.14)$$

Bu durumda alt kirişlerde meydana gelen gerilme için hesaplamalar denklem (5.3)'e göre yapıldığında,

$$\sigma'_E = \frac{\frac{9250.1230}{8} - 70987,3}{2.41200} = 16,4 \text{ N/mm}^2 \quad (5.15)$$

$$M_2 = \frac{9250(123)^2}{24} \cdot \frac{4.260.57,5.206 + 6.123.57,5^2 - 3.260.206.57,5}{260^2.206.206 + 2.123.260(57,5.206 + 57,5.206) + 3.123^2.57,5^2} \quad (5.16)$$

$$M_2 = 70987,3 \text{ Nmm} \quad (5.17)$$

olur.

Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $74 \text{ N/mm}^2$  değeri alındığında hesaplanan  $16,04 \text{ N/mm}^2 < 74 \text{ N/mm}^2$  olduğundan kabin alt kirişler için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

#### 5.2.4. Kabin Alt Kirişinin Sehimi

Kabin alt kirişlerinde yayılı yük  $[q]$  nedeniyle meydana gelen sehimi miktarı;

$$e = \frac{5qL^4 - 48M_2L^2}{384EJn} \quad (5.18)$$

O halde normal çalışma koşullarında alt kirişin sehimi için hesaplamalar denklem (5.4)'e göre yapıldığında,

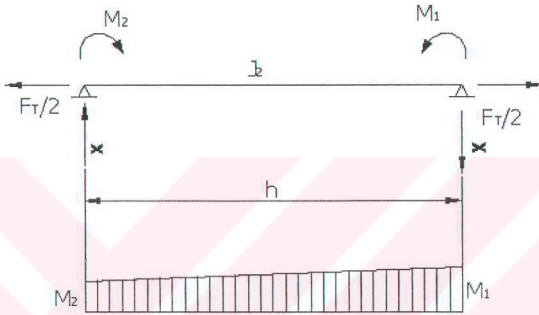
$$e = \frac{5.7,52.1230^4 - 48.70987,3.1230^2}{384.2,1.10^5.2060000.2} = 0,243 \text{ mm} \quad (5.19)$$

olur.

Alt kirişlerde maksimum sehimi yine simetrik bir yükleme kabulünden dolayı kirişin tam ortasında meydana gelmektedir. Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $e/L \leq 1.10^{-3}$  değeri alındığında hesaplanan  $0,19.10^{-3} < 1.10^{-3}$  olduğundan kabin alt kirişleri için kullanılan malzeme ve profil ( NPU 100 ) uygundur.

### 5.2.5. Kabin Çerçevesi Yan Kirişlerinin Eğilme ve Çekmeden Oluşan Gerilmeleri

Şekil 5.5’de görüldüğü gibi kabin çerçevesi yan kirişlerinde oluşan maksimum eğilme gerilmesi üst askı kirişi ile yan kirişlerin bağlantı noktalarında  $M_1$  momenti kadar meydana gelmektedir. Bu durumda yan dikine kirişlerde oluşan maksimum toplam gerilme şu şekilde olacaktır.



Şekil 5.5 Kabin iskeleti yan kirişlerinin eğilme moment diyagramı [11].

$$\sigma_{TOP} = \frac{M_1 \cdot h}{4 \cdot H \cdot W} + \frac{G}{2 \cdot A} = \frac{205500 \cdot 2600}{4 \cdot 3000 \cdot 17700} + \frac{9650}{2 \cdot 661} = 9,82 \text{ N/mm}^2 \quad (5.20)$$

Emniyet gerilmesi için TS 1812 – Çizelge 3 [29] de belirtildiği gibi  $130 \text{ N/mm}^2$  değeri alındığında hesaplanan  $9,82 \text{ N/mm}^2 < 130 \text{ N/mm}^2$  olduğundan kabin yan kirişleri için kullanılan malzeme ve profil (NPU 65 ) uygundur.

## 6.SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KABİN ÇERÇEVESİNİN ANALİZİ

### 6.1. Giriş

Bu bölümde sonlu elemanlar metodunun, asansör kabin çerçevesi elemanları analizi için nasıl kullanılacağı adım adım incelenmiştir. Bu adımlar Tablo 6.1’de gösterilmektedir.

**Tablo 6.1** Kabin çerçevesi elemanlarının sonlu elemanlar analizi için işlem adımları

|                                                |
|------------------------------------------------|
| Modelleme ( Parçaların Modellenmesi)           |
| Montaj (Parçaların Bir Araya Getirilmesi)      |
| Import (Montaj Parçalarının Ansys’de açılması) |
| Malzeme Seçimi                                 |
| Modeli Sonlu Elemanlara Ayırma (Meshing)       |
| Yükleme ve Sınır Koşullarının Uygulanması      |
| Analiz                                         |

Beş kişilik bir insan asansörünün kabinini dıştan saran ve taşıyan kabin çerçeve elemanlarının uygun boyutlandırılarak gerilme analizi bir örnek çalışma olarak sunulmuştur.

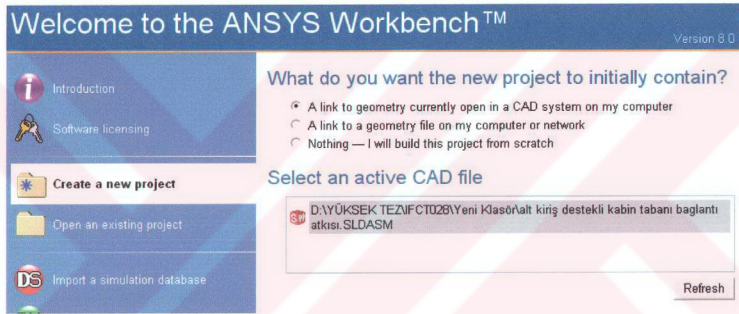
Farklı sonlu eleman boyutlarıyla gerilme analizi gerçekleştirilmiş olup analiz sonuçları bir araya toplanmıştır.

### 6.2. Kabin Çerçeve Elemanlarının Ansys ile Analize Hazırlanması

SolidWorks’ ün “part” kısmında modellenmiş olan kabin çerçeve elemanı “assembly” kısmında tek bir pencere içerisinde toplandıktan sonra gerekli montaj işlemi yapıp bu haliyle kaydedilir. Modelleme işlemi tamamlanmış olan kabin

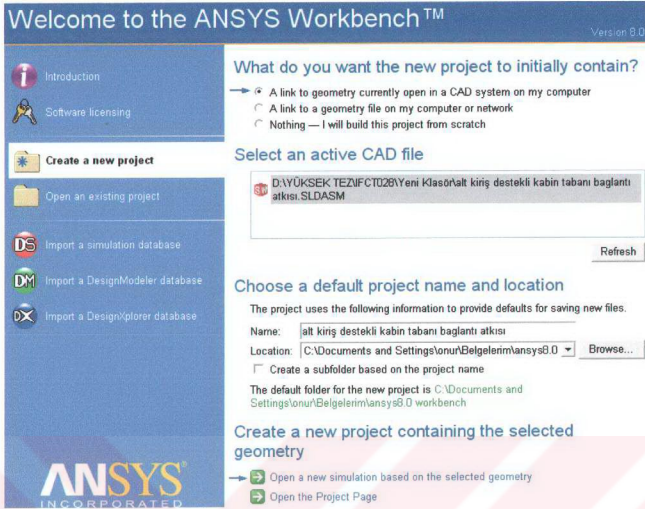


çerçeve elemanı bu haliyle bilgisayar ortamında kapatılmadan AnsysWorkbench açılır. AnsysWorkbench modelleme ve analiz programı, “A link to geometry currently open in a CAD system on my computer” adlı özelliği ile o anda aktif halde bulunan ve SolidWorks, Catia, ProE, Mechanical Desktop, Inventor gibi çok sayıda popüler modelleme programıyla modellenmiş olan parçaları hiç değiştirmeden açabilmektedir. AnsysWorkbench’in bir diğer özelliği ise yukarıda ismi geçen programlarda çizilen ve Sat, Parasolid veya Iges formatında kaydedilmiş olan parçaları açabilmesidir. Bu çalışmada, Şekil 6.1’de de görülen “A link to geometry currently open in a CAD system on my computer” özelliği kullanılarak SolidWorks’ de çizilen parçalar AnsysWorkbench’de açılmıştır.



Şekil 6.1 AnsysWorkbench giriş ekranı [30].

AnsysWorkbench’de analiz çalışmaları için “Simulation” modülü kullanılmaktadır. Şekil 6.1’de görüldüğü gibi o anda aktif durumda bulunan ve desteklenen programlarda modellenmiş parçalar “Select an active CAD file” başlığı altında gösterilmektedir. Burada analiz için kullanılacak model bulunarak Şekil 6.2’de görülen “Create a new project containing the selected geometry” başlığı altında bulunan “Open a new simulation based on the selected geometry” sekmesi seçilerek analiz ekranı açılır.



Şekil 6.2 Simulation tools a geçiş ekranı [30].

Analiz için gerekli malzeme özellikleri, sınır şartları ve yükleme durumları ve son olarak parçalara ayırma (meshing) işlemleri uygulanarak kabin çerçeve elemanların analizine geçilmiştir.

### 6.3. Malzeme Özelliklerinin Seçilmesi

Doğru bir sonlu elemanlar analizi yapılabilmesi için kabin çerçevesinin malzeme özelliklerinin doğru bir biçimde bilgisayara aktarılması şarttır. AnsysWorkbench’de malzeme olarak “Structural Steel” alınmıştır. Tablo 6.2’de kabin çerçeveleri malzemesi olan yapı çeliğinin malzeme özellikleri verilmiştir.

**Tablo 6.2** Yapı çeliğinin malzeme özellikleri [30].

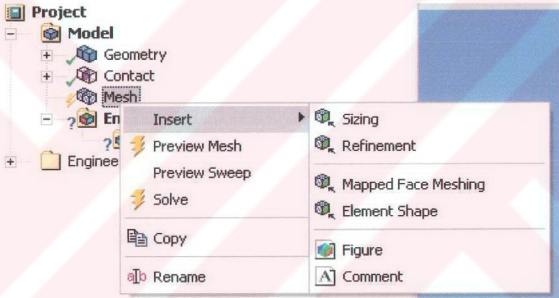
|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| Elastisite Modülü | 2.10 <sup>5</sup> MPa  |
| Poisson Oranı     | 0,3                    |
| Yoğunluk          | 7,85 g/cm <sup>3</sup> |
| Çekme Dayanımı    | 460 MPa                |



Bu değerler otomatik olarak programın veritabanında bulunduğundan ayrıca bir değer girmeye gerek kalmamaktadır.

#### 6.4. Çerçeve Elemanlarının Küçük Parçalara Ayrılması (Meshing)

Çerçeve elemanlarının katı modelinin AnsysWorkbench programı ile analizinin yapılabilmesi için katı modelin küçük parçalara ayrılması gerekmektedir. Böylece AnsysWorkbench programı, oluşturulan küçük alanlar sayesinde hesaplamaları daha kolay yapmaktadır[31].AnsysWorkbench’de parçalara ayırma işleminde kullanılacak elemanların şekli, boyutu kolaylıkla atanabilmektedir. Parçalara ayırma işlem menüsü AnsysWorkbench’de Şekil 6.3’de görülen başlıklar atında toplanmıştır.



Şekil 6.3 Sonlu elemanlara ayırma (mesh) menüsü

Seçilen elemanın büyüklüğünün, katı modelin şeklinin karmaşıklığına göre belirlenir. Katı modelin yüzeyi ne kadar karmaşık ise seçilen elemanın boyutu da o kadar küçük olmak zorundadır. Bunun yanında ne kadar küçük eleman seçilirse de o kadar fazla eleman oluşacağı için AnsysWorkbench programı çözümü yapabilmek için günlerce uğraşabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, katı modelin yüzeyinin düzgünlüğüne göre en uygun elemanın seçilmesi çok önemli bir adımdır. Bu çalışmada, sonlu elemanlara ayırma işleminde eleman boyutunun sonuçlara etkisini göstermek için farklı eleman boyutlarıyla aynı model üzerinde analiz yapılmıştır.

Şekil 6.3'deki “mesh” menüsünde “insert” sekmesinin içindeki “Element Shape” seçeneği kullanılarak kolayca eleman tipi seçilebilmektedir. Modelin farklı bölgelerine farklı eleman tipleri atanabilmektedir.

#### 6.4.1. Eleman Tipinin Seçimi

AnsysWorkbench sonlu eleman analiz programında katıların analizinde kullanılmak üzere üç çeşit eleman tipi tanımlanmıştır. Bunlar, dörtgen elemanların süpürülmesiyle oluşturan “auto sweep if possible” üç boyutlu eleman, dörtyüzlü “tetrahedral” eleman ve altıgen “hex dominant” üç boyutlu elemandır.

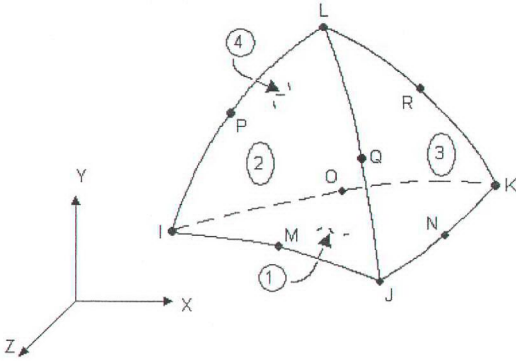
Dörtgen elemanın süpürülmesiyle elde edilen eleman başlangıç olarak kabul edilen parçalara ayırma işleminin tamamen otomatik olarak yapıldığı durumlarda seçilmelidir. Altıgen elemanın süpürülmesiyle elde edilen elemanın seçilebilmesi için modeldeki hesaplanan en az bir katı cismin üzerindeki normalize edilmiş bir hacmin yüzey alanına oranı ikiden daha yüksek olmalıdır. Ayrıca bu tip elemanlar büyük iç hacme sahip veya süpürülebilir katı cisimler için iyi sonuçlar vermektedir. Cep telefonu kapakları gibi ince, kompleks yapılar için iyi olmayan sonuçlar vermektedir. Yapılan çalışmada kullanılan modellerimiz için bu tip bir eleman kullanarak parçalara ayırma işlemine program yukarıda açıklanan oranın ikiden düşük olmasından dolayı izin vermemektedir. Katı cisimlerin yapısal analizinde sıkça tercih edilen eleman olan dörtyüzlü “tetrahedral” üç boyutlu eleman parçalara ayırma işleminde kullanılacaktır.

Bu çalışmada, eleman tipi olarak SOLID 187, üç boyutlu on düğüm noktasına sahip olan dört yüzlü (tetrahedral) seçilmiştir.

SOLID 187 eleman tipi SOLID 92 eleman tipinin daha yeni uyarlamasıdır. SOLID 187 eleman tipi dörtgen yer değiştirme davranışlarına sahip bir yapıdadır. Aynı zamanda SOLID 187 eleman ile düzensiz parçalara ayrılmış (mesh) modellere uygunluk gösterebilmektedir [32].

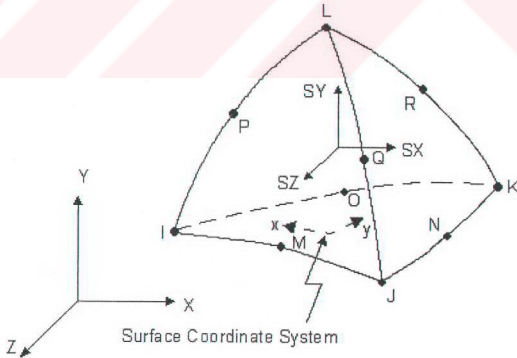
SOLID 187 elemanlar 10 adet düğüm noktasından oluşmaktadır. Her bir düğüm noktasının üç tane serbestlik derecesi vardır. Bu serbestlik dereceleri x, y, z eksenlerindeki yer değiştirmelerdir.

SOLID 187 geometrisi, düğüm ve dizilişleri ve koordinat sistemi Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Solid 187 geometrisi [32].

SOLID 187 eleman tipinde analiz için gerilme doğrultuları eleman koordinat sistemine paraleldir. Gerilmelerin oluştuğu doğrultular eleman koordinat sistemine paraleldir. Yüzey gerilmeleri ise herhangi bir yüzeyde ve yüzey koordinat sistemi içerisinde oluşmaktadır. SOLID 187 elemanın Şekil 6.5'te gösterilen koordinat sistemi, elemanın I-J-K yüzeyinin koordinat sistemini belirtmektedir. Diğer yüzeylerin koordinat sistemi benzer şekilde basit bir yön değiştirme işlemiyle tespit edilebilmektedir [32].



Şekil 6.5 Solid 187 elemanı yüzey koordinat sistemi [32].

## 6.5. Yükleme ve Sınır Koşulları

Sonlu elemanlara ayırma (Mesh) işleminin yapılmasından sonra analiz işlemlerinin yapılması için gerekli olan yükleme ve sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Asansör karkası parçalara ayrılarak önceki bölümde uygulanan yükler bilgisayar ortamına taşınarak gerekli yükleme işlemi üst askı kirişi, kabin alt kirişi ve yan dikine kirişler için ayrı ayrı yapılacaktır.

Asansör çerçevesinde sınır şartı olarak, üst askı kirişinin yan kirişlerle olan cıvata bağlantı delikleri x, y ve z doğrultularındaki hareketi sınırlanmıştır (fixed). Aynı şekilde kabin alt kirişlerinin yan kirişlerle olan cıvata bağlantı delikleri x, y ve z doğrultularındaki hareketi sınırlanmıştır.

Yukarıda ifade edilen yükleme ve sınır koşullarının çerçeve elemanlarına bilgisayar ortamında uygulanmasında sonra analiz işlemine geçilmiştir.

## 6.6. Kabin Çerçevesinin Analiz Değerleri

Kabin çerçeve elemanlarının analizinde basitleştirilmiş birinci metot ve ikinci metot sonuçlarının sonlu elemanlarla analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmasının yanı sıra kullanılan sonlu elemanın boyutunun sonuca olan etkisinin de görülmesi için farklı eleman boyutlarıyla her bir kiriş için AnsysWorkbench’de analiz yapılmıştır.

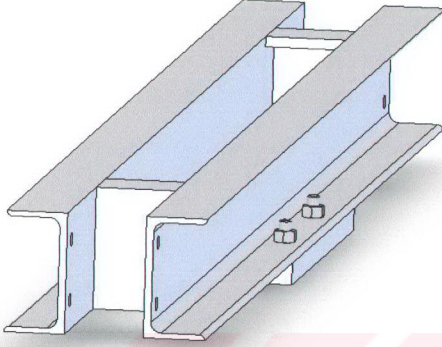
Bu çalışmada, kullanılan eleman boyutları, kullanılacak bilgisayar kapasitesi de göz önünde bulundurulduğunda 7mm, 10mm ve 15mm seçilmiştir. Eleman boyutunun küçülmesi eleman sayısı ve düğüm sayısını arttıracığından işlem zamanı önemli ölçüde artacaktır. Gerilme analiz değerlerinin daha hassas olması amacıyla, 10 mm ve 15 mm’lik sonlu eleman kullanılması durumunda yapılan analizde yakınsama (Convergence) yapılmıştır.

Bu çalışmada, gerilme ve deformasyon değer dağılımlarını gösteren şekiller için eleman boyutu olarak 10 mm seçilmiştir.

### 6.6.1. Üst Askı Kirişinin Analizi

Üst askı kirişinin analizinde, üst askı kirişinin yan dikine kirişle bağlantısını sağlayan delikler sabit kabul edilmiş (her iki taraf), bağlantı plakasında halatların geçtiği deliklere de halat çekme kuvveti uygulanmıştır. Bu kuvvet bağlantı plakasındaki

deliklere 1/4 oranında eşit olarak etki ettirilmiştir. Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



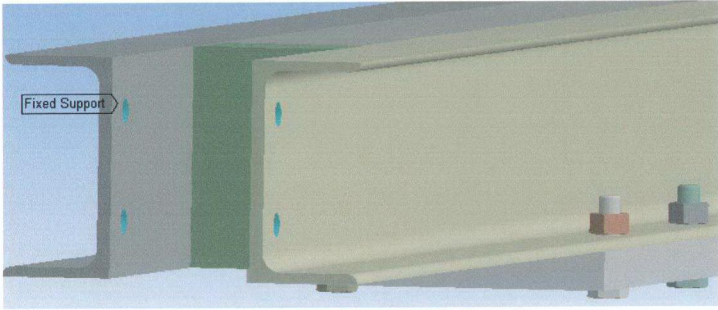
Şekil 6.6 Üst askı kirişinin üç boyutlu modeli

Üst askı kirişindeki yükleme ve sınır koşulları Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'deki gibi modele uygulanmıştır.



Şekil 6.7 Üst askı kirişindeki yüklerin modele uygulanması





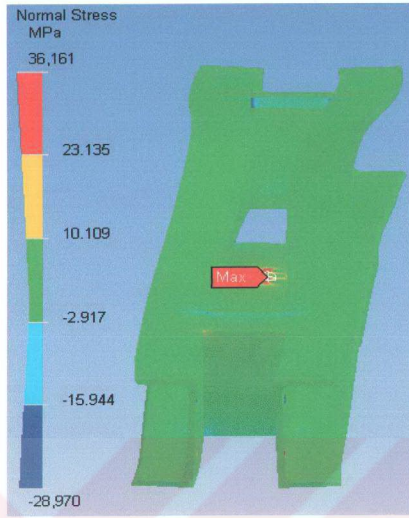
Şekil 6.8 Üst askı kirişindeki sınır koşullarının modele uygulanması

AnsysWorkbench’de modelleme, yükleme ve sınır koşullarının uygulanmasından sonra analize başlamadan önceki son adım olan modeli sonlu elemanlara ayırma (mesh) işlemine geçilir. Üst askı kirişi 7 mm, 10 mm ve 15 mm’lik sonlu eleman boyutlarında ve on düğüm noktalı dört yüzlü (tetrahedral) eleman şeklindeki parçalara bölünmüştür. Farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm nokta sayısı Tablo 6.3’de gösterilmiştir.

**Tablo 6.3** Üst askı kirişinde farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri

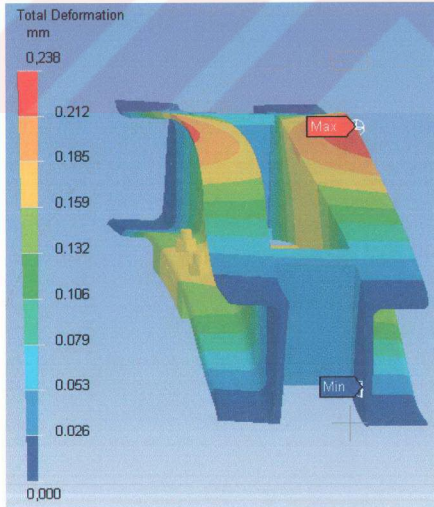
| Eleman Boyutu (mm) | Eleman Sayısı | Düğüm Sayısı |
|--------------------|---------------|--------------|
| 7                  | 73139         | 138871       |
| 10                 | 111567        | 193136       |
| 15                 | 70340         | 123560       |

Şekil 6.9’da görülen gerilme analizi sonucuna göre, üst askı kirişinde en büyük gerilme değeri 36,161 MPa olup, halat bağlantı plakasının deliğinde meydana gelmiştir.



Şekil 6.9 Üst askı kirişindeki gerilme analizi değerleri

Üst askı kirişindeki maksimum yer değiştirme miktarı Şekil 6.10'da görüldüğü gibi 0,238 mm olup, kirişin tam ortasında meydana gelmiştir.

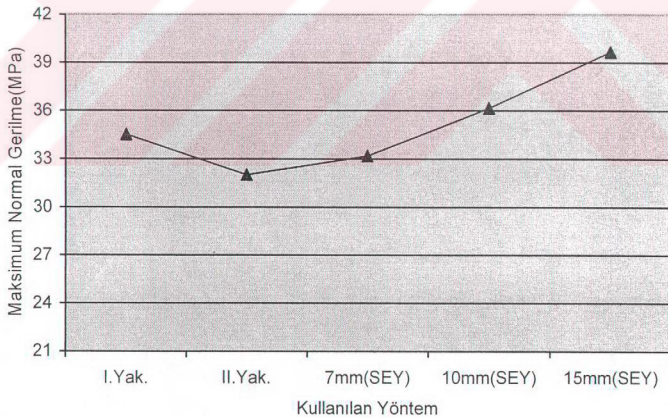


Şekil 6.10 Üst askı kirişindeki yer değiştirme değerleri

Üst askı kirişinde oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri Tablo 6.4’de gösterilmiş olup bu değerler Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’ye taşınmıştır.

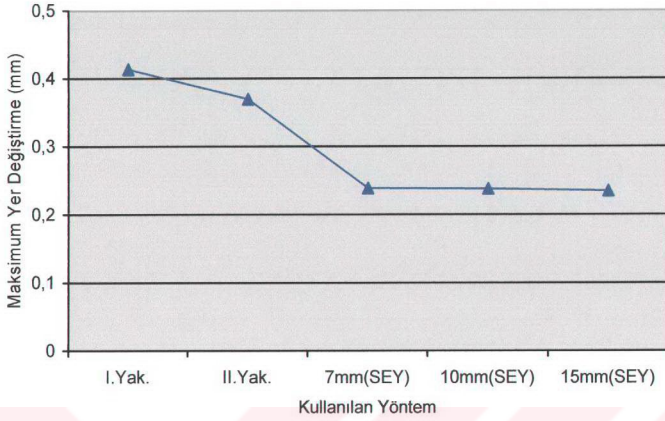
**Tablo 6.4** Üst askı kirişinde oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri

| Hesap Tarzı                     | Maksimum Normal Gerilme (MPa) | Yer Değiştirme (mm) |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| I. Yaklaşım                     | 34,52                         | 0,414               |
| II. Yaklaşım                    | 32,02                         | 0,37                |
| 7 mm sonlu eleman boyutu (SEY)  | 33,191                        | 0,239               |
| 10 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 36,161                        | 0,238               |
| 15 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 39,656                        | 0,235               |



Şekil 6.11 Farklı metotlar kullanılarak üst askı kirişi üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri

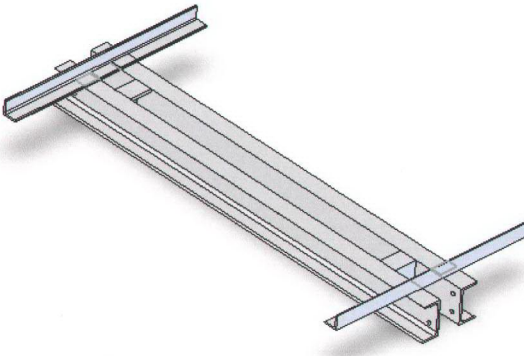




Şekil 6.12 Farklı metotlar kullanılarak üst askı kirişi üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme değerleri

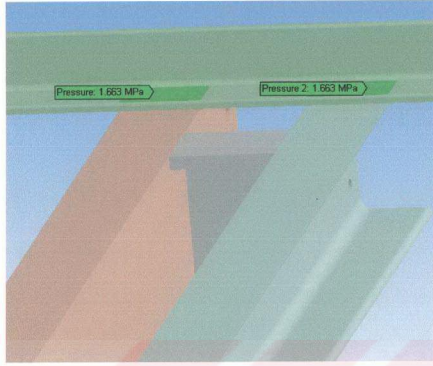
#### 6.6.2. Alt Kirişin Analizi

Alt kirişin analizinde, alt kirişlerin yan kirişlerle olan bağlantı delikleri sabit kabul edilmiş (her iki taraf) ve kabin yükü, kabinin alt kirişlere oturmasını sağlayan kabin tabanı bağlantı atkısının alt kirişlere değen yüzeylerine basınç şeklinde etki ettiği kabul edilmiştir. Bu basınç değeri bağlantı atkısının üst temas yüzeylerine eşit şekilde dağıtılmıştır. Alt kirişin üç boyutlu modeli Şekil 6.13’de gösterilmiştir.

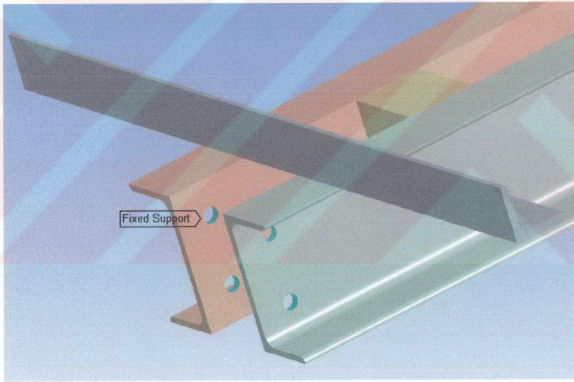


Şekil 6.13 Alt kirişin üç boyutlu modeli

Alt kirişteki yükleme ve sınır koşulları Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'deki gibi modele uygulanmıştır.



Şekil 6.14 Alt kirişteki yüklerin modele uygulanması



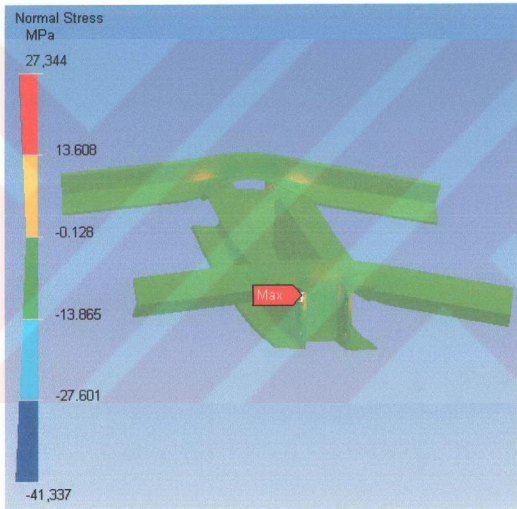
Şekil 6.15 Alt kirişteki sınır koşullarının modele uygulanması

AnsysWorkbench'de modelleme, yükleme ve sınır koşullarının uygulanmasından sonra analize başlamadan önceki son adım olan modeli sonlu elemanlara ayırma (mesh) işlemine geçilir. Üst askı kirişi 7 mm, 10 mm ve 15 mm'lik sonlu eleman boyutlarında ve on düğüm noktalı dört yüzlü (tetrahedral) eleman şeklindeki parçalara bölünmüştür. Farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm nokta sayısı Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.5** Alt kirişte farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri

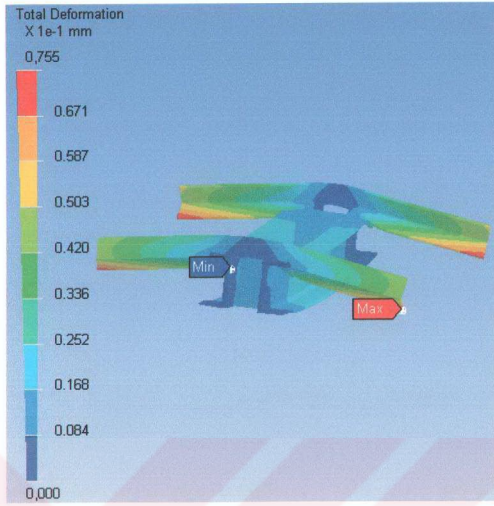
| Eleman Boyutu (mm) | Eleman Sayısı | Düğüm Sayısı |
|--------------------|---------------|--------------|
| 7                  | 66134         | 132030       |
| 10                 | 65292         | 119108       |
| 15                 | 32982         | 68024        |

Şekil 6.16'da görülen gerilme analizi sonucuna göre, alt kirişte en büyük gerilme değeri 27,344 MPa olup, NPU profilin iç yüzeyinde bağlantı deliğinde meydana gelmiştir.



Şekil 6.16 Alt kirişteki gerilme analizi değerleri

Alt kirişteki maksimum yer değiştirme miktarı Şekil 6.17'de görüldüğü gibi 0,0755 mm olup, kabin tabanı bağlantı atkısı ucunda meydana gelmiştir.

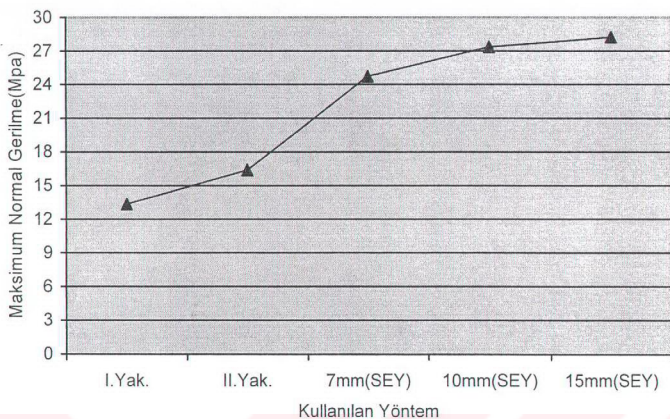


Şekil 6.17 Alt kirişteki yer değiştirme değerleri

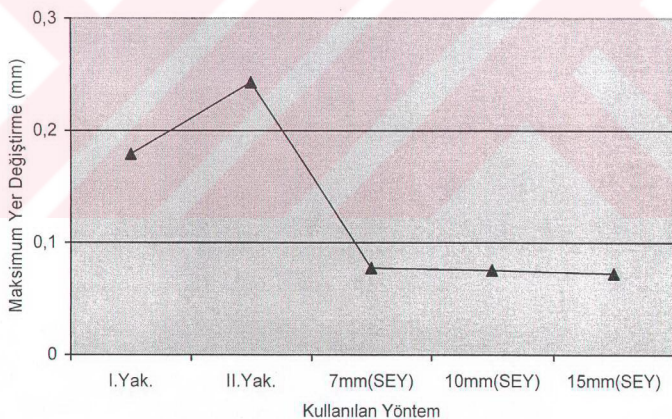
Alt kirişte oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri Tablo 6.6’ da gösterilmiş olup bu değerler Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’a taşınmıştır.

**Tablo 6.6** Alt kirişte oluşan maksimum normal gerilme ve yer değiştirme değerleri

| Hesap Tarzı                     | Maksimum Normal Gerilme (MPa) | Yer Değiştirme (mm) |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| I. Yaklaşım                     | 13,34                         | 0,179               |
| II. Yaklaşım                    | 16,4                          | 0,243               |
| 7 mm sonlu eleman boyutu (SEY)  | 24,724                        | 0,0775              |
| 10 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 27,344                        | 0,0755              |
| 15 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 28,219                        | 0,0726              |



Şekil 6.18 Farklı metotlar kullanılarak alt kiriş üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri



Şekil 6.19 Farklı metotlar kullanılarak alt kiriş üzerinde oluşan maksimum yer değiştirme değerleri



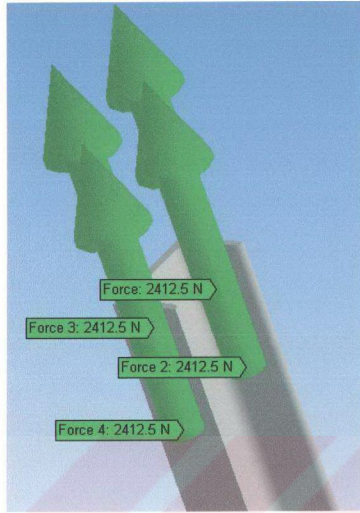
### 6.6.3. Yan Kirişlerin Analizi

Yan kirişlerin analizinde, yan kirişlerin alt kirişle olan bağlantı delikleri sabit kabul edilmiş, üst askı kirişi ile olan bağlantı deliklerine kabin anma yükü, kabin ağırlığı ve halatların ağırlığından dolayı oluşan çekme kuvveti uygulanmıştır [1]. Bu kuvvet karşı deliklere 1/4 oranında eşit olarak etki ettirilmiştir. Yan kirişin üç boyutlu modeli Şekil 6.20’de gösterilmiştir.

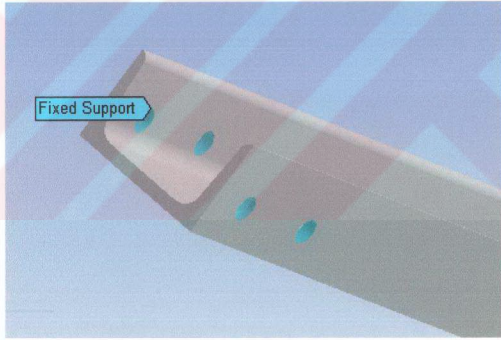


Şekil 6.20 Yan kirişin üç boyutlu modeli

Yan kirişlerdeki yükleme ve sınır koşulları Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’deki gibi modele uygulanmıştır.



Şekil 6.21 Yan kirişteki yüklerin modele uygulanması



Şekil 6.22 Yan kirişteki sınır koşullarının modele uygulanması

AnsysisWorkbench’de modelleme, yükleme ve sınır koşullarının uygulanmasından sonra analize başlamadan önceki son adım olan modeli sonlu elemanlara ayırma (mesh) işlemine geçilir. Üst askı kirişi 7 mm, 10 mm ve 15 mm’lik sonlu eleman boyutlarında ve on düğüm noktalı dört yüzlü (tetrahedral) eleman şeklindeki parçalara bölünmüştür. Farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm nokta sayısı Tablo 6.7’de gösterilmiştir.

**Tablo 6.7** Yan kirişte farklı eleman boyutlarında model üzerinde oluşan eleman sayısı ve düğüm noktası değerleri

| Eleman Boyutu (mm) | Eleman Sayısı | Düğüm Sayısı |
|--------------------|---------------|--------------|
| 7                  | 39109         | 77775        |
| 10                 | 59468         | 113434       |
| 15                 | 41601         | 75531        |

Şekil 6.23’de görülen gerilme analizi sonucuna göre, yan kirişte en büyük gerilme değeri 19,224 MPa olup, NPU bağlantı ikinci deliğinin iç yüzeyinde sabitlenmiş tarafta meydana gelmiştir.



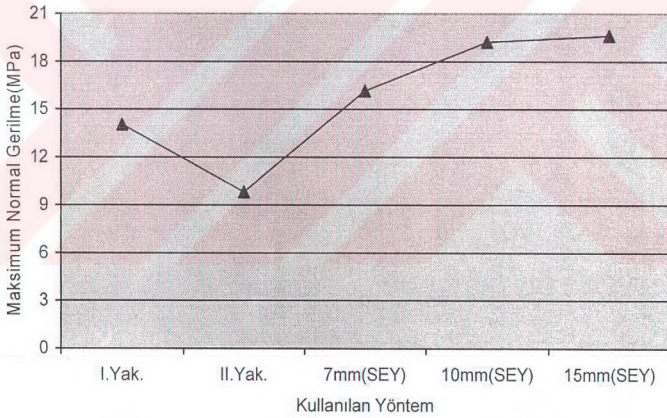
Şekil 6.23 Yan kirişteki gerilme analizi değerleri

Yan kiriş üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri Tablo 6.8’de gösterilmiş olup bu değerler Şekil 6.24’ye taşınmıştır.



**Tablo 6.8** Yan kirişte oluşan maksimum normal gerilme değerleri

| Hesap Tarzı                     | Maksimum Normal Gerilme (MPa) |
|---------------------------------|-------------------------------|
| I. Yaklaşım                     | 14,03                         |
| II. Yaklaşım                    | 9,82                          |
| 7 mm sonlu eleman boyutu (SEY)  | 16,145                        |
| 10 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 19,224                        |
| 15 mm sonlu eleman boyutu (SEY) | 19,616                        |



**Şekil 6.24** Farklı metotlar kullanılarak yan kiriş üzerinde oluşan maksimum normal gerilme değerleri

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada asansörlerde normal çalışma koşulları altında kabine binen yüklerin asansör kabin çerçeve (karkas) elemanları üzerinde oluşturduğu gerilme ve yer değiştirme değerleri hem analitik yöntemlerle hem de sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Ayrıca farklı sonlu eleman boyutu kullanılarak gerilme analizleri yapılmıştır.

Analitik hesaplarda kullanılan birinci ve ikinci metot, günümüz asansör tesisinin emniyet hesaplarında kullanılan basitleştirilmiş metot (birinci yaklaşım) ve basitleştirilmiş hesaba göre daha ayrıntılı ve gerçeğe daha yakın olan çerçeve köşelerinde oluşan iç momentlerin de dahil edildiği hesaplamaları kapsamaktadır.

Gerçeğe daha yakın modelleme ve yüklemenin mümkün olduğu sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz neticelerini analitik yolla yapılan hesaplamalarla karşılaştırdığımızda kabin çerçeve elemanları için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Üst askı kirişi için; iç momentler kiriş üzerinde oluşan maksimum momenti azaltıcı yönde etki ettiğinden ikinci yaklaşım ile bulunan maksimum normal gerilme değeri (32,02 MPa), birinci yaklaşımda bulunan gerilme değerinden (34,52 MPa) daha küçük çıkmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan analiz neticesinde tatminkar yakınlıkta sonuçlara ulaşılmıştır (33,191 MPa). Gerilme analizinde kullanılan sonlu eleman boyutunun artırılmasıyla daha kaba sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Fakat eleman boyutunun küçültülmesi işlem zamanını önemli ölçüde artırmıştır. Üst askı kirişinin yer değiştirmesinde ise analitik hesaplarda gereğinden büyük sonuçlar bulunmuştur (0,414 mm, 0,37 mm). Daha hassas çözüm yöntemi olan SEY ile daha küçük yer değiştirmeler (0,239 mm, 0,238 mm, 0,235 mm) bulunmuştur. Yani SEY kullanıldığında üst askı kirişinin yük altında daha az çökeceği anlaşılmaktadır.

Alt kiriş için; yükün düzgün yayılı olarak alt kirişe etki ettiği düşüncesi gerek alt kirişte oluşan maksimum normal gerilmeyi gerekse maksimum yer değiştirmeyi birinci yaklaşımdaki sonuçlara (13,34 MPa, 0,179 mm) göre ikinci yaklaşımda

(16,4 MPa, 0,243 mm) arttırmıştır. Yükün direkt olarak kiriş ortasına veya kirişe yayılı bir şekilde etki etmesi yerine, kabinin kiriş üzerine oturmasını sağlayan kabin tabanı bağlantı atkısının alt kirişe temas eden dört ayrı bölgesine basınç şeklinde eşit olarak etki ettiği kabulüyle yapılan sonlu eleman analizi sonucunda gerilme değeri (24,724 MPa) analitik yöntemle göre büyük çıkmıştır. Fakat bulunan bu değer alt kiriş için öngörülen emniyet gerilmesinin (74 MPa) oldukça altındadır. Bu nedenle herhangi bir boyut artırımına veya profil değişikliğine gerek kalmamaktadır. Kabin içine giren yükler ne kabinin tam ortasında duracak ne de düzenli bir şekilde yayılmayacaklardır. Bu kabullerle ve analitik yöntemlerle yapılan alt kirişin yer değiştirme hesaplarında bulunan değerler (0,179 mm, 0,243 mm), SEY ile bulunan değerlerden (0,0775 mm, 0,0726 mm) oldukça büyüktür. Yani SEY'e göre alt kiriş aynı anma yükü altında çok daha az deforme olacaktır. Asansör standartları kabinin üst ve alt kirişlerindeki yer değiştirmelerin değerinin  $e/L < 0,001$  koşulunu bozacak değerde olduğunda emniyetli çalışmanın mümkün olmayacağını belirtmektedir. Bu çalışmada kullanmış olduğumuz kirişin boyu 1230 mm olup emniyetli yer değiştirmesi değerinin aşılması için 1,23 milimetrelilik bir yer değişiminin meydana gelmiş olması gerekmektedir. Şekil 6.19'a bakıldığında hem analitik hem de SEY ile yapılan hesaplamalarda bulunan yer değiştirme değerleri oldukça emniyetli gözükmektedir.

Yan kiriş için; birinci yaklaşımda yükün, yan kirişlerde hem eğilmeye hem de çekmeye neden olması nedeniyle yan kirişin her iki gerilmenin toplamı şeklinde bir gerilmeye maruz kaldığı düşünülmüştür. İkinci yaklaşım da aynı kabulle hareket edilmesinin yanında eğilme gerilmesine neden olan momentin kiriş üzerinde oluşan en büyük moment olan ve üst askı kirişiyle bağlantı noktasında oluşan  $M_1$  momenti olduğu kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde ise yükün sadece çekme yönünde olduğu varsayılmıştır. SEY ile bulunan gerilme değerleri analitik yöntemlerle bulunan değerlere göre daha büyük çıkmıştır. Fakat bulunan bu değerler yan kiriş için öngörülen emniyet gerilmesinin (130 MPa) oldukça altındadır.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan gerilme analizi neticesinde elde edilen gerilme ve yer değiştirme değerleri emniyet ve gerçeğe yakınlık faktörleri olarak bakıldığında, asansör kabin çerçeve elemanlarının analizinde kullanılan eleman tipinin, sınır şartlarının ve yapılan kabullerin tatminkar hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] **Babalık, F.C., ve Çavdar, K., ve Sakalar, M., ve Meşhur, B.,** 2003. Asansör Kabin Taşıyıcıların Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Tasarımı ve Analizi, *Asansör Dünyası*, **55**, 74-79.
- [2] **Solmazoğlu, Ü. ve Akışın, H.,** 2004. A Review on the Elevator Car Suspension Calculations, *IAEE Publ., Proceedings of ELEVCON 2004, İstanbul*, 244-253.
- [3] <http://www.caeai.com/market08.htm>.
- [4] **İmrak, C.E. ve Gerdemeli, İ.,** 2000. Asansörler ve Yürüyen Merdivenler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [5] <http://www.aceasansor.com/kutuphane/terimler.htm>
- [6] **Kan, İ.G.,** 1996. Asansör Tekniği Cilt I, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] <http://www.formasasansor.com/sozluk.asp>
- [8] **Gibson, G.W.,** 1990. Elevator Hoistway Equipment, *Elevator World Educational Package and Reference Library*, NA, **3**, 11-23.
- [9] **Onur, Y.A., ve İmrak, C.E.,** 2005., Kabin Çerçevelerinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi ve Statik Gerilme Analizi, *7<sup>th</sup> International Fracture Conference*, Kocaeli, Turkey, October 109-116.
- [10] **Hymans, F.,** 1992. Electric Elevators Book I, International Textbook Company, Scranton, PA.
- [11] **Janovsky, L.,** 1993. Elevator Mechanical Design, Ellis Horwood Series, New York.
- [12] **Gür, N.,** 2001. Çerçeve Sistemlerinin Bilgisayar ile Boyutlandırılması ve Asansör Kabinlerine Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **TS-10922,** 2001. Asansörler-Yapım ve Montaj için Güvenlik Kuralları-Bölüm 1: Elektrikli Asansörler, *Türk Standartları enstitüsü*, Ankara.
- [14] **MMO Asansör Komisyonu,** 2002. Asansör Avan ve Uygulama Projeleri Hazırlama Teknik Esasları, Makine Mühendisleri Odası, 2002/208-3, Ankara.



- [15] **Kutay, M.G.**, 2004. Mukavemet Değerleri, Makine Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul.
- [16] **Riley, W.F. and Sturges, L.D. and Morris, D.H.**, 2002. Statics and Mechanics of Materials: An Integrated Approach, Wiley Press, USA.
- [17] **Black, P.**, 1966. Strength of Materials, Pergamon Pres, Oxford.
- [18] **Yayla, P.**, 2001. Cisimlerin Mukavemeti, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- [19] **Kurtay, T.**, 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş, İTÜ Ofset, İstanbul.
- [20] **Moaveni, S.**, 1999. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS, Prentice Hall, New Jersey.
- [21] **Rao, S.S.**, 1988. The Finite Element Method in Engineering Second Edition, Pergamon Pres, Oxford.
- [22] [http://analiz.infotron.com.tr/makaleler/BIONET\\_27-30April2002.pdf](http://analiz.infotron.com.tr/makaleler/BIONET_27-30April2002.pdf)
- [23] **Zienkiewicz, O.C. and Morgan, K.**, 1983. Finite Element and Approximation, Wiley.
- [24] **Cheung, Y.K. and Leung, A.Y.T.**, Finite Element Methods in Dynamics, Science.
- [25] <http://www.dermotmonaghan.com/feInformation/introduction/applicationAreas.php>
- [26] <http://analiz.infotron.com.tr/faq.php>
- [27] **Pintur, D.A.**, 1993. Finite Element Beginnings, Mathsoft, Inc.
- [28] **Cürgül, İ. ve Yetiştiren, H. ve Sınmazçelik, T.**, 2002. Makine Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği, Kocaeli.
- [29] **TS-1812**, 1988. Asansörlerin hesap, Tasarım ve Yapım Kuralları *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] [http://www.caeai.com/sales/Workbench%20Summary\\_files/frame.htm](http://www.caeai.com/sales/Workbench%20Summary_files/frame.htm)
- [31] <http://dentistry.uic.edu/tissueengineering/papers/>
- [32] Ansys Workbench 8.0 Help Files.

## ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Aytaç ONUR, 1982 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Zonguldak’da tamamladı. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı. 2003 yılında bölüm birincisi olarak Makine Mühendisi unvanı aldı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şu anda İTÜ’de eğitimine devam etmektedir.