

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ GÜVERTE KRENLERİNİN TASARIMI VE  
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İRDELENMESİ**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi Onur CANBAK

**FBE Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği  
Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet D. ALKAN**

**İSTANBUL , 2007**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                   | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>SİMGE LİSTESİ</b> .....                                        | i     |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....                                        | ii    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b> .....                                        | iv    |
| <b>ÖNSÖZ</b> .....                                                | v     |
| <b>ÖZET</b> .....                                                 | vi    |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                             | vii   |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....                                             | 1     |
| <b>2. KALDIRMA VE TAŞIMA MAKİNALARI</b> .....                     | 2     |
| 2.1 Kaldırma ve Taşıma Makinelerinin Sınıflandırılması.....       | 2     |
| 2.2 Kaldırma Makinelerinin Genel Özellikleri .....                | 2     |
| 2.3 Tahrik elemanları .....                                       | 3     |
| 2.4 Yük tutma elemanları .....                                    | 3     |
| 2.5 Krenler ve Tipleri.....                                       | 4     |
| 2.5.1 Köprülü krenler .....                                       | 4     |
| 2.5.2 Portal krenler .....                                        | 4     |
| 2.6 Genel Makina Elemanları Grubuna Giren Kren Elemanları .....   | 5     |
| <b>3. KATI MODELLEME</b> .....                                    | 6     |
| 3.1 Sımr ( B-Rep ) Gösterimi .....                                | 9     |
| 3.2 Konstrüktif Katı Geometrisi.....                              | 10    |
| 3.3 Süpürme ( Sweep) Gösterimi .....                              | 11    |
| 3.4 Analitik Katı Modelleme (ASM) .....                           | 12    |
| <b>4. SONLU ELEMENLAR METODU</b> .....                            | 13    |
| 4.1 Giriş .....                                                   | 13    |
| 4.2 Sayısal Metodlar.....                                         | 13    |
| 4.3 Sonlu Elemanlar Metodu .....                                  | 14    |
| 4.4 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları..... | 15    |
| 4.4.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları .....                | 15    |
| 4.4.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları .....             | 15    |
| 4.5 Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanım Alanları .....            | 17    |
| <b>5. HİDROLİK ELEMENLAR</b> .....                                | 19    |
| 5.1 Hidrolik Silindirler.....                                     | 19    |
| 5.1.1 Tek Etkili Silindirler .....                                | 19    |
| 5.1.2 Teleskopik Silindirler .....                                | 19    |

|               |                                                                           |    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.3         | Çift Etkili Silindirler .....                                             | 19 |
| 5.1.4         | Yastıklama .....                                                          | 19 |
| 5.1.5         | Silindir Borusunun Seçimi .....                                           | 21 |
| 5.1.6         | Piston Kolu .....                                                         | 21 |
| 5.1.7         | Hidrolik Silindirlerde Sızdırmazlık ve Yataklama .....                    | 22 |
| 5.2           | Mobil Hidrolik Pompalar .....                                             | 23 |
| 5.3           | Valfler .....                                                             | 25 |
| 5.3.1         | Basınç Denetim Valfleri .....                                             | 25 |
| 5.3.2         | Hidrolik Hareketlendiriciye Giden Yağın Denetlenmesi (Check Q-Meter) .... | 27 |
| 5.3.3         | Akış Denetim Valileri .....                                               | 27 |
| 5.3.4         | Kontrol Blokları .....                                                    | 28 |
| 5.4           | Dönel Yolverme Sistemleri .....                                           | 29 |
| 6.            | <b>BİR GEMİ GÜVERTE KRENİNİN TASARIMI</b> .....                           | 30 |
| 6.1           | Özellikler .....                                                          | 30 |
| 6.2           | Hesaplamalar .....                                                        | 31 |
| 6.2.1         | Halat Seçimi .....                                                        | 33 |
| 6.2.2         | Kanca Seçimi .....                                                        | 37 |
| 6.2.3         | Fırdöndü Seçimi .....                                                     | 38 |
| 6.2.4         | Kilitler .....                                                            | 39 |
| 6.2.5         | Zincir ve Dairesel Kesit .....                                            | 40 |
| 6.2.6         | Tambur ve Makara Seçimi .....                                             | 41 |
| 6.2.7         | Kren Bumundaki Normal Gerilmelerin Hesaplanması .....                     | 45 |
| 6.2.8         | Rüzgar Etkisiyle Oluşan Normal Gerilmenin Hesaplanması .....              | 50 |
| 6.2.9         | Bileşke Normal Gerilme .....                                              | 51 |
| 6.2.10        | Dinamik Kontrol .....                                                     | 52 |
| 6.2.11        | Hidrolik Silindir Hesabı .....                                            | 53 |
| 6.2.12        | Piston Kolunun Burkulma Yüğü Hesabı .....                                 | 54 |
| 7.            | <b>ANALİZLER ve SONUÇLARI</b> .....                                       | 56 |
| 7.1           | Cosmos ile Yapılan Analizler ve Sonuçları .....                           | 56 |
| 7.1.1         | Cosmos ile Statik Analiz .....                                            | 56 |
| 7.1.2         | Cosmos ile Dinamik Analiz .....                                           | 60 |
| 7.1.3         | Cosmos ile Yapılan Statik ve Dinamik Analizlerin Sonuçları .....          | 63 |
| 7.1.3.1       | Statik Analiz Sonuçları .....                                             | 63 |
| 7.1.3.2       | Dinamik Analiz Sonuçları .....                                            | 64 |
| 7.1.3.2.1     | Yük Salınımının Kren Bumuna Etkisi .....                                  | 65 |
| 7.1.3.2.2     | Kren Üzerinde veya Etrafında Çalışan Makinelerin Kren Bumuna Etkisi ..... | 67 |
| 7.1.3.2.2.1   | Dengeleme (Balans) .....                                                  | 69 |
| 7.1.3.2.2.1.1 | Giriş .....                                                               | 69 |
| 7.1.3.2.2.1.2 | Kütle Dengelemesi .....                                                   | 69 |
| 7.1.3.2.2.1.3 | Krank-Biyel Mekanizmalarının Dengelemesi .....                            | 70 |
| 7.1.3.2.2.1.4 | Güç Dengelemesi - Volanlar .....                                          | 70 |
| 7.1.3.2.3     | Kren Bumunun Doğal Frekanslarını Değiştirmenin Yolları .....              | 71 |
| 7.1.3.2.4     | Sönümleyicilerle Titreşim Kontrolü .....                                  | 73 |
| 7.2           | ADAMS ile Yapılan Analizler ve Sonuçları .....                            | 75 |
| 7.2.1         | Giriş .....                                                               | 75 |

|         |                                                                                                    |           |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.2.2   | <b>ADAMS ile Dinamik Analiz.....</b>                                                               | <b>78</b> |
| 7.2.2.1 | <b>Bumun yer düzlemine paralel durumdaki dinamik analizi.....</b>                                  | <b>78</b> |
| 7.2.2.2 | <b>Hidrolik silindir-piston çiftinin hareketli olduğu durumdaki dinamik analiz .....</b>           | <b>81</b> |
| 7.2.3   | <b>ADAMS ile Yapılan Dinamik Analizlerin Sonuçları .....</b>                                       | <b>86</b> |
| 7.2.3.1 | <b>Bumun yer düzlemine paralel durumdaki dinamik analizi sonuçları .....</b>                       | <b>86</b> |
| 7.2.3.2 | <b>Hidrolik silindir-piston çiftinin hareketli olduğu durumdaki dinamik analiz sonuçları .....</b> | <b>86</b> |
| 8.      | <b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>                                                                   | <b>87</b> |
|         | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                             | <b>88</b> |
|         | <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                              | <b>89</b> |

## SİMGE LİSTESİ

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| $\phi$     | Sabit Yük Katsayısı                  |
| $\psi$     | Kaldırma Yüğü Katsayısı              |
| $K_1$      | Tel halatlar için kullanım katsayısı |
| $\sigma$   | Gerilme                              |
| $G$        | Ağırlık                              |
| $M$        | Moment                               |
| $I$        | Atalet momenti                       |
| $F$        | Kuvvet                               |
| $S$        | Emniyet katsayısı                    |
| $N$        | Hidrolik güç                         |
| $d$        | Çap                                  |
| $F_{kr}$   | Kritik Burkulma Yüğü                 |
| $S_k$      | Serbest burkulma boyu                |
| $P$        | Sistem basıncı                       |
| $Q$        | Hidrolik akışkan debisi              |
| $t$        | Et kalınlığı                         |
| $f$        | Frekans (Hertz)                      |
| $\omega_n$ | Doğal frekans (rd/s)                 |
| $n$        | Devir sayısı (d/d)                   |
| $J$        | Eylemsizlik momenti                  |
| $k$        | Yay katsayısı                        |
| $V_c$      | Sehim                                |
| $C$        | Sönüm katsayısı                      |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                            | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1 Gezer köprülü krenler.....                                                       | 4     |
| Şekil 2.2 (Arabalı) tam portal kren.....                                                   | 5     |
| Şekil 2.3 (Arabalı) yan portal kren.....                                                   | 5     |
| Şekil 3.1 Katı modelin farklı şekillerde oluşturulması .....                               | 7     |
| Şekil 3.2 En yaygın primitifler .....                                                      | 8     |
| Şekil 3.3 Bir katıya ait yarım uzay gösterimi .....                                        | 9     |
| Şekil 3.4 Sınırlanmış ve sınırlanmamış primitifler.....                                    | 10    |
| Şekil 3.5 Tipik bir katı ve bu yapıyı oluşturan primitifler.....                           | 10    |
| Şekil 3.6 Süpürme çeşitleri .....                                                          | 11    |
| Şekil 4.1 Eleman sayısının artmasının çözümün hassasiyetine etkisi .....                   | 13    |
| Şekil 4.2 Problem geometrisinin sonlu farklar ve sonlu elemanlar metodu ile gösterimi .... | 14    |
| Şekil 5.1 Dışarıdan ayarlanabilen yastıklama.....                                          | 20    |
| Şekil 5.2 Kendinden ayarlı yastıklama.....                                                 | 20    |
| Şekil 5.3 Çift etkili, yastıklamalı hidrolik silindirin ana elemanları .....               | 20    |
| Şekil 5.4 Hidrolik silindir kesiti.....                                                    | 22    |
| Şekil 5.5 Deplasman değiştirme mekanizması.....                                            | 24    |
| Şekil 5.6 Değişken deplasmanlı pompada basınç dengeleme .....                              | 24    |
| Şekil 5.7 Basınç emniyet valfi kesiti .....                                                | 25    |
| Şekil 5.8 Mühürlü emniyet ayar vidası.....                                                 | 26    |
| Şekil 5.9 Basınç emniyet valfleriyle oluşturulmuş örnek devre.....                         | 26    |
| Şekil 5.10 Akış kontrol valfi kesiti .....                                                 | 27    |
| Şekil 5.11 Kontrol bloğu kesiti .....                                                      | 28    |
| Şekil 5.12 Kontrol bloğu devre şeması .....                                                | 28    |
| Şekil 5.13 Dönel Yol Verme Sistemi.....                                                    | 29    |
| Şekil 6.1 Tasarımı yapılacak krenin görünüşleri.....                                       | 30    |
| Şekil 6.2 Yük kancaları.....                                                               | 37    |
| Şekil 6.3 Fırdöndüler .....                                                                | 39    |
| Şekil 6.4 Kilitler .....                                                                   | 40    |
| Şekil 6.5 Zincir ve daire kesit.....                                                       | 41    |
| Şekil 6.6 Makara boyutlandırılmaları .....                                                 | 42    |
| Şekil 6.7 Makaranın üç boyutlu görünüşü .....                                              | 43    |
| Şekil 6.8 Tamburun boyutlandırılması .....                                                 | 43    |
| Şekil 6.9 Tambur üzerine sarılmış halatın geometrik durumu .....                           | 45    |
| Şekil 6.10 Kren bumuna etki eden kuvvetler.....                                            | 45    |
| Şekil 6.11 Momentin en büyük değere ulaştığı kesitin ölçüleri.....                         | 48    |
| Şekil 6.12 Bumun konstrüksiyonuna ait resimler.....                                        | 49    |
| Şekil 6.13 Krenin gövde konstrüksiyonuna ait resimleri.....                                | 49    |
| Şekil 6.14 Bumun yüzeyinin 3 cm. kalınlığında buz tabakası ile kaplı hali.....             | 50    |
| Şekil 6.15 Kren en kesitinin kaynakla birleştirilmesi.....                                 | 52    |
| Şekil 6.16 Hidrolik silindir – piston çiftinin üç boyutlu görünüşü.....                    | 53    |
| Şekil 6.17 Hidrolik silindirin bum yer düzlemine paralel durumdaki ölçüleri .....          | 54    |
| Şekil 7.1 Kren bumunun yandan görünüşü .....                                               | 56    |
| Şekil 7.2 Kren bumuna etki eden kuvvetler.....                                             | 56    |
| Şekil 7.3 Statik analiz aşaması için buma örülen ağ.....                                   | 57    |
| Şekil 7.4 Statik analiz sonucu bulunan eşdeğer gerilme değerleri .....                     | 57    |
| Şekil 7.5 Statik analiz sonucu bulunan deplasman değerleri .....                           | 58    |
| Şekil 7.6 Statik analiz sonucu bulunan gerilme değerleri .....                             | 58    |
| Şekil 7.7 Statik analiz sonucu bulunan kritik noktalar .....                               | 59    |

|             |                                                                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 7.8   | Dinamik analiz sonucu oluşan 1. mod şekli .....                                                                       | 60 |
| Şekil 7.9   | Dinamik analiz sonucu oluşan 2. mod şekli .....                                                                       | 60 |
| Şekil 7.10  | Dinamik analiz sonucu oluşan 3. mod şekli .....                                                                       | 61 |
| Şekil 7.11  | Dinamik analiz sonucu oluşan 4. mod şekli .....                                                                       | 61 |
| Şekil 7.12  | Dinamik analiz sonucu oluşan 5. mod şekli .....                                                                       | 62 |
| Şekil 7.13  | Bum ucundan sarkan halat – yük ikilisinin sarkaç hareketine benzetimi .....                                           | 65 |
| Şekil 7.14  | Dengelenmiş ve dengelenmemiş 2 kütle .....                                                                            | 69 |
| Şekil 7.15  | Kren bumunun Castigliano yöntemi için modeli .....                                                                    | 71 |
| Şekil 7.16  | Kren bum kesitine ait boyutlar ve x-x eksenine göre atalet momenti.....                                               | 71 |
| Şekil 7.17  | Sistemin indirgenmiş basit bir modeli.....                                                                            | 72 |
| Şekil 7.18  | Bir kütle-yay sistemi, sisteme ait diferansiyel denklem ve doğal frekans ifadesi .....                                | 72 |
| Şekil 7.19  | Sönümlü sistem modeli .....                                                                                           | 74 |
| Şekil 7.20  | ADAMS programında yapılan dinamik simülasyon sırasındaki bir anın görüntüsü .....                                     | 75 |
| Şekil 7.21  | Bum üzerine örülen ağıdaki 412 nolu nodun yeri.....                                                                   | 76 |
| Şekil 7.22  | Bum üzerine örülen ağıdaki 460 nolu nodun yeri.....                                                                   | 76 |
| Şekil 7.23  | Bum üzerine örülen ağıdaki 468 nolu nodun yeri.....                                                                   | 77 |
| Şekil 7.24  | Bum üzerine örülen ağıdaki 483 nolu nodun yeri.....                                                                   | 77 |
| Şekil 7.25  | 412 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 78 |
| Şekil 7.26  | 460 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 78 |
| Şekil 7.27  | 468 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 79 |
| Şekil 7.28  | 483 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 79 |
| Şekil 7.29  | Bum üzerindeki yatay ve düşey yöndeki yer değişimlerinin ölçüldüğü mesafeler .....                                    | 80 |
| Şekil 7.30  | Bum ucunun düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi.....                                     | 80 |
| Şekil 7.31  | Bum ucunun yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi.....                                     | 80 |
| Şekil 7.32  | Piston hızının zamana göre değişimi.....                                                                              | 81 |
| Şekil 7.33  | 412 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 81 |
| Şekil 7.34  | 460 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 82 |
| Şekil 7.35  | 468 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 82 |
| Şekil 7.36  | 483 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....                                                        | 83 |
| Şekil 7.37  | Bum üzerindeki yatay ve düşey yöndeki yer değişimlerinin ölçüldüğü mesafeler .....                                    | 83 |
| Şekil 7.38a | Bumun ucunun düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi.....                                   | 84 |
| Şekil 7.38b | Bumun ucunun (simülasyonun ilk 5 saniyesinde) düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi ..... | 84 |
| Şekil 7.39a | Bumun ucunun yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi.....                                   | 85 |
| Şekil 7.39b | Bumun ucunun (simülasyonun ilk 5 saniyesinde) yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi ..... | 85 |

**TABLO LİSTESİ**

|                                                                                                                                                                                       | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 6.1 Kaynak edilebilir çeliklerin seçimi.....                                                                                                                                    | 31    |
| Tablo 6.2 Sabit Yük Katsayısı $\phi$ .....                                                                                                                                            | 32    |
| Tablo 6.3 Kaldırma Yükü Katsayısı $\psi$ .....                                                                                                                                        | 32    |
| Tablo 6.4 Tel halatlar için kullanım katsayısı.....                                                                                                                                   | 33    |
| Tablo 6.5a Tel halatlar .....                                                                                                                                                         | 35    |
| Tablo 6.5b Tel halatlar .....                                                                                                                                                         | 36    |
| Tablo 6.6 Yük kancaları .....                                                                                                                                                         | 37    |
| Tablo 6.7 Serbest donanımlar için statik test yükleri .....                                                                                                                           | 38    |
| Tablo 6.8 Serbest donanımlar için dinamik test yükleri.....                                                                                                                           | 38    |
| Tablo 6.9 Fırdöndüler.....                                                                                                                                                            | 38    |
| Tablo 6.10 Kilitler.....                                                                                                                                                              | 39    |
| Tablo 6.11 Form B bağlama parçalı zincirler.....                                                                                                                                      | 40    |
| Tablo 6.12 Halat dilleri ve tamburların minimum çapları.....                                                                                                                          | 41    |
| Tablo 7.1 Cosmos programında yapılan statik analiz sonucunda bulunan gerilme, deplasman ve gerinme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri ve bu değerlerin bulunduğu yerler ..... | 59    |
| Tablo 7.2 Cosmos programında yapılan dinamik analiz sonucunda bulunan ilk 5 moda ait frekans değerleri.....                                                                           | 62    |
| Tablo 7.3 Rezonans devirleri ve rezonans devir aralıkları .....                                                                                                                       | 68    |
| Tablo 7.4 Emniyetli ve emniyetsiz devir aralıkları.....                                                                                                                               | 68    |

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet D. ALKAN'a, proje boyunca bana yardımcı olan Sayın Y. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU'ya, Y. Doç. Dr. Tamer KEPÇELER'e, UMTAŞ A.Ş. çalışanlarına, BİAS Mühendislik çalışanlarına, Gürdesan Gemi Sanayii'den Hüseyin GÖKÇEN'e, Belgin PAY'a ve maddi ve manevi olarak benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

OCAK , 2007

Onur CANBAK

## ÖZET

Günümüzde makinelerin bilgisayar ortamında tasarlanması ve çalışmalarının simüle edilmesi, zaman ve paradan tasarruf sağladığı gibi, çıkabilecek problemlerin önceden görülebilmesini sağlar. Çalışmamda, hidrolik bir gemi güverte kreninin, bilgisayar ortamında 3 boyutlu modeli Solidworks'de tasarladıktan sonra, Cosmos programında statik ve dinamik (frekans) analizleri için kullanılmıştır. Daha sonra MSC.ADAMS programında krenin bumu modellendikten sonra dinamik analizler yapılmıştır. Bilgisayar analizleri ile elde edilen sonuçların, klasik hesap yöntemleriyle doğrulanması, modelin güvenilirliğini ortaya koymuştur. Çalışmada öncelikle gemi güverte krenlerinde kullanılan hidrolik elemanlar ve kontrol yöntemleri anlatılmıştır. Daha sonra CAD model ve CAD model ile yapılan analizler anlatılarak, mevcut CAD modelin konstrüksiyon ve hidrolik eleman hesapları gösterilmiştir. Cosmos'da yapılan frekans analizi sonuçları yorumlanmıştır. Rezonanstan korunmak için gerekli yöntemler anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Kren, Güverte, Hidrolik ,Gerilme, Statik, Dinamik, Frekans, Rezonans

**ABSTRACT**

Today the designing of machines on computer and the simulation of mechanical systems provide us time and cost saving and also help us to foresee the design problems. In this thesis, 3D model of a hydraulic deck crane was designed by using Solidworks software and then this model was used in Cosmos for static and dynamic (frequency) analyses. After designing the 3D model of the crane boom in MSC.ADAMS, the dynamic analyses were made. Validation of the software results with the conventional calculations, shows us the reliability of the CAD model. In this thesis, firstly hydraulic elements and control methods of hydraulic deck crane are explained. Then CAD model and analyses made with CAD model are explained and the present CAD model construction and the calculation of hydraulic elements are shown. The results of frequency analyse and the necessary methods to be protected from resonance are explained.

**Keywords :** Crane, Deck, Hydraulic, Stress, Static, Dynamic, Frequency, Resonance

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte, tasarım maliyetlerinde önemli kazançlar sağlanmaktadır. Özellikle bilgisayar ortamında tasarım ve ürün geliştirme, önemli sayılabilecek prototip maliyetlerini azaltır. Bu tez çalışmasında, gemi güverte krenin tasarımı bilgisayar ortamında yapılarak parçaların birbirleriyle etkileşimi daha net ortaya konulmaktadır. Mevcut model, birçok yapısal analize uygun olup, katı model farklı dosya türlerine çevrilerek, kendi konusunda uzmanlaşmış yazılımlarda farklı analizler yapılabilir. Çalışmada öncelikle gemi güverte krenlerinde kullanılan hidrolik elemanlar ve kontrol yöntemleri anlatılmıştır. Daha sonra CAD model ve CAD model ile yapılan analizler anlatılarak, mevcut CAD modelin konstrüksiyon ve hidrolik eleman hesapları gösterilmiştir.

## 2. KALDIRMA VE TAŞIMA MAKİNALARI

Bir malzeme, mal veya ürünün bir yerden başka bir yere taşınmasına kısaca endüstriyel taşıma denir. Bu taşıma işlevi, kaldırma ve taşıma makineleri denilen transport makineleri ile sağlanır.

Endüstriyel ekonomide malzeme taşımalarının önemi büyüktür. Düzenlenmiş bir taşıma sisteminden yoksun fabrika, maden ocağı, atölye, liman gibi herhangi bir endüstriyel tesis veya işletme düşünülemez. Bir ürün elde etmek maksadıyla tesis içerisine taşınacak her türlü malzemenin, iletilmesi veya üretilmiş ürünlerin ekonomik olarak taşınması, taşıma sistemlerinin doğru ve isabetli seçimine bağlıdır. İşlenecek hammadde ve yan işlenmiş ürünler ile yardımcı maddelerin fabrika, atölye gibi üretim tesislerine getirilmesi, üretim artıklarının atılması ve imal edilen son ürünlerin tesislerden çıkarılması işlevine dış taşıma denir. Dış taşıma, karadan, denizden ve havadan taşıma araçları ile sağlanır ve uzun mesafeler için taşıma aracı olarak kullanılır. Bu genel taşıma araçlarına malların yüklenebilmesi ve boşaltılması için de, malın cins ve ağırlığına bağlı olarak kaldırma makineleri denilen transport makinelerine ihtiyaç vardır.

Üretim tesisine alınmış olan malzeme ve malların ambarlara, üretim birimlerine dağıtımı, üretim sürecinde birim içi hareketlerin sağlanması ve son ürünler ile üretim artıklarının tesis içinde belirli yerlere taşınması gibi işlemlere de iç taşıma denir. Üretim tesisi içerisinde, malzeme ve malların cinsi, ağırlığı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerine ve ayrıca bunların kesikli ve sürekli taşınması konumlarına bağlı olarak, her türlü kaldırma ve taşıma makineleri iç taşımada kullanılır. Modern bir endüstriyel işletmede, önceden düzenlenmiş bir dış taşıma ve iç taşıma programı ve uygulamaları ile sürekli üretim akışı ve üretim işlemleri arasında bir uyum gerçekleştirerek, zaman ve enerji tasarrufu sağladığından üretimin artması ve üretim kalitesinde iyileşme gözlenir.

### 2.1 Kaldırma ve Taşıma Makinelerinin Sınıflandırılması

Kaldırma ve taşıma makinelerinin çalışma ilkeleri, tasarım özellikleri ile taşınacak malzeme veya malların fiziksel ve kimyasal Özelliklerinin büyük çeşitlilikler göstermeleri, kaldırma ve taşıma makinelerinin genel bir sınıflandırılmasının yapılmasını hemen hemen olanaksızlaştırır.

Genellikle kaldırma ve taşıma makinelerini çalışma ilkelerim göz önüne alarak, iki grupta toplamak mümkündür. Kesikli taşıyıcılar ile sürekli taşıyıcılar olarak iki büyük sınıfa ayırabiliriz.

Kesikli taşıyıcılar genellikle kaldırma makineleri olarak adlandırılmakta; sürekli taşıyıcılar ise konveyörler veya kısaca taşıyıcılar olarak adlandırılmaktadırlar. Kesikli taşıyıcıları yani kaldırma makinelerini (krikolar, palangalar, vinçler, krenler, asansörler ve istif makineleri) olarak altı grup altında, sürekli taşıyıcıları yani konveyörleri de (çekme elemanlı sürekli taşıyıcılar, çekme elemansız sürekli taşıyıcılar ve akışkan akımlı taşıyıcılar) olarak üç grup altında gruplandırabiliriz.

### 2.2 Kaldırma Makinelerinin Genel Özellikleri

Kaldırma makineleri ile taşıma makineleri (konveyörler) arasındaki en belirgin fark; kaldırma makinelerinin kesikli; taşıma makinelerinin (konveyörlerin) ise sürekli çalışmalarıdır.

Kaldırma ve taşıma makinelerinin bu kesikli ve kesiksiz çalışma tarzı yer değiştirtecekleri yükün karakteristiklerinin bir sonucudur, kesikli çalışan kaldırma makineleri, daha çok parça yükler veya birim malları taşırlar. Ayrıca kepçeli kaldırma makineleri yardımıyla dökme

mallar da kaldırılır ve taşınır. Kesiksiz çalışan taşıma makineleri (konveyörler) ise, sınırlı ölçüde parça veya birim malların taşınması yanında; esas olarak dökme ürün taşıyan makinelerdir. Kaldırma makinelerinin büyük bir bölümü genellikle vinç ve krenlerdir.

Vinçler yükleri sadece kaldıran veya tek bir yöne çeken (tek serbestlik dereceli) basit kaldırma makineleridir.

Krenler ise, üzerinde vinç donanımı da bulunan ve ayrıca öteleme ve dönme hareketlerini de yapacak düzeneklere de sahip, olarak yükleri istenilen her yöne taşıyabilen 2 veya 3 serbestlik dereceli kaldırma makineleridir.

Transport makinelerinin ana yapı elemanları, tahrik ve yük tutma elemanlarıdır.

### **2.3 Tahrik elemanları**

Transport makinelerinde tahrik tel halatlarla veya zincirlerle sağlanır.

Halat ile tahrikte, esas eleman tel halattır . Tel halattan başka, halatın sarıldığı tahrik kasnakları da halat ile tahrik grubuna giren yapı elemanlarıdır.

Halat ile tahrike benzer şekilde burada esas eleman zincirdir. Ayrıca zincirlerin sarıldığı zincir makaraları, zincir tamburları ve zincir kılavuzları da bu gruba giren elemanlardır.

### **2.4 Yük tutma elemanları**

Kaldırılan veya taşınan malların (parça veya birim yükler veya dökme mallar gibi) çok değişik tipte olmalarına karşılık yük tutma elemanları da çok çeşitlidir.

Başlıca yük tutma elemanları olarak,

- a) Kancalar,
- b) Kanca takımları ve blokları,
- c) Bağlama zincirleri ve bağlama halatları,
- d) Taşıma traversleri,
- e) Platform ve tablolar,
- f) Kısaçlar ve kavrayıcılar (kepçeler),
- g) Taşıma kaplan,
- h) Yük kaldırma mıknatısları ve
- ı) Vakumlu yük kaldırıcıları'dır.

## 2.5 Krenler ve Tipleri

Krenler, yükü kaldırıp indiren ve çeşitli yönlerde hareket ettiren, kaldırma ve taşıma makineleridir.

Krenleri iki gruba ayırabiliriz.

a) Yerleşik düzende çalışan krenler: *Köprülü krenler, portal krenler, oklu krenler ve döner krenler*. Bu krenler belirli bir saha ve hacim içinde çalışırlar.

b) *Mobil krenler* istenilen yere götürülebilen krenler olup, karada yürüyen ve suda yüzen mobil krenler olarak iki gruba ayrılırlar.

### 2.5.1 Köprülü krenler

Köprülü krenler, yükseğe yerleştirilmiş kren yolunu meydana getiren iki kiriş arasında gezen, bir köprü konstrüksiyonudur.

Köprülü krenlerin de değişik çeşitleri vardır. Yaygın olarak enine ve boyuna hareket eden gezer köprülü kren uygulamaları mevcuttur.



Şekil 2.1 Gezer köprülü krenler

Köprü yükseğe yerleştirilmiş olan raylar üzerinde boyuna hareket ederken, *köprü* üzerinde de enine hareket eden bir *araba* vardır. Araba üzerine de, yükü indirip kaldıran kısaca vinç dediğimiz (planga, tambur, dişli kutusu ve kaldırma motoru gibi) kaldırma mekanizması ile; arabayı köprü üzerinde yürüten elektrik motoru ile tahrik sistemi ve tekerlekler gibi elemanları taşır.

### 2.5.2 Portal krenler

Portal krenlerin özelliği, köprüyü yüksekte tutan ayakları ile birlikte bir sehpa şeklinde imal edilmelidir.

Zemindeki raylar üzerine hareket eden portal krenlerin, rayları aynı seviyede ise buna tam portal kren, rayların biri köprü seviyesine çıkarılmış yani yukarıya kaldırılmış ise, bu tip krenlere yarı portal kren denilir.



Şekil 2.2 (Arabalı) tam portal kren



Şekil 2.3 (Arabalı) yan portal kren

Portal krenlerin üzerinde; oklu kren , döner kren gibi kaldırma araçları sabit olarak monte edilebilecekleri gibi, enine yürüyebilecek şekilde de yapılabilirler.

Portal krenlerin iş alanlarını büyütme maksadı ile bir veya iki taraftan kollu (konsollu) olarak da yapılabilir.

## 2.6 Genel Makine Elemanları Grubuna Giren Kren Elemanları

- a) Akslar, miller ve yataklar
- b) Dişli çarklar ve dişli kutuları
- c) Bağlama elemanları
- d) Kavramalar
- e) Frenler ve kilit sistemleri
- f) Özel elemanlar

### 3. KATI MODELLEME

Katı modelleme teknikleri tamamıyla bilgilendirme üzerine kurulmuştur. Yani nesnelerin tereddütsüz şekilde gösterimini sağlar. Basitçe nesnenin üzerinde, içinde ve dışında olan bir noktanın konumunun verilebilmesi olarak düşünülebilir. Eğer modelleme tekniği ile tam olarak tanımlama, geçerlilik ve tereddütsüzlük sağlanamaz ise kullanıcı devreye girerek modelleme ile etkileşimde bulunarak modelin yapılandırılmasını gerçekleştirebilir. Tereddütlü modeller, kütle özellikleri hesaplarında, sonlu eleman modellemesinde, BDİP'da(CAPP-computer aided process planning-bilgisayar destekli işlem planlama) ve sayısal kontrol (NC) programlamada kullanılamazlar

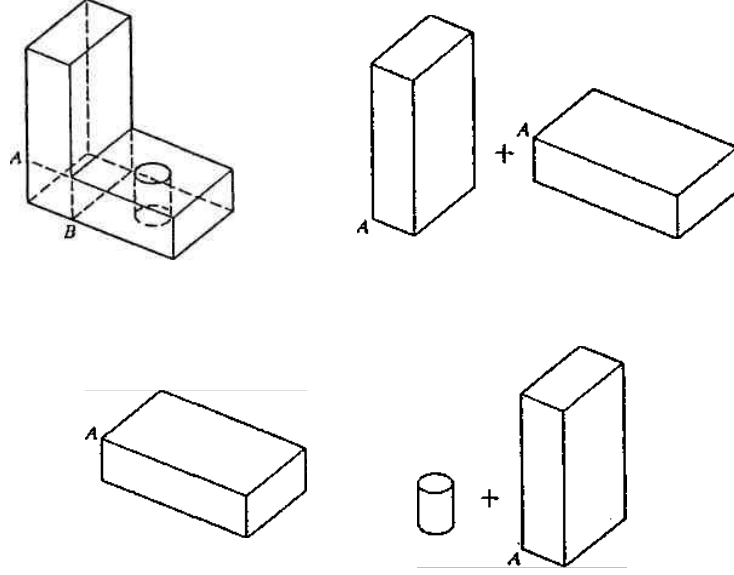
Katı modelleyiciler tel kafes ve yüzey (geometri) modelleyicilerden daha fazla bilgi (geometrik ve topolojik) saklarlar. Tel kafes ve yüzey modellere göre daha avantajlı olmalarına rağmen bazı sınırlamalar vardır. Katı tanımından ne diğer modellerin otomatik olarak yaratılması ne de diğer modellerin yaratılmasında kullanılmış verilerin otomatik olarak katı modelin yaratılmasında kullanılması mümkün değildir. Buna ek olarak büyük ölçekli imalat uygulamalarında katı modelleme tercih edilmektedir. Kaplama ve hesaplamaların yavaş olması gelişen teknoloji ile problem olmaktan çıkmaktadır. Katı modelleme hacimsel modelleme olarak da anılmaktadır.

Geçerli BDK/BDİ sisteminde katı modeller yaratmak için kullanıcı tarafından veri girişi yapılmalıdır. Örnek olarak B-rep (boundary representation-sınır gösterimi) veri gösterimine sahip bir sistem CSG (constructive solid geometry-konstrüktif katı geometrisi) temelli kullanıcı bağlantısı sağlanabilir. Yani model primitif objelerden oluşturulabilir. Kullanıcı bağlantısı olarak çoğu sistem blok-yapısı yaklaşımı (CSG) ve süpürme (sweep) işlemleri kullanılmaktadır

Bir nesnenin katı modeli, yüzey model gösteriminden daha karmaşıktır. Topolojik ve geometrik bilgiler daha sonraki kütle özelliklerinin hesabı, sonlu elemanlar ağ üretme gibi işlemlerin otomatik olarak yapılmasında kullanılabilir. Bunda teorik olarak kullanıcının doğrudan bir katkısının olmadığı düşünülebilir. Katı modelleme ile bir nesnenin tanımlanması eğri, yüzey ve katı gibi tekniklerin kullanılması ile çok kolay olarak yapılabilir. Bazı durumlarda katı modeller tel kafes veya yüzey modellemeden daha basit ve kolay olmaktadır.

Katı modeller otomasyon ve integrasyon maksatları için kullanılacak ise kusursuz olmalıdırlar. Kavramsal konstrüksiyon aşamasında kusursuz modele ihtiyaç olmadığından bu modellere analiz ve uygulama algoritmalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Modelin doğruluk ve hızı, kullanılan gösterim şemasına ve kullanılan veritabanında saklanan verilere bağlıdır. B-rep modelleyiciler genel şekilleri daha iyi sunarken daha fazla işlem zamanı gerektirmektedirler. CSG modelleyiciler yapılandırma açısından daha basit ve ekranda görüntüleme açısından daha uygundur. Fakat karmaşık bir şeklin tanımlanmasında zorluklar olabilir.

Katı modeller tam ve tereddütsüz olmalarına rağmen tek bir çözüm yoktur. Bir nesne çeşitli yollarla yapılandırılabilir. Şekilde çeşitli primitiflerin toplama ve çıkarma işlemleri yardımıyla modelleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Katı modelin farklı şekillerde oluşturulması

Çoğu ticari katı modelleme paketleri CSG uyumludur. Kullanıcının blok yapılarının (primitifler diye adlandırılır) kullanılmasına imkan sağlar. Primitifler basit temel şekiller olup matematiksel boolean işlemleriyle bir araya getirilmeleri ile kompleks katı modeller oluşturulabilir.

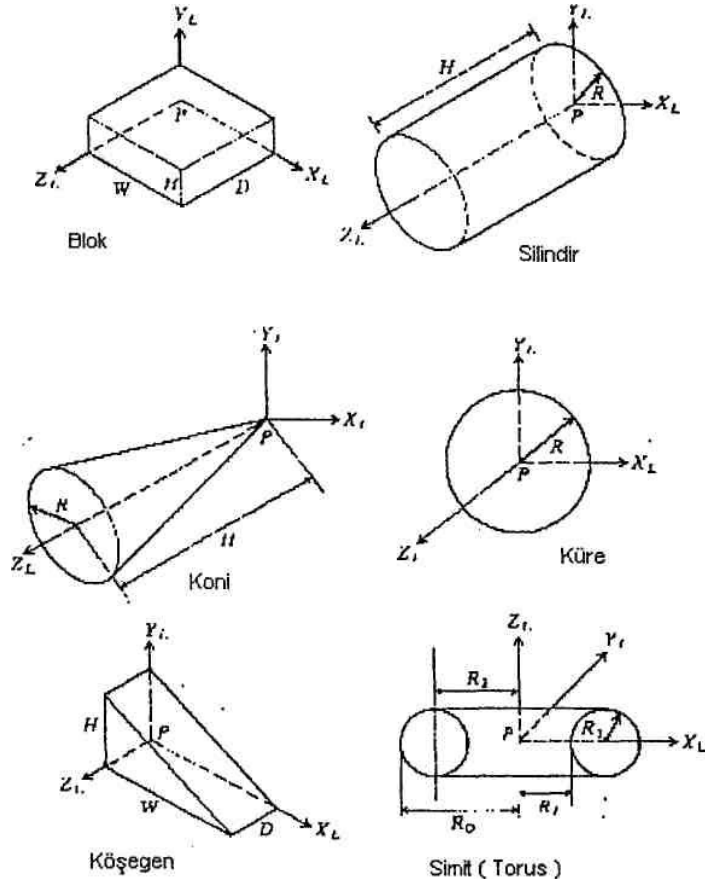
Bazı paketler ise süpürme (sweep) işlemleri ile katı model oluşturmaktadır. Bunun için katının yüzeyleri oluşturulur ve daha sonra süpürme işlemleri ile katı model oluşturulur.

Çok çeşitli primitif nesneler ticari olarak kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar blok, silindir, koni ve kürelerdir. Düzlemler, silindirler, koniler ve küreler dördüncü doğal kuadrik elemanı göstermektedir.

Yaygın şekilde kullanılan primitifler aşağıda verilmiştir;

1. Blok: Genişliği, uzunluğu ve derinliği gibi geometrik verileri verilmiş kutudur. Aşağıdaki şekilde yerel koordinat sistemi XL, YL, ZL gösterilmiştir. P noktası XL, YL, ZL sisteminin orijin noktasıdır. W, H ve D kutunun relatif konumunu koordinat sistemine göre tanımlar.
2. Silindir: Bu primitif R yarıçap ve H boyu ile tanımlanmıştır. H genellikle ZL ekseninde alınır ve negatif ya da pozitif olabilir.
3. Koni: Taban yarıçapı R ve yüksekliği H olan bir primitiftir. Eğer kesik koni oluşturulacaksa üst yarıçap verilmelidir.
4. Küre: Yerel koordinat sistemine göre bir merkez noktası ve verilen yarıçap ya da çap ile tanımlanır.
5. Üçgen Kama: Yüksekliği H, genişliği W ve taban derinliği D ile tanımlanan bir geometrik şekildir.
6. Simit (Torus): Çemberin düzlemde kalarak bir eksen etrafında döndürülmesi ile oluşan şekildir.  $R_1$  (simitin yarıçapı),  $R_2$  (simit gövdesinin yarıçapı) ile tanımlar.

Simitin iç yapı  $R_1$  ve dış çap  $R_0$  dır.



Şekil 3.2 En yaygın primitifler

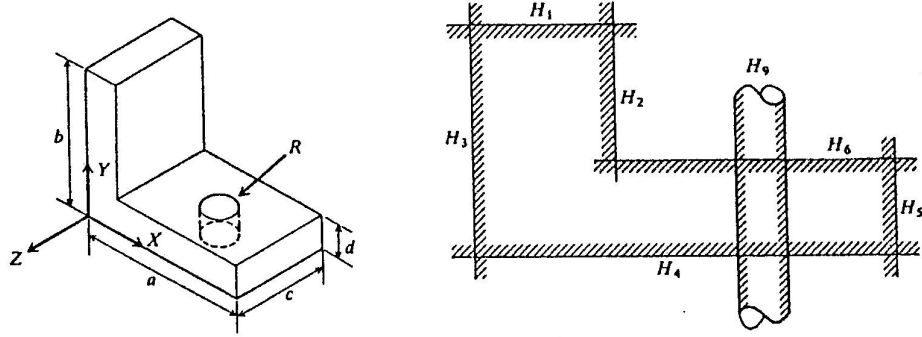
İki ya da daha çok primitifi bir araya getirilerek istenen katı oluşturulabilir. Sonuç katının geçerliliği boolean işlemleri ile sağlanır. Birleştirme (u veya +), kesişim (n veya I) ve fark (-) işlemleri boolean işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Birleştirme operatörü iki nesne yada primitifi bir araya getirmek için kullanılan Kesişim operatörü ise iki nesnenin ortak hacmini bularak bu kesişim kümesi ile ifade edilen yeni nesneyi tanımlar. Fark operatörü ise bir nesneden bir başka nesneyi çıkararak yeni bir nesne elde edilmesini sağlar.

Bilgisayarda ve mühendislik uygulamalarında katı model gösteriminin başarısı bu modellerin şema gösteriminin başarısına bağlıdır. Katı modelleme teorisi, gerçek nesnenin matematiksel bir model gösterimini tanımlar. Katı modellerin matematiksel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir;

1. Rijitlik; Katı modelin şekli, modelin uzaydaki konumuna veya oryantasyonuna bağlı olmamalıdır.
2. Homojen üç boyutluluk; Katı sınırları iç bölgeye temas etmelidir. Uyuşmayan, sarkan yüzeyler ve kenarlar olmamalıdır.
3. Sonluluk ve tanımlanabilir sonluluk; Sınırlı sayıda bilgi ile katının boyutları belirlenebilmelidir. Çünkü bilgisayarın kapasitesi sınırlıdır. Örnek olarak, sonlu yarıçap ve yükseklikle tanımlanabilen bir silindir, sonsuz sayıda düzlemsel yüzeyle tanımlanabilir.
4. Katı hareketler ve düzenli boolean operasyonları ile model oluşturma; Katıları uzayda hareket ettirerek, çeşitli maniplasyonlar yapmak veya boolean operasyonları ile yeni geçerli nesneler yaratılabilir.
5. Sınır belirleme; Katının sınırları katıyı içermeli ve katının iç bölgesini belirleyebilmelidir.

### 3.1 Sınır ( B-Rep ) Gösterimi

B-rep model veya sınır model, bir yüzey kümesi ile sınırlı fiziksel bir nesnenin topolojik ifadesidir. Bu yüzeyler bölgeler veya kapalı yüzeyler alt kümesidir. Kapalı bir yüzey kırılmalar olmayan sürekli yüzeydir. Sınır modeli ile bir nesnenin yüz, kenar ve köşelerinin bir araya getirilmesi ile topolojik olarak modelin geçerliliği garanti altına alınır.



Şekil 3.3 Bir katıya ait yarım uzay gösterimi

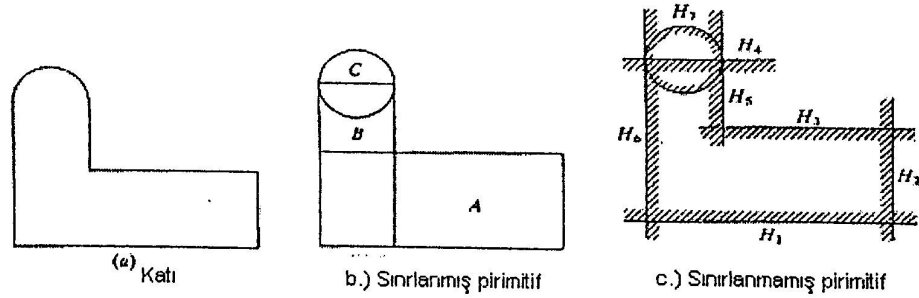
Sınır model veritabanı hem topolojiyi hem de geometriyi içerir. Topoloji Euler işlemleri ile yaratılır. Geometri ise Euclid hesapları ile elde edilir. Euler işlemleri primitif CSG modellere ait yüzlerde, kenarlarda ve köşelerde düzeltmeler ve manüplasyonlar yaratmak için kullanılır. Euler işlemleri (boolean işlemleri) sınır modellerin doğruluğu ve bütünlüğünü (kapalılık, uyuşmaz yüz ve kenarların olmamasını) sağlar. Bunlar aynı zamanda modelin geçerliliğini kontrol eden mekanizmalardır. Daha başka geçerlilik kontrolleri uygulanabilir. Geometri köşelerin koordinatlarını, rijit hareket ve transformasyonları (öteleme ve dönme vs.) ve metrik bilgileri ihtiva eder. Topoloji ve geometri iç içe geçmiştir ve birbirinden ayrılmaz. İkisi de birbirine uyumlu olmalıdır. Yoksa saçma bir şekil elde edilebilir.

### 3.2 Konstrüktif Katı Geometrisi

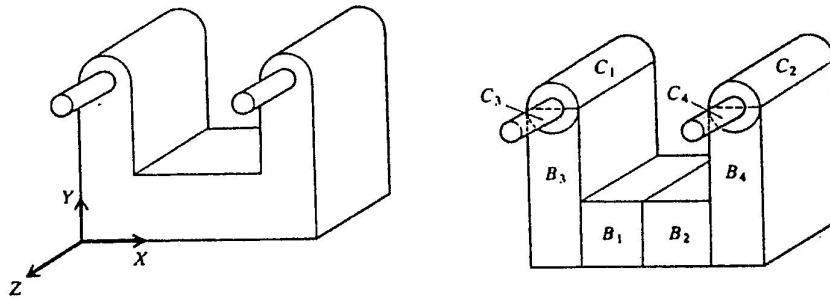
CSG ve B-rep şemaları, fiziksel nesnelerin katı modellerinin yaratılmasında kullanılan en popüler şemalardır. CSG, gösterimin az ve Öz olmasından söz konusu nesnenin yaratılması ve saklanması çok daha kolaydır. Ayrıca geçerlilik kontrolü de oldukça kolaydır. Fark ve kesişim işlemleri kolayca yapılabilir.

CSG model, fiziksel bir nesnenin primitif kümelerine bölünerek ve belirli kuralların izlenmesi (boolean işlemleri) ile bu primitiflerin bir araya getirilmesi sonucunda oluşturulur. Primitifler geçerli CSG modelleri olarak kabul edilebilir. Her primitif bir yüzey kümesi ile sınırlanmış ve genellikle kapalıdır. Primitif yüzeyleri, sınır değerlendirme işleminden faydalanarak bulunan yüzler, kenarlar ve köşelerin bir araya getirilmesinden oluşur. CSG modeller, B-rep prensip ve topolojik olarak farklıdır. Yüzler, kenarlar ve köşeler eksplicit olarak hesaplanmaz bunun yerine ne zaman gerekiyorlar ise o zaman üretilirler. CSG modeller yüzler, köşeleri ve kenarları yeniden değerlendirmesine karşın konstrüksiyon ve imalat açısından çok uygundur.

İki ana CSG şeması vardır. Birinci gruptaki CSG modeller sınırlanmış katı primitiflerini (r-kümeleri) esas alırlar. İkinci grup daha az popüler olup sınırlanmamış yarım uzayları (non r-kümeler) esas alırlar. Sınırlanmış katı primitifler aslında yarım uzayların ve bu primitiflerin sınırlarının karışımı olarak düşünülebilir.



Şekil 3.4 Sınırlanmış ve sınırlanmamış primitifler

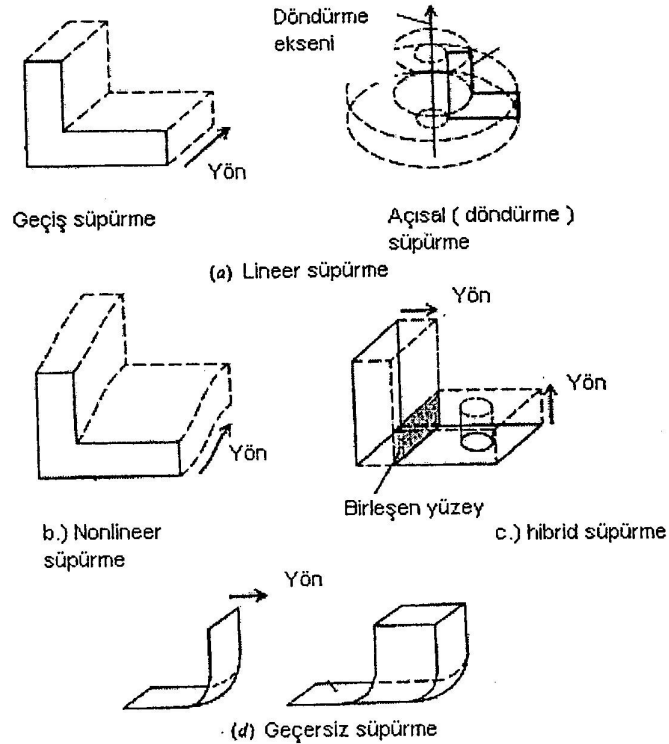


Şekil 3.5 Tipik bir katı ve bu yapıyı oluşturan primitifler

### 3.3 Süpürme ( Sweep) Gösterimi

Süpürme gösterimi şemaları iki buçuk boyutlu katı nesnelerin yaratılmasında çok kullanışlıdır. İki buçuk boyutlu nesneler sınıfı, verilen doğrultuda unifom kalınlık ve asimetrik katıları ihtiva eder. Ekstürize katılar olarak bilinirler, doğrusal ve süpürme işlemleri ile yaratılırlar. Dönel katılar, dönel süpürme ile yaratılır. B-rep ve CSG temelli modelleyicilerle kullanılırlar. Bunun sebebi süpürme teorisindeki eksiklikler ve modelleme alanının sınırlı olmasıdır. Süpürme gösterimi için genel geçerlilik ve düzgünlük şartları bilinmediğinden bunlar kullanıcıya bırakılmıştır. Süpürme, verilen bir yol (patika, doğru) boyunca bir noktanın, eğrinin veya bir yüzeyin hareket ettirilmesi temeline dayanır. Üç çeşit süpürme yöntemi vardır. Bunlar lineer, nonlinear ve karma süpürmedir. Lineer süpürmede kullanılan yol(patika,doğru) lineer veya çembersel olup parametrik denklemlerle verilir. Nonlinear süpürmede ise daha yüksek dereceden bir polinom (kuadratik, kübik, veya daha yüksek dereceden) ile tanımlanır. Karma süpürme ise lineer ve/veya nonlinear süpürmenin (küme işlemleri yardımıyla) karışımından oluşur

Lineer süpürme öteleme ve dönel süpürme olarak ikiye ayrılabilir. Öteleme süpürmede, sınırlarla tanımlanmış düzlemsel ve iki boyutlu nokta kümesi uzayda bir mesafe boyunca dik olarak hareket ettirilir. Nokta kümesi sınırı kapatılmış olmalıdır. Aksi takdirde geçersiz katılar (açık küme) elde edilir. Dönel süpürmede, düzlemsel iki boyutlu nokta kümesi bir eksen etrafında (simetri eksenini) verilen açıda döndürülmesi ile oluşur. Nonlinear süpürmede ise vektör yerine bir eğri kullanılır. Karma süpürmede küme işlemlerinden faydalanılır. Şekilde görülen nesne karma süpürme ile oluşturulan iki farklı katının birbirine yapıştırılması ile elde edilmiştir. Geçersiz katılar veya düzensiz kümeler, süpürme doğrultusunun uygun seçilmemesinden kaynaklanabilir.



Şekil 3.6 Süpürme çeşitleri

### **3.4 Analitik Katı Modelleme (ASM)**

AKM sonlu eleman modellemeye çok yakındır. AKM, sonlu eleman analizi (FEA) için sekizden yirmiye kadar noktalara sahip hexahedral elemanların üç boyutlu parametrik isoparametrik formülasyonun matematiksel temelini izler. AKM üretim maksadından çok gösterim şeması için kullanılmaktadır. B-rep veya CSG'nin sahip olduğu oryante yüzeyleri içermezler.

Sonlu elemanlar problemlerini çözmek için geliştirilen AKM kütle özelliklerinin hesaplanması ve ağ yapısı üretme gibi alanlarında kullanılmaktadır.

## 4. SONLU ELEMENLAR METODU

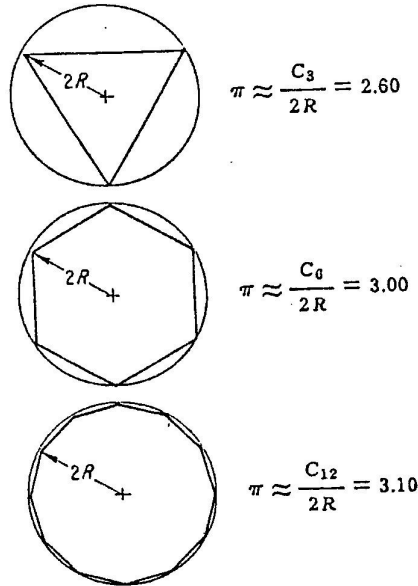
### 4.1 Giriş

Mühendisler fiziğin yasaları, malzeme ve doğal enerji kaynaklarını kullanarak insanlık yararına mamul ve hizmet üretmektedirler. Bu mamul ve hizmetler günlük yaşamın vazgeçilmez parçalarıdır. Güç iletimi, iletişim, veri değerlendirme, nakliye ve imalat mühendisliğin sağladığı mamul ve hizmetlerdir.

Mühendisler bir problemi (fiziksel sistem) ele aldıklarında matematiksel modelleme ile işe başlarlar. Problemdeki fiziksel büyüklükler arasındaki bağ matematiksel ifadelerle dönüştürülür. Genelde bu matematiksel ifadeler cebrik, diferansiyel veya integral formdadır. Bu model basit ise analitik çözüm elde edilir. Pratikte karşılaşılan problemlerin matematik modelleri her zaman analitik yöntemlerle kolayca çözümlenecek tarzda olmaz. Bunun nedeni problemin geometrisinin ve tatbik edilen sınır şartlarının basit olmamasıdır. Bu durumda problemi karakterize eden denklemlere tatminkar netice verebilecek sayısal metodlar ile yaklaşılır. Bu şekilde problemi karakterize eden diferansiyel formdaki denklemler lineer denklemlere dönüştürülür. Bunların çözümü de sayısal bilgisayarlarla hızlı bir şekilde yapılır.

### 4.2 Sayısal Metodlar

Sayısal metodların özelliği problemi özellikleri bilinen sonlu sayıda küçük bölgelere ayırmaktır. Bu bölgelerin her birinde incelenen büyüklük arasında bağı ifade eden denklemler tesis edilir. Problemi bu küçük bölgelere ayırmak ve bu parçaları birbirine bağlayacak ifadeleri tesis ederek, çözüm bölgesindeki gerilme ve yer değiştirme (gerilme analizi probleminde) gibi değişkenlerin değerinin tatminkar derecede hesaplanması mümkündür. Bu bölgeler ne kadar küçük olursa sayısal çözüm o derece gerçek çözüme yaklaşır. Şekilde eleman sayısının artmasının çözüme etkisi gösterilmiştir.



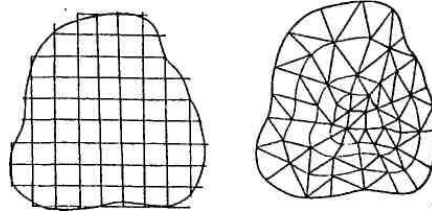
Şekil 4.1 Eleman sayısının artmasının çözümün hassasiyetine etkisi

Sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır eleman metotları bilinen sayısal metotlardır. Kompüter teknolojisinde gerek yazılım ve gerekse donanım bakımından gelişmelerle bu metotlar etkin olarak kullanılmaktadır. Yazılımcı firmalar bu metotları esas alan paket programlar geliştirmişlerdir. Bu programlar mühendisliğin farklı disiplinlerindeki analizler için kullanılabilir. ANSYS, MARC, NASTRAN ve ABAQUS modelleme, analiz ve sonuçların grafik değerlendirilmesi bakımından tercih edilen programlardır.

Sonlu farklar metodunda, diferansiyel denklemlere sayısal yaklaşım fark denklemleri ile sağlanır. Bu prosedürde, koordinat eksenlerine paralel eşit (üniform) arttırmalar ile düğüm noktaları oluşturulur. Her bir artım için fark denklemleri düzenlenir. Düğüm noktaları birbirlerine eşit mesafede yerleştirilir. Eleman yoktur ve düğüm noktaları topluluğu arasındaki boşluklara herhangi bir özellik atanmaz. Bu özellikler diferansiyel denklemin içinde tanımlanmıştır. Noktaların koordinat eksenlerine paralel olması ve sadece eşit aralıklarla artırımların yapılması karmaşık geometrili problemlerin modellenmesinde sorun çıkarmaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda da problem geometrisi küçük bölgelere ayrılmaktadır. Fakat bu bölgelerin köşe noktalarının (düğüm noktaları) koordinat eksenlerine paralel olma zorunluluğu yoktur. Eleman şekilleri (problemin 1,2 veya 3 boyutlu olmasına göre) doğrular, üçgenler, dikdörtgenler, küp v.b şekillerde olabilir. Karmaşık geometrili problemler kolaylıkla modellenmektedir. Problem geometrisinde incelenen büyüklüklerin hızlı değiştiği bölgelerde (çentikler, dış dibindeki gerilmeler v.d) eleman yoğunluğu kolaylıkla arttırılabilir. Bu şekilde gerçek fiziksel sisteme tatminkar yaklaşım sağlanır.

Şekilde problem geometrisinin sonlu farklar metodu ve sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi görülmektedir. Karmaşık geometri sonlu elemanlar metodu ile tatminkar şekilde modellenmiştir. Sonlu elemanlar metodunda çözüm bölgesinde farklı geometrik şekilli elemanlar olabilir.



Şekil 4.2 Problem geometrisinin sonlu farklar ve sonlu elemanlar metodu ile gösterimi

Sınır eleman (Sınır eleman integrasyonu) metodunda problemin diferansiyel denklemleri sınırlarda integral ifadelerle dönüştürülür. Bu ifadeler küçük parçalara ayrılmış sınır boyunca sayısal olarak integre edilir. Neticede diğer metotlarda da olduğu gibi lineer denklem seti elde edilir.

#### 4.3 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu mühendislik problemlerine yaklaşık çözüm elde etmek için kullanılan bir sayısal analiz tekniğidir. Metot 50'li yıllarda Uçak-Uzay endüstrisinde karmaşık yapıların gerilme analizi için geliştirilmiştir. Metodun esâsarı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda kullanım sahası genişlemiştir. Günümüzde biyomekanikten nükleer teknolojiye farklı disiplinlerdeki problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler metodun yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Geliştirilen paket programlarla ile veri hazırlanması, çözümleme ve sonuçların değerlendirilmesi kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.

#### **4.4 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları**

##### **4.4.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları**

1- Sonlu elemanlar yöntemi birçok ürünü kısa sürede bilgisayar ortamında modelleme, test etme ve optimum boyutlarda en ucuz üretim imkanı sağlar. Özellikle laboratuvar çalışmalarında üretilecek parça veya makinelerin prototipinde yapılan ve oldukça pahalıya mal olan birçok deney, doğrudan bilgisayar ekranından görülebilmekte ve böylece istenen değişiklikler için tekrar tekrar model yapma gereksinimi ortadan kalkmaktadır. Bu ise zaman ve para açısından yüksek verimliliğe ulaşmayı sağlamaktadır.

2-Biyomedikal uygulamalarda, örneğin yapay uzuvlar veya göz lensleri gibi prototip testinin imkansız olduğu veya istenmediği durumlarda sonlu elemanlar yöntemi ile analiz zorunlu olmaktadır.

3-Klasik yöntemlerle hesaplamaların yapılamadığı çok parçalı ve karmaşık geometrili sistemlere ait problemler sonlu elemanlar yöntemi ile kolaylıkla çözülebilir.

4-Sonlu elemanlar yöntemi, geometrisi ve malzemesi lineer veya nonlineer olarak değişen sistemlere uygulanabilir.

5-Sonlu elemanlar yöntemi, farklı malzemelerin birleşiminden meydana gelen yapıların analizinde kullanılabildiği için kompozit malzemelere başarı ile uygulanabilmektedir!

6-Zamanla, sıcaklıkla ve noktadan noktaya değişen malzeme özellikleri hesaplamalarda dikkate alınabilir. Zamana bağlı olarak değişen yük ve geometriye sahip sistemlere ait problemler kolaylıkla çözülebilir.

7-Sonlu elemanlar yönteminde önemli değişikliklerin beklendiği bölgelerde küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri daha büyük elemanlara bölünerek işlem hızı artırılabilir. Simetrik modellerde simetri koşullarından yararlanılarak, yapılan işlemlerde zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir.

8-Sonlu elemanlar yönteminin avantajlarından biri de farklı problemlerin çözümünde izlenecek adımların büyük bir kısmının aynı olmasıdır. Bu gerçekten hareketle çok farklı mühendislik problemlerinin çözümüne imkan sağlayan genel amaçlı ve özel amaçlı bir çok bilgisayar programı geliştirilmiştir.

##### **4.4.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları**

1-Eleman seçiminin ve giriş bilgilerinin doğru olarak belirlenmesi ve hatasız olarak programa girilmesi sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Ayrıca analiz sonuçlarının da doğru olarak yorumlanabilmesi gerekir. Bu nedenlerden dolayı sonlu elemanlar yöntemi ile analiz belirli bir deneyim ve bilgi birikimini gerekli kılmaktadır.

2-Sonlu elemanlar metodunda hesaplamalar, çok küçük bir problem için dahi çok fazladır. Bu nedenle yöntem el ile çözüm için uygun değildir.

3-Büyük ve karmaşık sistemlerin analizi için genellikle büyük bilgisayar belleğine ve çözüm zamanına ihtiyaç vardır. Geçmişte bilgisayar kapasitelerinin düşük, fiyatlarının ise yüksek . olması gibi sorunlar sonlu elemanlar: yönteminin kullanım alanını" sınırlayan en büyük etkenler iken günümüzde bu sorunlar hızla ortadan kalkmaktadır.

4-Analiz sonuçlarının yüzde yüz doğru olduğu zannedilmemelidir. En iyi şartlarda elde edilen sonuçlarda dahi belirli bir hata payının bulunduğu daima göz önünde tutulmalıdır. Sonlu elemanlarla yapılan analizler gerçek değerine yakın sonuçlar verse de kimi zaman hatalar meydana gelebilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin hata kaynaklarını şöyle sıralayabiliriz:

#### 1 -Prensip hataları

a-Sonlu eleman tipinin yanlış seçilmesinden kaynaklanan hatalar:

Modelin geometrisine uygun, düzgün ve simetrik elemanlar kullanılmaması nedeniyle ortaya çıkar.

b-Sonlu eleman büyüklüğünün yanlış seçilmesinden kaynaklanan hatalar:

Ağ örmede kullanılan elemanın en-boy oranı haricinde eleman boyutunun kullanıcı tarafından yanlış seçilmesi ile olur. Prensip olarak, modele ait bazı bölgelerde büyük gerilme yığılmaları söz konusuysa bu bölgelerde sonlu elemanların boyutları küçültülmelidir. Bu hususta modelde oluşacak sapmalar sonuçları da küçümsenmeyecek derecede etkiler.

Teoride sistemi küçük elemanlara bölmek daha doğru sonuçlar verir, buna karşın çözüm süresi uzar. Pratikte ise eleman boyutlarının küçülmesine devam edildiğinde modelin gittikçe daha çok elemanlara, ayrılması ile sonuçların gerçek değere yaklaşması belirli bir noktaya kadar artmakta ve optimum eleman sayısına ulaşıldıktan sonra sonuçlar gerçek değerden uzaklaşmaktadır. Böyle bir etkinin ortaya çıkmasının sebebi bilgisayar programlarının hesaplamalarda yaptığı yuvarlatma vb. hatalardır.

#### 2-Giriş bilgilerindeki hatalar

Sisteme etki eden fiziksel büyüklüğün malzeme özellikleri üzerindeki etkisinin ihmal edilmesi, yayılı yüklerin noktasal yük olarak sisteme girilmesi, bağlantı noktalarındaki esnekliğin ihmal edilmesi gibi hatalardır.

#### 3-Malzemeye özgü hatalar

Analiz edilecek sistemin malzeme özelliklerinden kaynaklanan hatalar analiz sonuçlarının gerçek sonuçlardan farklı çıkmasına sebep olabilir. Gerçek malzeme davranışları her zaman Hooke kanununa uymaz. Bu sebeple gerilme-uzama ifadelerine bağlı olarak sonuçlarda hatalar oluşabilir.

Malzemenin kimyasal bileşimindeki sapmalardan dolayı elastiklik modülünün değişmesi, soğuk şekil verme hataları, haddeleme ve çekmeden doğan malzeme bozukluğu, karbon miktarındaki toleranslara uyulmaması ve ısı işlem hataları sonucu uzama sınırının değişmesi vb. hatalar analiz sonuçlarının deneysel sonuçlardan farklı çıkmasına sebep olabilir.

#### 4-Geometrik hatalar

Analiz edilecek sistemin gerçek boyutlarının model boyutlarından yapacağı sapmalar sonuçları azda olsa etkileyebilir. Gerçek yapı ile konstrüksiyon resimleri arasında oluşacak küçük farklar, imalat toleranslarından doğan gövde ve sac aksamına ait kalınlık farkları, sac aksamı parçalarda' presleme sonucu kıvrım yerlerindeki incelmeler, hafif bükük yüzeylerin modelde düz elemanlarla gösterilmesi vb. hatalardır.

Sonlu elemanlarla hesap için harcanan zaman,daha fazla,, hata oram ise daha azdır. Sonlu farklarda ise hesap için harcanan zaman daha az, fakat hata oranı daha fazladır. Gerçek değerlere, sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlar üstten yaklaşmakta, buna karşılık sonlu farklar ile bulunan sonuçlar alttan yaklaşmaktadır.

#### 4.5 Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanım Alanları

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde teknolojinin hemen her alanında dizayn amaçlı olarak kullanılmaktadır. Donanım ve yazılımdaki gelişmelere paralel olarak gelişimini sürdüren sonlu elemanlar yöntemi , fizikte, mühendislikte ve tıpta her geçen gün yeni bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu nedenle uygulama alanını kesin çizgilerle sınırlandırmak mümkün değildir. Sonlu elemanlar yönteminin bazı uygulama alanları:

- Çeşitli alet ve makinelerin gerileme ve deformasyon analizi
- Makine elemanlarının yorulma.ve kırılma analizi .....
- Pres ve çeşitli tezgah gövdelerinin rijitlik hesabı
- Basıncılı kaplarda gerilme analizleri
- Motor parçalarındaki termik-dinamik bileşik gerilmelerin hesabı
- Kesici takımlardaki sıcaklık ve gerilme analizleri
- Döküm ve kaynakta soğuma analizleri
- Boru ve kanallardan akış hareketleri ile ilgili hesaplar
- Robotların titreşim analizi
- Otomobil ve uçakların aerodinamik analizi ve dizaynı
- Taşıtların çarpışma, analizi
- Nükleer tesislerde reaktörlerin ısı analizi
- Karma malzemelerin mekanik davranışlarının analizi
- Baraj, tünel ve köprülerin statik analizi
- Binaların deprem analizi
- Çeşitli yapıların akustik hesabı
- Elektrik motorları ve. transformatörlerin hesabı
- Eklem ve kemiklerdeki gerilmeler ve protezlerin dizaynı ... gibi.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılabilecek analizler,

- Statik gerilme deformasyon analizleri
- Kinematik ve dinamik analizler
- Titreşim analizleri
- Isı yayılım analizleri
- Akışkan hareketlerinin analizi
- Aerodinamik analizler
- Akustik analizler
- Elektro-statik analizler
- Elektro-manyetik analizler vb.

Bu analizlerin bir veya birkaçı bir arada yapılabildiği gibi analizler zamandan bağımsız veya zamana bağımlı olarak da yapılabilmektedir. Buna bağlı olarak bilgisayarda işlemlerin yapılma süresi uzamaktadır. Daha önce irdelenmemesine karşın gelişen teknoloji ile birlikte-bilgisayarlar gün geçtikçe daha hızlı ve kapasiteleri yüksek değerlerde çalışmaları ile sonlu elemanlar analizinin yapılma süresini ve analizin daha detaylı yapılabilmesine imkan sağlamaktadır.

## 5. HİDROLİK ELEMANLAR

### 5.1 Hidrolik Silindirler

Pompanın devreye verdiği basınç enerjisi silindir ve hidromotorlar tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür. Silindire doğrusal motor adı da verilir. Pistona uygulanan basınçla oluşan kuvvet piston kolu tarafından itme ya da çekme kuvveti halinde kullanılabilir. Hidrolik silindirler üç ana gruba ayrılır.

- 1 Tek etkili silindirler
- 2 Özel silindirler
- 3 Çift etkili silindirler.

#### 5.1.1 Tek Etkili Silindirler

Bu tür silindirlerde pompanın bastığı yağ bir yönde hareket ve kuvvet sağlar. Geri dönüş, silindir önündeki yük, milin kendi ağırlığı veya bir yay tarafından gerçekleştirilir. Geriye dönüş için silindirdeki yağ depoya bağlamak kafidir. Geriye dönüşte yağ basılmadığı için bu tür silindirler pistonsuz da olabilir. Bu durumda kuvveti sağlayan gerçek alan mil alanıdır. Milin dışarı fırlamaması için bir güvenlik parçası eklenir, fakat bunun her iki tarafında yağ basıncı olduğu için dengelenmiştir, gerçek alan etkilemez. Mil kaim olacağı için burkulma sorunu da ortadan kalkar. Pistonsuz silindirin en önemli özelliği borunun işlenip, honlanmasına gerek bırakmamasıdır. Bu da üretimi kolaylaştıran, ucuzlatan bir noktadır. Milin iyi işlenmesi ve yataklama boyunun uygun uzunlukta olması yeterlidir.

#### 5.1.2 Teleskopik Silindirler

Küçük boyutlu silindir kullanıp uzun strok elde etmek istenildiğinde teleskopik silindir kullanılır. İççe geçirilmiş pistonlardan oluşan bir silindir türüdür. Her kademe çıkışında mil çapı, dolayısıyla gerçek alan küçülür. Eğer devrede sabit verdili pompa kullanılıyorsa silindirin hızı artacak, fakat uygulayabileceği kuvvet azalacaktır. Eğer yük değişmiyorsa en küçük mil alan bu kuvvete göre hesaplanmalıdır. Tek veya çift etkili olabilirler.

#### 5.1.3 Çift Etkili Silindirler

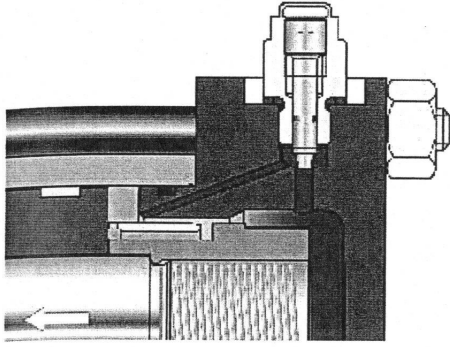
Yağ gönderilmesi ile her iki yöne de hareket edebilen ve kuvvet uygulayabilen, en çok kullanılan silindir türüdür. Tek veya çift piston kollu olabilirler. Çift kollu silindirin kol çapları farklı yapıldığında, aynı basınç değerinde iki yönde farklı kuvvet yaratır.

Çalışması ve Yapısı:

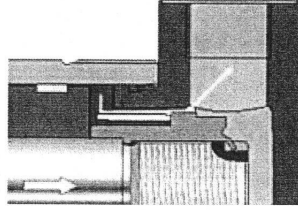
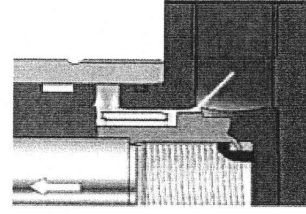
Silindirin bir bölümüne yağ verildiğinde, diğer bölüm depoya bağlanır ve bu şekilde bir hareket elde edilir. Silindirin çalışabileceği en üst hız değeri üretici firma tarafından verilir. Silindirin önerilen değerden daha hızlı çalışması halinde yükün kinetik enerjisinden dolayı strok sonunda darbe oluşur. Bunu önlemek amacıyla silindirlerde "yastıklama" düzeneği geliştirilmiştir.

#### 5.1.4 Yastıklama

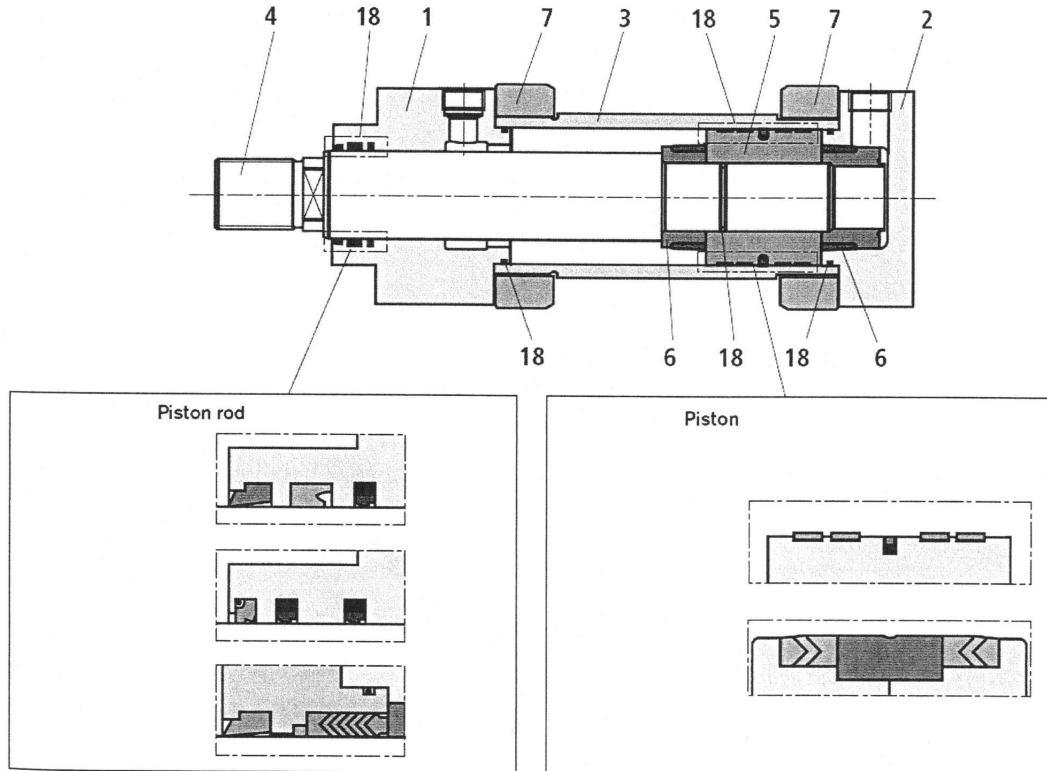
Pistonu hareket ettiren hidrolik akışkan gidecek yer bulamadığında (silindir strokunun sonunda) akışkanın eylemsizliği hidrolik şok adı verilen bir darbe oluşturacaktır. Eğer bu darbenin şiddeti büyük olursa, bundan silindir ve bağlı bulunduğu sistem zarar görecektir. Bu enerjinin gerek silindiri, gerekse de yapılan işi bozmaması için silindire yastıklama düzeneği ilave edilir. Yastıklama düzeneği silindir pistonunu strokun sonuna varmadan yavaşlatır. Yastıklama silindirin ileri ve geri hareketinin her ikisine de uygulanabilir. Yastıklama düzeneği bir iğne valf ve yastıklama burcundan oluşur. Genellikle 20mm/s'nin üzerindeki hızlarda yastıklama önerilir.



Şekil 5.1 Dışarıdan ayarlanabilen yastıklama



Şekil 5.2 Kendinden ayarlı yastıklama



- 1 Ön kapak
- 2 Arka kapak
- 3 Boru
- 4 Piston kolu

- 5 Piston
- 6 Yastıklama burcu
- 7 Flanş
- 18 Sızdırmazlık elemanları tipleri

Şekil 5.3 Çift etkili, yastıklamalı hidrolik silindirin ana elemanları

### 5.1.5 Silindir Borusunun Seçimi

Hidrolik silindir boruları genellikle dikişsiz çelik çekme veya dikişli boru olduğu gibi derin delme tezgahlarında dolu malzemedan de yapılabilir veya dökümle elde edilir. Ençok kullanılan borular St35 veya St52 niteliğinde çelik çekme borulardır. Boru iç yüzeyi, honlama veya ezme işlemlerinden geçirilerek gerekli yüzey temizliği sağlanır. Bir boruda dikkat edilmesi gereken üç büyüklük vardır; yüzey pürüzlüğü, yüzey dalgalığı ve şekil kaçıklığı. Yüzey pürüzlüğü için (Ra) değerleri; 0,2-0,4-0,8-1,6-3,2 um olarak CETOP tarafından beş sınıfa ayrılmıştır. Ovallik için 82-4 um ve yüzey dalgalığı için de (0,2-0,5 mm/1m) değerleri kabul edilebilir değerlerdir. Boru ile piston arasında IT7 ve IT8 toleransları kullanılır.

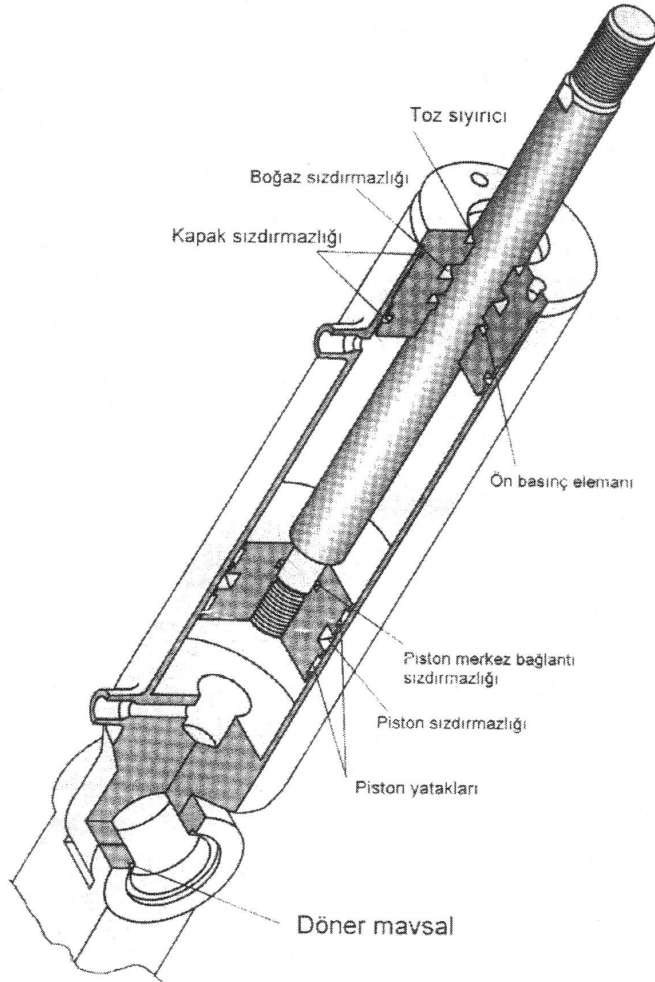
### 5.1.6 Piston Kolu

Kesit şekli dairesel olmakla birlikte, dönmesini önlemek için değişik kesitlerde olabilir. Piston kolu malzemesi genellikle CK45 olarak seçilir, taşlanır ve sert kromla kaplanır. Kaplandıktan sonra yüzey pürüzlülüğü [Ra] <0,4 um değerinde olmalıdır. Krom kaplama kalınlığı noktada 8yançapta) 25-35 um olmalı, sertliği 5863 HRc , çap toleransı f7 olmalıdır.

### 5.1.7 Hidrolik Silindirlerde Sızdırmazlık ve Yataklama

Hidrolik silindirlerde sızdırmazlık 3 ana bölgede gereklidir.

Piston, Mil (boğaz) ve Kapak sızdırmazlığı. Piston ve mil bölgesindeki sızdırmazlık dinamik, kapak sızdırmazlığı statiktir.



Şekil 5.4 Hidrolik silindir kesiti

#### Doğru sızdırmazlık elemanı seçerken;

- İlk aşamada sistemde kabul edilebilir sızıntı miktarı bulunmalı.
- Sızdırmazlık elemanının uygulama şartları ve yuva toleranslarına uyum sağlayacak elastikiyete sahip olmasına dikkat edilmeli.
- Çalıştığı ortamın kimyasal yapışma ve ortam sıcaklığına uygun olmalı.
- Bulunduğu ortamın etkisi ile büzülmemeli, tercihen belirtilen sınırlar dahilinde hacmi büyümemeli.
- İyi bir kayma özelliğine ve düşük sürtünme katsayısına sahip olmalı.
- Aşınmaya karşı dayanıklı olmalı. Dış ortamdan sisteme yabancı maddelerin girişini önlemeli.
- Yuvasa yerleştirilmesi kolay olmalı
- Yuva ve sürtünme yüzey şartları ile uyumlu olmalı.

## 5.2 Mobil Hidrolik Pompalar

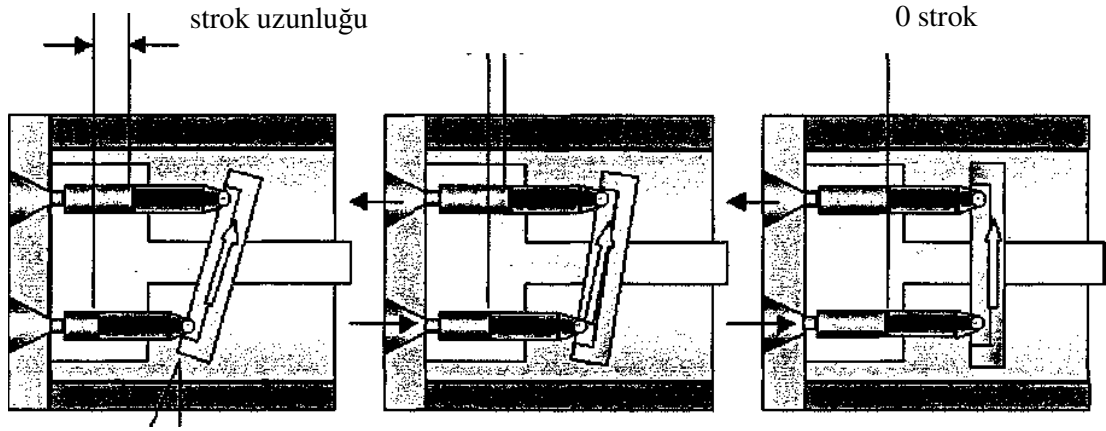
Hidrolik pompalar, kendilerini tahrik eden motor tarafından iletilen enerjiyi hidrolik çalışma enerjisine dönüştürürler.

Pompalama hareketi tüm pompalar için aynıdır. Tüm pompalar emiş ağzında artan bir hacim basma ağzından azalan bir hacim meydana getirirler. Pompalama hareketi yapan elemanlar bunun ile birlikte tüm pompalarda aynıdır.

Endüstriyel hidrolikte kullanılan pompaların diğer tüm pompalardan en önemli ayrıcalığı pozitif iletimli olmalarıdır, yani bu tip pompalarda emilen yağ basılmak zorundadır, böylece basılan yağın önünde direnç söz konusu olacağından basınç oluşacaktır.

Mobil hidrolikte genellikle eksenel pistonlu pompalar ve bazı uygulamalarda da (örneğin vinç tahrikinde) dıştan dişli pompalar tercih edilir. Eksenel pistonlu pompalar eğik eksen ya da eğik plaka prensibine göre olabilir. Dişli pompalar, eksenel pistonlu pompalara göre daha iyi kaplanan hacim/kapasite performansı göstereler de, gerek azami kapasiteleri, gerekse de çalışma koşullarından etkilenmeleri (titreşim, sarsıntı, darbe) sebebiyle, mobil uygulamalarda ikinci olarak tercih edilirler. Ayrıca, eksenel pistonlu pompalarda deplasman değiştirme mekanizmasının kullanılabilmesi, hatta bu mekanizmanın yüke duyarlı olması, hidrolik gücün kontrolünde çok önemlidir. Dişli pompalar gibi sabit deplasmanlı pompalarda, debi/basınç değiştirme işlemi, ancak pompaların paralel/seri bağlanmaları ile gerçekleştirilebilir.

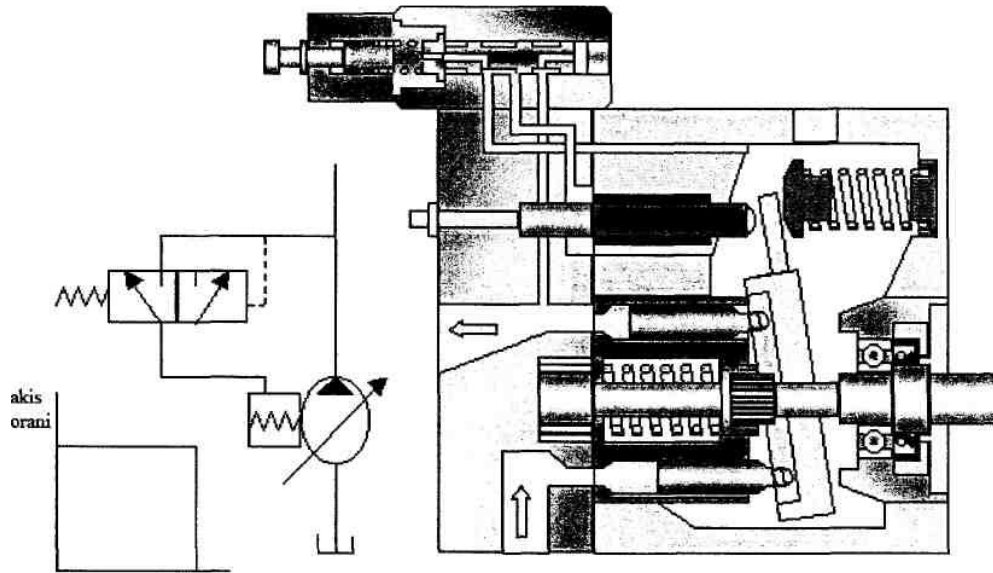
Değişken deplasmanlı pompaların mobil hidrolikte kullanılmasının bir diğer avantajı, sistem yükünün sürekli olarak değişmesi, dolayısıyla bazı anlarda yüksek akış hızı, düşük basınç (sistem yük altında çalışmazken, azami hızda konum değiştirebilmesi, teleskopik bom elemanlarının hızlı bir şekilde açılması) bazı anlarda ise düşük akış miktarına karşılık yüksek basınç (sistem yüke bindiğinde, özellikle ağır yüklerde, dinamik kuvvetin de sisteme zarar vermesini önlemek için yavaş hareket gerektiren durumlarda) sağlayabilmesidir. Bu gibi durumlarda, deplasman değiştirme mekanizmasının, sistemin kendisini dinleyerek cevap veren bir mekanizma olması en uygunudur. Yüke duyarlı ( Load sensing) pompalarda kullanılan pilot uyan sistemi en uygun çözümdür.



Şekil 5.5 Deplasman değiştirme mekanizması

Yukarıda, deplasman değiştirme mekanizmasının nasıl çalıştığı, basitçe gösterilmiştir. Eğim plakası mekanik, ya da hidrolik olarak hareket ettirilerek deplasman değiştirilir. Deplasman değiştirme mekanizması, sistemden çekilen bir pilot hatı vasıtasıyla, geri besleme mekanizması kullanılarak yapılır. Bu sayede basınç, daha evvelden pompa üzerinde mekanik olarak ayarlanmış değerde tutulur. Bu en basit geri beslemeli, yük algılayan deplasman değiştirme mekanizmasıdır. Değişken deplasmanlı pompalarda, valf ve kontrol elemanları, sabit bir modül halinde pompa üzerine yerleştirilmiştir. Bunun basit bir örneği aşağıda görülmektedir.

#### DEĞİŞKEN DEPLASMANLI POMPADA BASINÇ DENGELEME



Şekil 5.6 Değişken deplasmanlı pompada basınç dengeleme

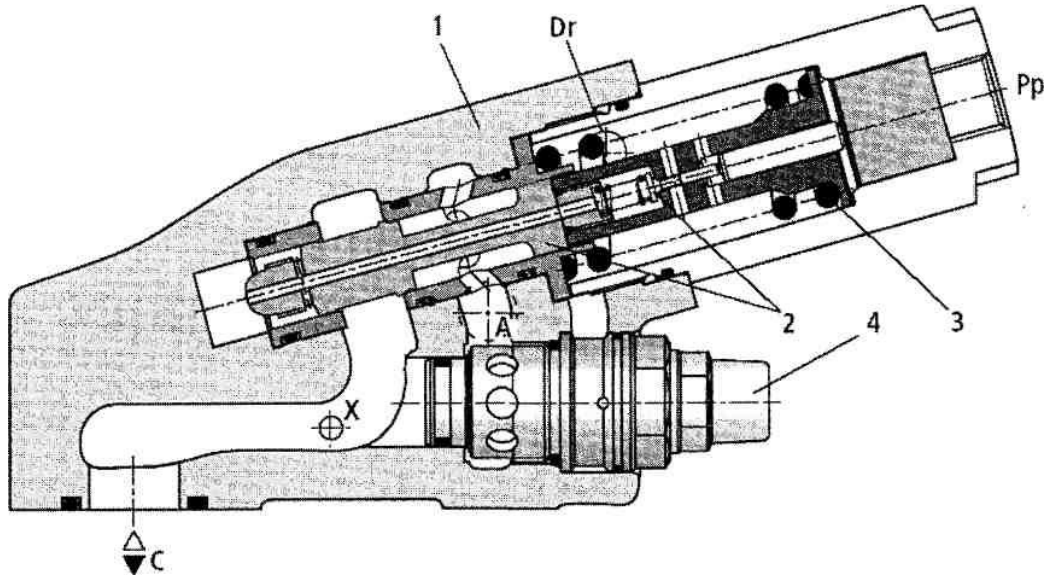
### 5.3 Valfler

Valfler, yön denetim valfleri, akış denetim valfleri ve basınç denetim valileri olarak 3 gruba ayrılırlar.

#### 5.3.1 Basınç Denetim Valfleri

Basınç denetim valfleri, özellikle bizim sistemimizde olduğu gibi yük altında çalışan sistemlerde güvenliğin sağlanması için kaçınılmazdır. Bu tür valfler, emniyetin daha da artırılması amacı ile, ilgili elemana (bizim sistemimizde hidrolik silindir) direkt olarak vidalı bağlantı ile, hortum gibi bir ara eleman kullanılmadan bağlanır.

Basınç denetim valfleri, aynı zamanda, kısma valileriyle de birleştirilerek, silindir üzerinde komple bir modül olarak takılabilir.

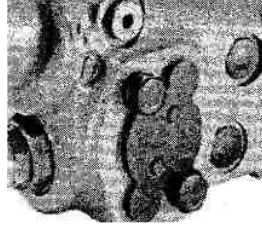


Şekil 5.7 Basınç emniyet valfi kesiti

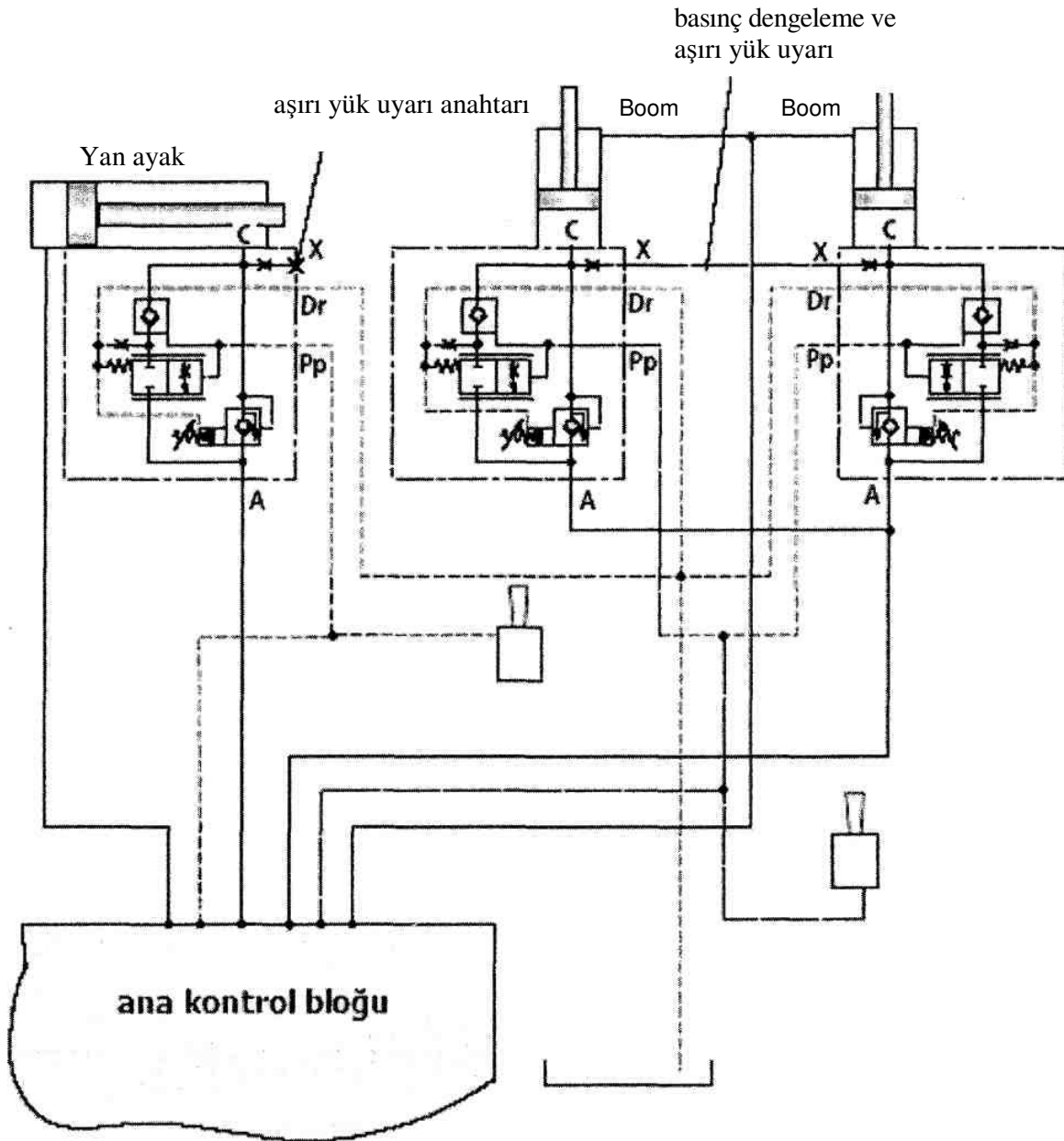
Burada, akış A'dan C'ye doğru olduğunda, akışkan basınç emniyet valfi üzerinden akar. Akış C'den A'ya doğru olduğunda ise, 2 numaralı geçiş, pilot hattı ile açılır. Pilot hattındaki basıncın artmasıyla, ana sürgü, belli miktarda 3 numaralı kontrol yayına doğru itilir ve dolayısıyla geçiş hattı aynı oranda açılır.

Test noktası X, sistemin test edilmesi için ya da aşırı basınç anahtarına bağlamak için kullanılabilir. Aynı zamanda, sistemler paralel bağlanacağı zaman, basınçların dengelenmesi gene bu hat üzerinden yapılır.

DIN/ISO 8643'e göre, ekskavatörler ve yük kaldırma işlemi yapan diğer hidrolik makinelerin, bu tip emniyet valfiyle donatılmış olmalarının gerekmektedir. Bu tip valflerde, önceden ayarlanan basınç değerinin üzeri, kullanım esnasında, makinenin kapasitesinin artırılmasını, dolayısıyla emniyetin düşürülmesini önlemek amacıyla resimde görüldüğü gibi mühürlenir. Bazı tiplerde, basınç ayarının yapıldığı kısım kilitlidir.



Şekil 5.8 Mühürlü emniyet ayar vidası



Şekil 5.9 Basınç emniyet valfleriyle oluşturulmuş örnek devre

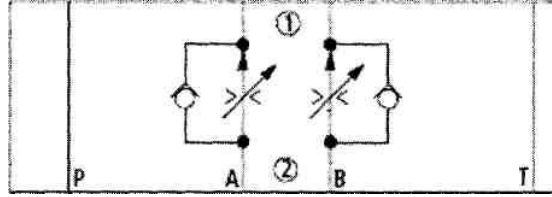
Söz konusu basınç emniyet valflerinin, mobil hidrolik krende kullanılış şekli yukarıda basitçe gösterilmiştir. Daha evvelde de bahsettiğimiz gibi, X kontrol hattı, paralel bağlı silindirlere, basıncın eşitlenmesi için kullanılmıştır.

### 5.3.2 Hidrolik Hareketlendiriciye Giden Yağın Denetlenmesi (Check Q-Meter):

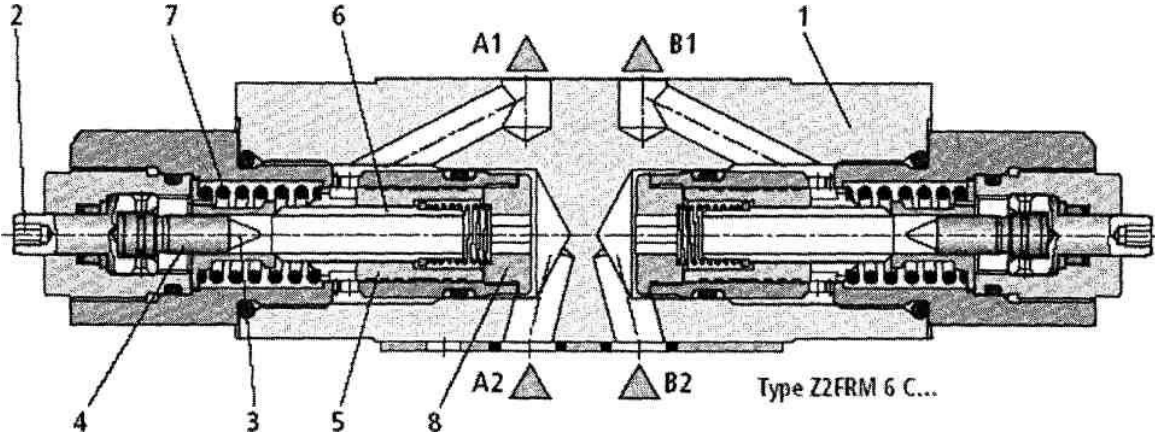
Bu tip valfler, sistemdeki hidromotor ya da silindirlerin hızlarının yükten etkilenmeden istenilen hızda hareket edebilmesi için kullanılırlar. Aynı zamanda hortum patlamalarına karşı da kendi içlerinde bir güvenlik oluştururlar.

### 5.3.3 Akış Denetim Valileri:

Yük altında çalışan sistemlerde akış hızının basınç ve sıcaklıktan etkilenmemesini sağlar.



Akış, 3 numaralı boğaz üzerinden, A2/B2 portundan, A1/B1 portuna doğru olmaktadır. Akış kesiti, 3 numaralı cidar ve 4 numaralı sürgünün, 2 numaralı ayar elemanı tarafından ayarlanmasıyla sağlanır. A1/B1 portundaki akışın basınçtan bağımsız olarak ayarlanması için, 5 numaralı basınç dengeleyici kullanılmıştır. 5 numaralı basınç dengeleyicisi, 7 numaralı yay vasıtası ile, 8 numaralı sokete itilmektedir. Böylelikle sistem, yağ akışı yokken açık kalmaktadır. Valfte bir akış olduğunda, karşı basınç, A2/B2 portundan 5 numaralı basınç dengeleyicisini tahrik etmektedir. Bu durumda, 5 numaralı dengeleyici sürgü de basınç dengelenene kadar, hareket etmekte ve denge sağlanmaktadır.

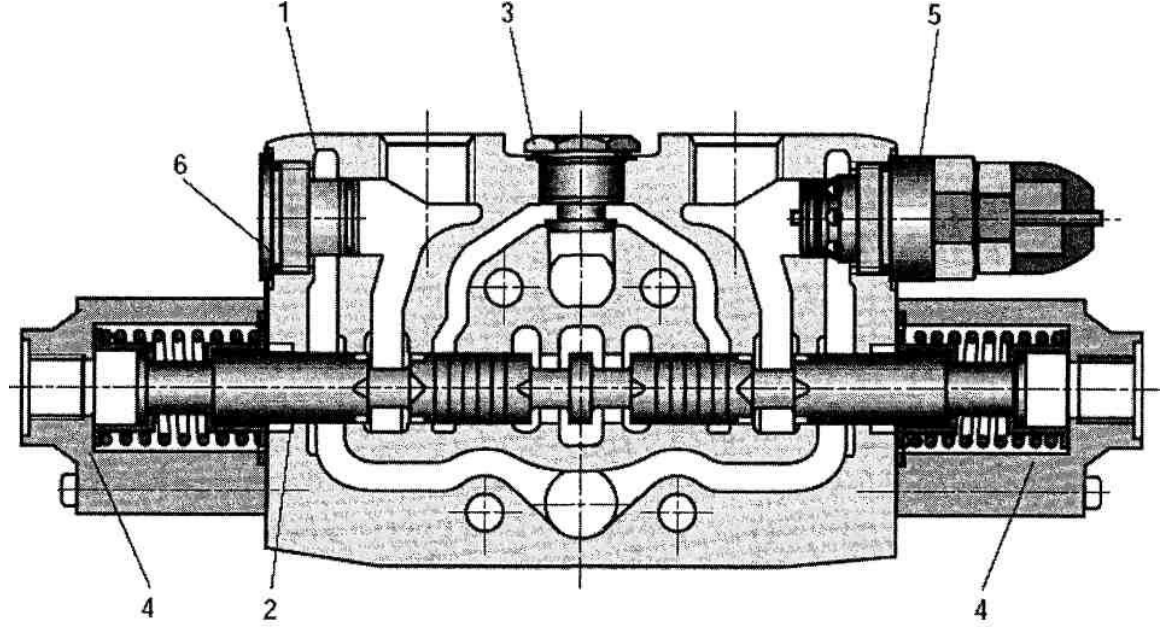


Şekil 5.10 Akış kontrol valfi kesiti

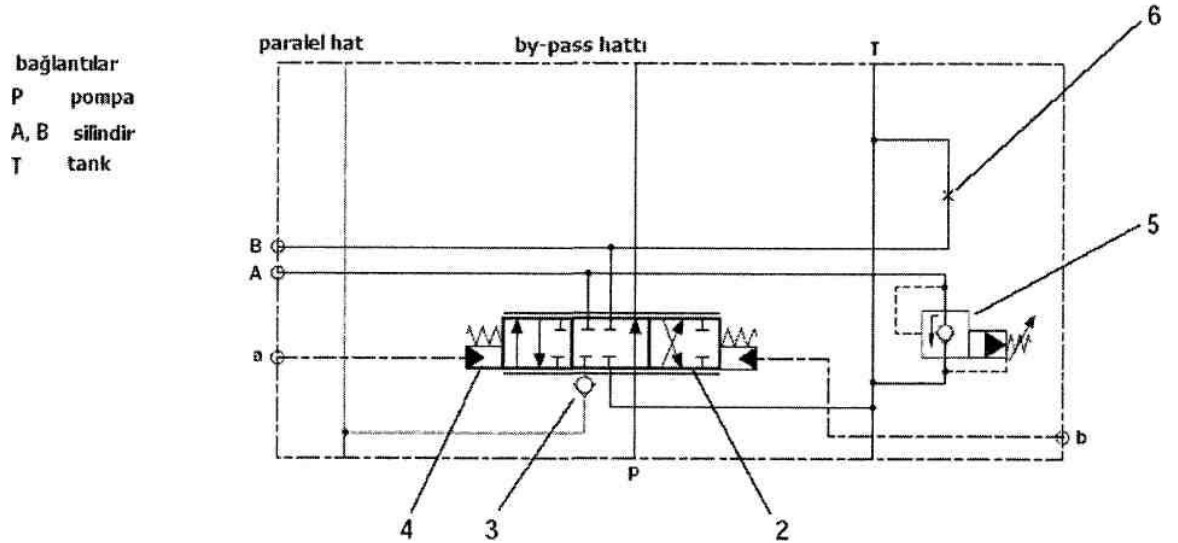
### 5.3.4 Kontrol Blokları

Kontrol blokları, basit olarak 6 yol prensibine göre çalışan elemanlardır. (1) numaralı muhafaza, (2) numaralı sürgü, ve yüklenmeye karşı (3) numaralı çekvalf, sürgü tahrik ve geri dönüş sistemi (4), basınç emniyet valfi (5) ve 6 numaralı anti-kavitasyon valfinden oluşur. Kontrol blokları paralel ya da tandem şekilde bağlanabilirler. Teleskopik boom silindirlerine

ait kontrol blokları birbirlerine tandem şekilde bağlanmışlardır.



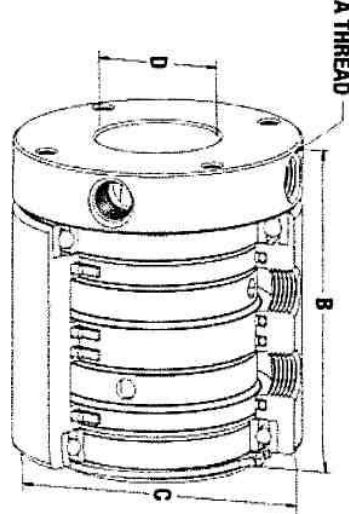
Şekil 5.11 Kontrol bloğu kesiti



Şekil 5.12 Kontrol bloğu devre şeması

#### 5.4 Dönel Yolverme Sistemleri

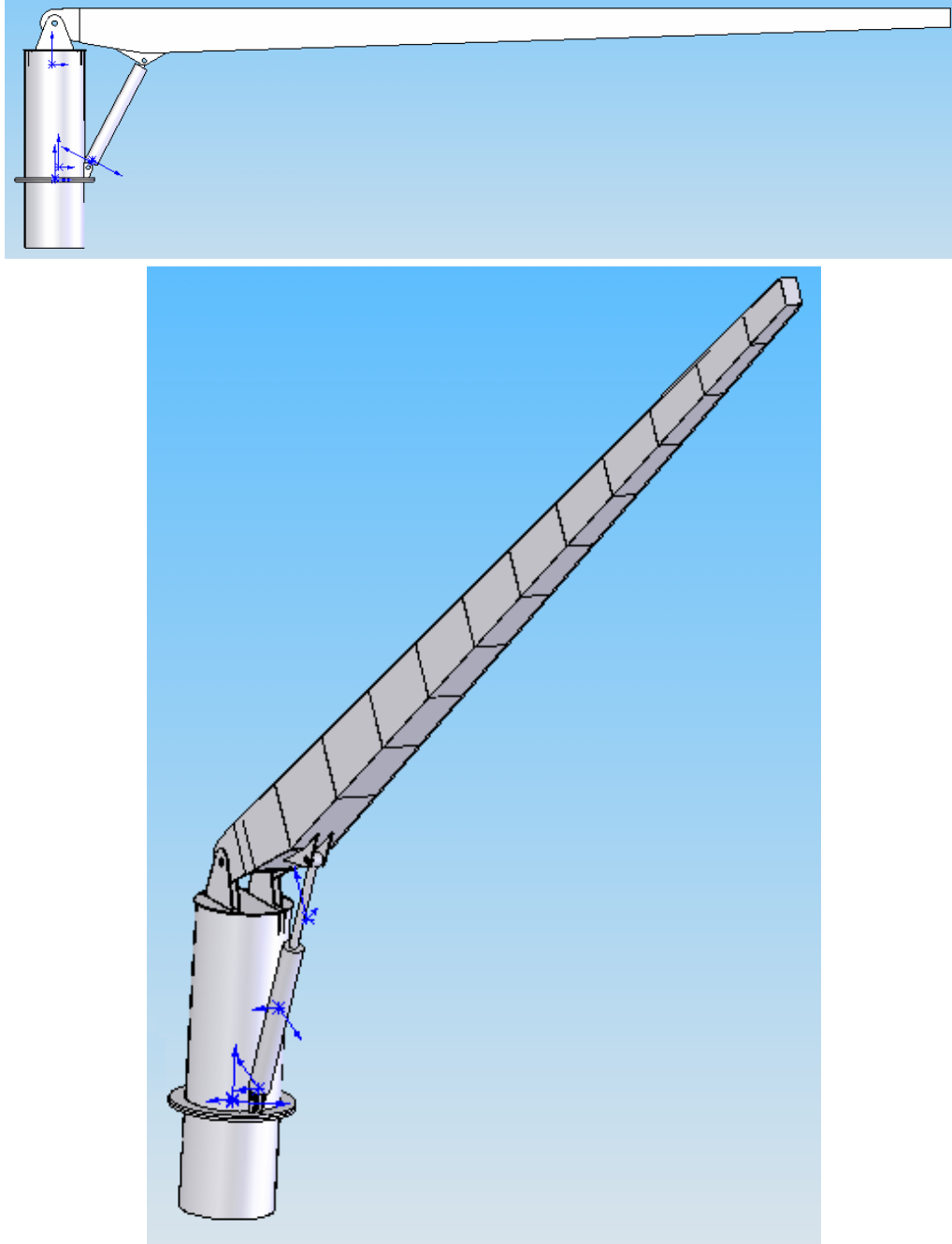
Mobil krenlerde, güç ünitesi (hidrolik pompa, tank, vs) sabit, diğer elemanlar ise, bir eksen etrafında dönen bir platformda olduklarından, hidrolik akışkan iletimi hortumlar vasıtası ile yapılamaz. Bunun için, dönen platformun dönme ekseninde dönel yol verme sistemleri kullanılır. Sistem temel olarak iç içe geçmiş iki adet boru ve sızdırmazlığı sağlayan O-ring lerden oluşur. Pompadan gidiş için bir yada birkaç hat, dönüş içi ise bir hat bulunur.



Şekil 5.13 Dönel Yol Verme Sistemi

## 6. BİR GEMİ GÜVERTE KRENİNİN TASARIMI

### 6.1 Özellikler



Şekil 6.1 Tasarımı yapılacak krenin görünüşleri

10 kN yük kaldırma kapasitesine sahip bir servis kreni.

Kanca hızı, ortalama yukarı / aşağı = 10 m/dak.

Kren dönüş hızı = 1 RPM

Piston zamanı, ortalama yukarı / aşağı yaklaşık = 40 saniye

Maksimum dış erişim 12 m.

Kanca gezintisi 25 m.

Bumun üst gövdeye bağlantı noktasının güverteden yüksekliği 3 m.

## 6.2 Hesaplamalar

Servis krenleri Türk Loydu Cilt D Kısım 50 – Kaldırma Donanımlarının Yapım ve Sörvey Kuralları kitabına göre A tip krenler sınıfına girmektedirler.

Kren konstrüksiyon malzemesi olarak Tablo 4.1’den St 52-3 yüksek mukavemetli çelik seçilmiştir.

Tablo 6.1 Kaynak edilebilir çeliklerin seçimi

| Dayanım sınıfı                                | Standart, spesifikasyon            | Çelik kalitesi                       | Çekme dayanımı [N/mm <sup>2</sup> ] | t [mm] kalınlığı için akma dayanımı |                                       | Kopmadaki uzama (enine) A <sub>5</sub> [%] min. |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                               |                                    |                                      |                                     | t ≤ 16 [N/mm <sup>2</sup> ] min.    | 16 < t ≤ 40 [N/mm <sup>2</sup> ] min. |                                                 |
| Normal çelikler                               | TL Malzeme Kuralları               | TL-A<br>TL-B<br>TL-D<br>TL-E         | 400-490                             | 235                                 | 235 <b>(1)</b>                        | 22                                              |
|                                               | DIN<br>EN 10 025<br><br>DIN 17 102 | St 37-2<br>St 37-3                   | 340-470                             | 235                                 | 225                                   | 24                                              |
|                                               |                                    | St 44-2<br>St 44-3                   | 410-540                             | 275                                 | 265                                   | 20                                              |
|                                               |                                    | St E 255<br>T St E 255<br>E St E 255 | 360-480                             | 255                                 | 255 <b>(3)</b>                        | 25                                              |
|                                               |                                    | St E 285<br>T St E 285<br>E St E 285 | 390-510                             | 285                                 | 275 <b>(3)</b>                        | 24                                              |
| Yüksek mukavemetli çelikler                   | TL Malzeme Kuralları               | TL-A 32<br>TL-D 32<br>TL-E 32        | 440-590                             | 315                                 | 315 <b>(2)</b>                        | 22                                              |
|                                               |                                    | TL-A 36<br>TL-D 36<br>TL-E 36        | 490-630                             | 355                                 | 355 <b>(2)</b>                        | 21                                              |
|                                               |                                    | TL-A 40<br>TL-D 40<br>TL-E 40        | 510-650                             | 390                                 | 390 <b>(2)</b>                        | 20                                              |
|                                               | DIN<br>EN 10 025<br><br>DIN 17102  | St 52-3                              | 490-630                             | 355                                 | 345                                   | 20                                              |
|                                               |                                    | St E 355<br>T St E 355<br>E St E 355 | 490-630                             | 355                                 | 355 <b>(3)</b>                        | 22                                              |
|                                               |                                    | St E 380<br>T St E 380<br>E St E 380 | 500-650                             | 380                                 | 375 <b>(3)</b>                        | 20                                              |
|                                               |                                    |                                      |                                     |                                     |                                       |                                                 |
| Isıl işlem görmüş yüksek mukavemetli çelikler | TL Malzeme Kuralları               | TL-D 420<br>TL-E 420<br>TL-F 420     | 530-680                             | 420                                 | 420 <b>(4)</b>                        | 18                                              |
|                                               |                                    | TL-D 460<br>TL-E 460<br>TL-F 460     | 570-720                             | 460                                 | 460 <b>(4)</b>                        | 17                                              |
|                                               |                                    | TL-D 500<br>TL-E 500<br>TL-F 500     | 610-770                             | 500                                 | 500 <b>(4)</b>                        | 16                                              |
|                                               |                                    | TL-D 550<br>TL-E 550<br>TL-F 550     | 670-830                             | 550                                 | 550 <b>(4)</b>                        | 16                                              |
|                                               |                                    | TL-D 620<br>TL-E 620<br>TL-F 620     | 720-890                             | 620                                 | 620 <b>(4)</b>                        | 15                                              |
|                                               |                                    | TL-D 690<br>TL-E 690<br>TL-F 690     | 770-940                             | 690                                 | 690 <b>(4)</b>                        | 14                                              |
|                                               |                                    |                                      |                                     |                                     |                                       |                                                 |

(1)

(2)

(3)

(4)

Diğer gereksinimler standartlardan veya sütun 2'deki kurallardan alınacaktır.

50 mm kalınlığa kadar uygulanır.

35 mm kalınlığa kadar uygulanır.

70 mm kalınlığa kadar uygulanır.

Sabit yük: Sabit yükler, işletmede devamlı olarak bulunan, tüm sabit ve hareketli yapı elemanlarının ve serbest donanımların ağırlıklarıdır.

Sabit yük katsayısı Tablo 6.2'den (SWL = 1.019 ton için)  $\varphi = 1.2$  okunur.

Tablo 6.2 Sabit Yük Katsayısı  $\varphi$

| Kaldırma donanımının tipi ve SWL                                      | Sabit yük katsayısı<br>$\varphi$ |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| SWL, 10 ton'a kadar olan bumbalar                                     | 1,2                              |
| SWL, 10 ton'dan fazla olan tüm diğer kaldırma donanımları ve bumbalar |                                  |
| SWL, 60 ton'a kadar                                                   | 1,1                              |
| SWL, 60 ton'dan 100 ton'a kadar                                       | 1,05                             |
| SWL, 100 ton'dan fazla                                                | 1,00                             |

Kaldırma yükü: Kaldırma yükü, emniyetli çalışma yükü (SWL) ile bu yükü taşıyan kaldırma donanımı elemanlarının (örneğin; yük kancası, yük makarası, kaldırma halatının bir parçası, vb.) sabit ağırlıklarını kapsar.

Kaldırma yükü katsayısı  $\psi$  Tablo 6.3'den hesaplanır.

Tablo 6.3 Kaldırma Yükü Katsayısı  $\psi$

| Kreyn tipi                    | Kaldırma hızı $V_H$ ya bağlı olarak $\psi_1$ kaldırma yükü katsayıları |                   |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                               | $V_H \leq 90$ [m/dk]                                                   | $V_H > 90$ [m/dk] |
| A tip gemi kreynleri          | $\psi = 1,1 + 0,0022 \cdot V_H \geq 1,15$                              | $\psi = 1,3$      |
| B tip gemi kreynleri          | $\psi = 1,2 + 0,0044 \cdot V_H \geq 1,3$                               | $\psi = 1,6$      |
| C1 tip gemi kreynleri         | $\psi = 1,3 + 0,0066 \cdot V_H \geq 1,45$                              | $\psi = 1,9$      |
| C2 tip gemi kreynleri         | $\psi = 1,4 + 0,0088 \cdot V_H \geq 1,60$                              | $\psi = 2,2$      |
| Açık deniz destek kreynleri   |                                                                        |                   |
| Ana kanca                     | $\psi = 1,2 + 0,0044 \cdot V_H \geq 1,3$                               | $\psi = 1,6$      |
| Yardımcı kanca                | $\psi = 1,3 + 0,0066 \cdot V_H \geq 1,45$                              | $\psi = 1,9$      |
| Açık deniz çalışma kreynleri  | $\psi = 1,1 + 0,0022 \cdot V_H \geq 1,15$                              | $\psi = 1,3$      |
| Yüzer kreynler                |                                                                        |                   |
| Kancalı, SWL, 60 t'a kadar    | $\psi = 1,2 + 0,0044 \cdot V_H \geq 1,3$                               | $\psi = 1,6$      |
| Kancalı, SWL, 60 t'dan fazla  | $\psi = 1,1 + 0,0022 \cdot V_H \geq 1,15$                              | $\psi = 1,3$      |
| Kancalı, SWL, 500 t'dan fazla | $\psi = 1,0 + 0,0011 \cdot V_H \geq 1,03$                              | —                 |
| Kepçeli, SWL, 60 t'a kadar    | $\psi = 1,4 + 0,0088 \cdot V_H \geq 1,6$                               | $\psi = 2,2$      |
| Kepçeli, SWL, 60 t'dan fazla  | $\psi = 1,2 + 0,0044 \cdot V_H \geq 1,3$                               | $\psi = 1,6$      |

$$\psi = 1.1 + 0.0022 \times V_H \geq 1.15$$

$\psi = 1.1 + 0.0022 \times 10 = 1.122$  hesaplanır ve denklem gereği  $\psi = 1.15$  alınır.

### 6.2.1 Halat Seçimi

Kaldırma donanımlarında ve serbest donanımlardaki tel halatların "hakiki kopma yükü" veya "kanıtlanmış kopma yükü", halat gerilmesi "S" ile, Tablo 6.4'de verilen  $K_1$  kullanım katsayısı çarpımından küçük olmayacaktır.

Tablo 6.4 Tel halatlar için kullanım katsayısı

| <b>K1 kullanım katsayısı</b>                                                                                                                        |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Kaldırma donanımları veya serbest donanımların emniyetli çalışma yükü                                                                               | Hareketli donanımlar için tel halatlar          |
| 10 t'a kadar                                                                                                                                        | 5                                               |
| 10 t - 60 t                                                                                                                                         | $\frac{10000}{(8,85 \times \text{SWL} + 1910)}$ |
| 160 t ve üzeri                                                                                                                                      | 3                                               |
| Kaldırma donanımları veya serbest donanımların emniyetli çalışma yükü                                                                               | Hareketsiz donanımlar için tel halatlar         |
| 10 t'a kadar                                                                                                                                        | 4                                               |
| 10 t - 107 t                                                                                                                                        | $\frac{8000}{(8,85 \times \text{SWL} + 1910)}$  |
| 107 t ve üzeri                                                                                                                                      | 2,8                                             |
| <b>K2 kullanım katsayısı</b>                                                                                                                        |                                                 |
| Emniyetli çalışma yükü                                                                                                                              | Halat sapanlar (1)                              |
| 10 t'a kadar                                                                                                                                        | 6                                               |
| 10 t - 160 t                                                                                                                                        | $\frac{12000}{(8,85 \times \text{SWL} + 1910)}$ |
| 160 t ve üzeri                                                                                                                                      | 3,6                                             |
| (1) Her iki ucunun da halat yüksüğü ve halat zıvanası olması şartıyla, dönmeyen halat sapanlar, sabit donanımlardaki tel halat olarak kabul edilir. |                                                 |

Tablo 6.4'ten  $K_1 = 5$  okunur.

Hakiki Kopma Yüğü : Halatın "gerçek kopma yüğü"  $F_w$  , halat numunesinin çekme testi ile belirlenen kopma yüğüdür.

Kanıtlanmış Kopma Yüğü : Halatın "kanıtlanmış kopma yüğü"  $F_n$  , ölçülen toplam kopma yüğü  $F_e$  ile sarım katsayısı  $k$  nın çarpımına eşittir.

Halat gerilmesi "S", kaldırma yüğü katsayısı  $\psi$  ve sabit yük katsayısı  $\phi$  nin dikkate alınmadığı, fakat makaralardaki sürtünme ve eğilme direncinin dikkate alındığı, A yük koşulundaki maksimum kuvvettir.

A yük koşulu : Sabit yük ve emniyetli çalışma yükünün, kaldırma donanımının kaldırma yüğü katsayısı ile çarpılmasından oluşan yük.

$$S = G_{yük} \phi$$

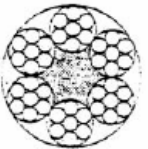
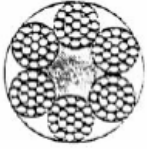
$$S = 10kN \times 1.2 = 12kN$$

$$\text{Hakiki kopma yüğü veya kanıtlanmış kopma yüğü} \geq S \times K_1 = 12kN \times 5 = 60 kN$$

Tablo 6.5b'den nominal çapı 12 mm, nominal dayanımı  $1770 \text{ N/mm}^2$ , nominal kopma yüğü 75.1 kN olan lif özlü halat seçilmiştir.

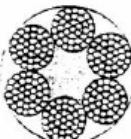
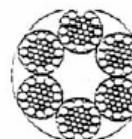
Halat 12 DIN 3066 - FE zn k 1770 sZ

Tablo 6.5a Tel halatlar

| Nominal dayanım                              | 1570 N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                          | 1570 N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                         | 1770 N/mm <sup>2</sup>                    |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Halatın nominal çapı                         | DIN 3055'e göre<br><br>Yuvarlak halat 6x7<br>Konstr. 6(6+1)+FE | DIN 3060'a göre<br><br>Yuvarlak halat standart 6x19<br>Konstr. 6(12+6+1)+FE |                                           |
|                                              | Nominal kopma yükü 1)                                                                                                                           |                                                                                                                                                                |                                           |
| mm                                           | kN                                                                                                                                              | kN                                                                                                                                                             | kN                                        |
| 8                                            | 33,4                                                                                                                                            | 30,9                                                                                                                                                           | 34,8                                      |
| 10                                           | 52,2                                                                                                                                            | 48,2                                                                                                                                                           | 54,4                                      |
| 12                                           | 75,1                                                                                                                                            | 69,5                                                                                                                                                           | 78,3                                      |
| 14                                           | 102                                                                                                                                             | 94,6                                                                                                                                                           | 107                                       |
| 16                                           | 134                                                                                                                                             | 124                                                                                                                                                            | 139                                       |
| 18                                           | 169                                                                                                                                             | 156                                                                                                                                                            | 176                                       |
| 20                                           | 209                                                                                                                                             | 193                                                                                                                                                            | 218                                       |
| 22                                           | 252                                                                                                                                             | 234                                                                                                                                                            | 263                                       |
| 24                                           | 300                                                                                                                                             | 278                                                                                                                                                            | 315                                       |
| 26                                           | 353                                                                                                                                             | 326                                                                                                                                                            | 368                                       |
| 28                                           | 409                                                                                                                                             | 378                                                                                                                                                            | 426                                       |
| 32                                           | 534                                                                                                                                             | 494                                                                                                                                                            | 557                                       |
| 36                                           | 676                                                                                                                                             | 625                                                                                                                                                            | 705                                       |
| 40                                           | 835                                                                                                                                             | 722                                                                                                                                                            | 870                                       |
| 44                                           | -                                                                                                                                               | 934                                                                                                                                                            | 1050                                      |
| 48                                           | -                                                                                                                                               | 1110                                                                                                                                                           | 1250                                      |
| 52                                           | -                                                                                                                                               | 1300                                                                                                                                                           | 1470                                      |
| 56                                           | -                                                                                                                                               | 1510                                                                                                                                                           | 1710                                      |
| Onaylar : Çarmıklar, gergiler, abli askıları |                                                                                                                                                 | Tekneye kilitle veya halat soketleri ile bağlı olan çarmıklar, gergiler, abli askıları, kamçılar, yüklü halde yükseltilmeyen, tek donanımlı mantilya halatları | Abli askıları, abli donanımları, kamçılar |

1) Tablodaki değerler, doğal veya suni lif özlü halatlar için geçerlidir. Aynı konstrüksiyonlu çelik tel özlü halatların kullanımı halinde, nominal kopma yükü %8 arttırılacaktır.

Tablo 6.5b Tel halatlar

| Nominal dayanım                                                                                                                                    | 1570 N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                      | 1770 N/mm <sup>2</sup> | 1570 N/mm <sup>2</sup>                                                                                                                                                | 1770 N/mm <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Halatın nominal çapı                                                                                                                               | DIN 3066<br><br>Yuvarlak halat<br>standart 6x37<br>Konstr. 6(18+12+6+1)+FE |                        | DIN 3064<br><br>Yuvarlak halat<br>Warrington-seal 6x36<br>Konstr. 6(14+7/7+7+1)+FE |                        |
|                                                                                                                                                    | Nominal kopma yükü 1)                                                                                                                                       |                        |                                                                                                                                                                       |                        |
| mm                                                                                                                                                 | kN                                                                                                                                                          | kN                     | kN                                                                                                                                                                    | kN                     |
| 8                                                                                                                                                  | 29,6                                                                                                                                                        | 33,4                   | -                                                                                                                                                                     | -                      |
| 10                                                                                                                                                 | 46,3                                                                                                                                                        | 52,2                   | 51,3                                                                                                                                                                  | 58,4                   |
| 12                                                                                                                                                 | 66,6                                                                                                                                                        | 75,1                   | 74,6                                                                                                                                                                  | 84,1                   |
| 14                                                                                                                                                 | 90,7                                                                                                                                                        | 102                    | 102                                                                                                                                                                   | 114                    |
| 16                                                                                                                                                 | 118                                                                                                                                                         | 134                    | 133                                                                                                                                                                   | 149                    |
| 18                                                                                                                                                 | 150                                                                                                                                                         | 169                    | 168                                                                                                                                                                   | 189                    |
| 20                                                                                                                                                 | 185                                                                                                                                                         | 209                    | 207                                                                                                                                                                   | 234                    |
| 22                                                                                                                                                 | 224                                                                                                                                                         | 253                    | 251                                                                                                                                                                   | 283                    |
| 24                                                                                                                                                 | 267                                                                                                                                                         | 301                    | 298                                                                                                                                                                   | 336                    |
| 26                                                                                                                                                 | 313                                                                                                                                                         | 353                    | 350                                                                                                                                                                   | 395                    |
| 28                                                                                                                                                 | 363                                                                                                                                                         | 409                    | 406                                                                                                                                                                   | 458                    |
| 32                                                                                                                                                 | 474                                                                                                                                                         | 534                    | 530                                                                                                                                                                   | 598                    |
| 36                                                                                                                                                 | 600                                                                                                                                                         | 676                    | 671                                                                                                                                                                   | 757                    |
| 40                                                                                                                                                 | 741                                                                                                                                                         | 835                    | 829                                                                                                                                                                   | 934                    |
| 44                                                                                                                                                 | 896                                                                                                                                                         | 1010                   | 1000                                                                                                                                                                  | 1130                   |
| 48                                                                                                                                                 | 1070                                                                                                                                                        | 1200                   | 1190                                                                                                                                                                  | 1350                   |
| 52                                                                                                                                                 | 1250                                                                                                                                                        | 1410                   | 1400                                                                                                                                                                  | 1580                   |
| 56                                                                                                                                                 | 1450                                                                                                                                                        | 1640                   | 1620                                                                                                                                                                  | 1830                   |
| 60                                                                                                                                                 | 1670                                                                                                                                                        | 1880                   | 1860                                                                                                                                                                  | 2100                   |
| 64                                                                                                                                                 | 1900                                                                                                                                                        | 2140                   | -                                                                                                                                                                     | -                      |
| Donanımlar için Onaylar : Yük halatları (kaldırma halatları), mantilya halatları (orsa halatları), abli donanımları, kamçılar, kaldırma halatları. |                                                                                                                                                             |                        |                                                                                                                                                                       |                        |

Yuvarlak kollardan yapılmış bir halatın gösterimi :

Halatın nominal çapı, DIN standardı, öz tipi, tel yüzeyi, tellerin nominal dayanımı, sarımın çeşit ve yönü

Örnek : Halat 20 DIN 3066 - FE zn k 1570 sZ

DIN 3051 Sayfa 4'e göre

Kısaltma işaretleri :

FE = Lif öz

zn k = Çinkolu çekilmiş teller

1570= Nominal mukavemet

sZ = Sağa çapraz sarım

## 6.2.2 Kanca Seçimi

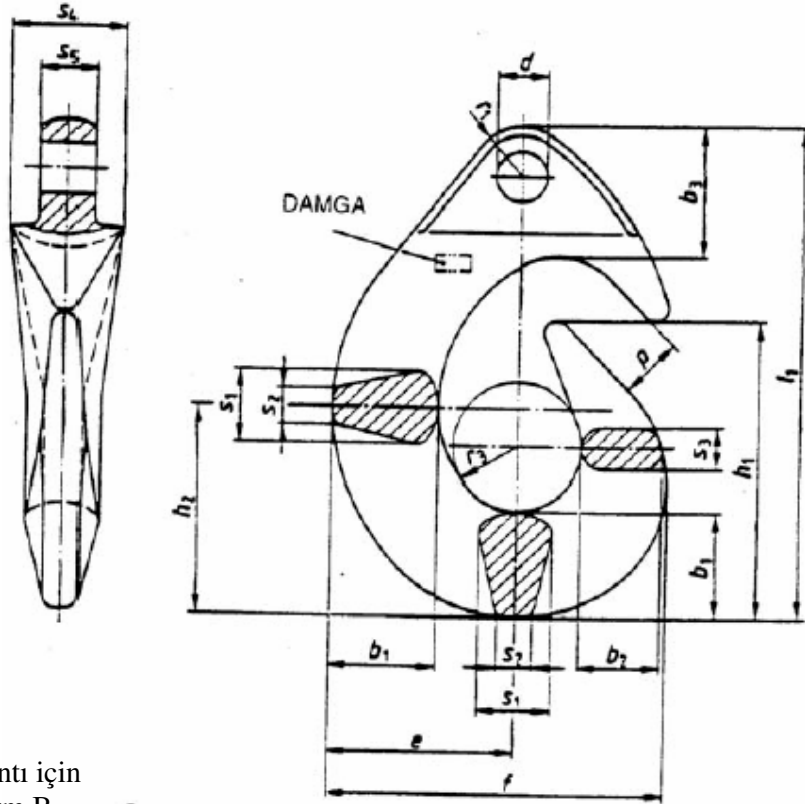
Tablo 6.6 Yük kancaları

| Nominal boyut | Çalışma yükü sınırı "WLL" | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | d    | e   | f   | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | l <sub>1</sub> | p   | r <sub>1</sub> | r <sub>3</sub> | s <sub>1</sub> | s <sub>2</sub> | s <sub>3</sub> | s <sub>4</sub> | S <sub>5</sub> Form |    |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|------|-----|-----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----|
|               |                           |                |                |                |      |     |     |                |                |                |     |                |                |                |                |                |                | A                   | B  |
|               | t                         | mm             | mm             | mm             | mm   | mm  | mm  | mm             | mm             | mm             | mm  | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             | mm                  | mm |
| 1             | 1                         | 42             | 33             | 50             | 17,5 | 74  | 134 | 117            | 82             | 192            | 25  | 18             | 25             | 28             | 14             | 16             | 40             | 19                  | 16 |
| 2             | 2                         | 54             | 42             | 69             | 24   | 94  | 170 | 150            | 105            | 251            | 32  | 25             | 32             | 36             | 18             | 20             | 58             | 27                  | 22 |
| 3             | 3.2                       | 68             | 53             | 82             | 30   | 118 | 214 | 188            | 132            | 310            | 40  | 30             | 40             | 46             | 23             | 26             | 72             | 35                  | 28 |
| 5             | 5                         | 84             | 66             | 103            | 39   | 148 | 268 | 234            | 164            | 387            | 50  | 38             | 50             | 56             | 28             | 32             | 92             | 44                  | 35 |
| 6             | 6.3                       | 94             | 73             | 114            | 42   | 167 | 300 | 262            | 184            | 432            | 56  | 43             | 56             | 64             | 32             | 36             | 102            | 50                  | 40 |
| 8             | 8                         | 106            | 83             | 129            | 48   | 188 | 338 | 295            | 207            | 487            | 63  | 48             | 63             | 72             | 36             | 40             | 115            | 56                  | 45 |
| 10            | 10                        | 118            | 92             | 150            | 52   | 208 | 376 | 328            | 230            | 548            | 70  | 55             | 70             | 80             | 40             | 45             | 125            | 61                  | 50 |
| 12            | 12.5                      | 135            | 105            | 172            | 56   | 234 | 425 | 375            | 263            | 627            | 80  | 60             | 80             | 91             | 46             | 51             | 138            | 68                  | 55 |
| 16            | 16                        | 152            | 114            | 190            | 66   | 258 | 470 | 422            | 296            | 702            | 90  | 65             | 90             | 103            | 52             | 58             | 155            | 75                  | 60 |
| 20            | 20                        | 170            | 133            | 202            | 74   | 298 | 540 | 470            | 330            | 772            | 100 | 70             | 100            | 115            | 57             | 64             | 172            | 84                  | 65 |
| 25            | 25                        | 190            | 153            | 220            | 78   | 332 | 603 | 522            | 366            | 852            | 110 | 75             | 110            | 128            | 64             | 72             | 192            | 94                  | 70 |
| 32            | 32                        | 203            | 167            | 246            | 86   | 354 | 648 | 562            | 395            | 928            | 120 | 85             | 120            | 137            | 69             | 77             | 204            | 102                 | 80 |
| 40            | 40                        | 225            | 189            | 272            | 96   | 392 | 718 | 618            | 433            | 1020           | 130 | 95             | 130            | 152            | 76             | 85             | 225            | 117                 | 90 |

DIN 82017, Mayıs 91'e göre

Malzeme: St E 355, DIN 17103, 34 Cr Mo 4, DIN 17200, Gs 45.3, DIN 1681

Sembol :  
Form, Nominal boyut  
ve  
Tablo numarasına göre  
Örnek:  
Yük kancası B5 – [19]



- 1) Form A Kilitli – bağlantı için  
(Tablo 4.10'a göre Form B kilit)

Şekil 6.2 Yük kancaları

Tablo 6.7 Serbest donanımlar için statik test yükleri

| Serbest donanımın emniyetli çalışma yükü SWL | Test yükü "PL <sub>stat</sub> " |
|----------------------------------------------|---------------------------------|
| 10 t'a kadar                                 | 2 x SWL                         |
| 10 t'dan 160 t'a kadar                       | (1.04 x SWL) + 9,6t             |
| 160 t'dan fazla                              | 1.1 x SWL                       |

Tablo 6.8 Serbest donanımlar için dinamik test yükleri

| Kaldırma donanımının SWL | Test yükü "PL <sub>din</sub> " |
|--------------------------|--------------------------------|
| 20 t'a kadar             | SWL + %25                      |
| 20 t'dan 50 t'a kadar    | SWL + 5t                       |
| 50 t'dan fazla           | SWL + %10                      |

Serbest donanımlar için statik test yükü = 2 x SWL = 2 x 10kN = 20kN

Serbest donanımlar için statik test yükü = 2 x SWL = 2 x 10kN = 20kN

$$\text{Serbest donanımlar için statik test yükü} = \frac{20\text{kN}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2.04\text{ton}$$

WWL = 2.04 ton alınabilir.

Tablo 6.6'dan WWL = 3.2 ton, nominal boyut 3 seçilmiştir.

### 6.2.3 Fırdöndü Seçimi

Tablo 6.9 Fırdöndüler

| Nominal boyut | Çalışma yükü sınırı "WLL" | b <sub>1</sub> | d <sub>1</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> | g <sub>1</sub> | f  |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|
|               |                           | mm             | mm             | mm             | mm             | mm             | mm |
| 1             | 1                         | 32             | 12             | 35             | 18             | 16             | 18 |
| 2             | 2                         | 45             | 16             | 50             | 24             | 20             | 22 |
| 3             | 3.2                       | 55             | 21             | 60             | 30             | 26             | 28 |
| 5             | 5                         | 70             | 26             | 75             | 36             | 32             | 36 |
| 8             | 8                         | 87             | 32             | 95             | 45             | 40             | 45 |
| 10            | 10                        | 96             | 36             | 105            | 52             | 45             | 50 |

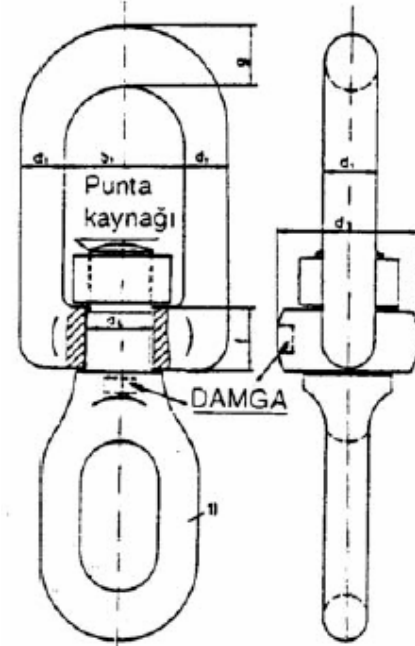
DIN 82018, Ağustos 90'a göre

Malzeme: RSt 37-2, DIN EN 10025, Fe 360-B, ISO 630

Sembol:

Nominal boyut ve Tablo numarasına göre

Örnek : Fırdöndü 5 – [20]



Şekil 6.3 Fırdöndüler

WWL = 3.2 ton, nominal boyut 3 seçilmiştir.

#### 6.2.4 Kilitler

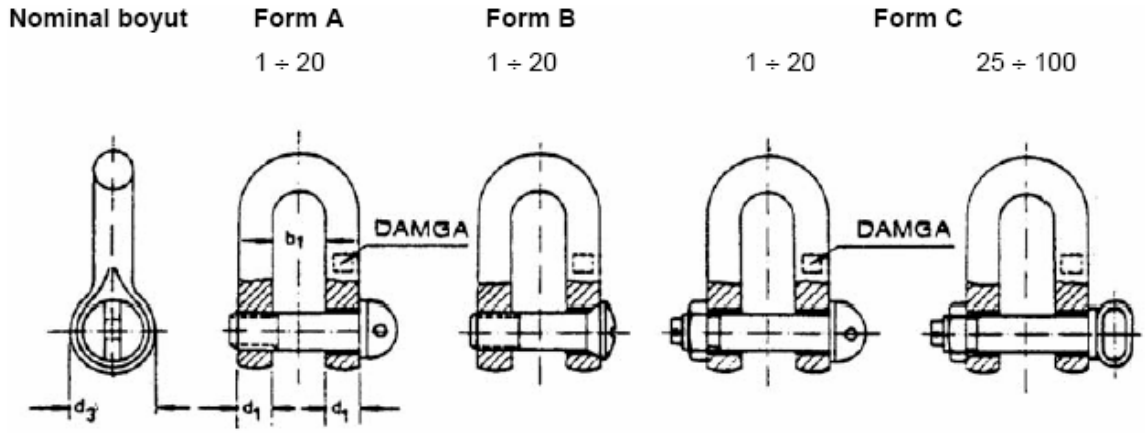
Tablo 6.6'daki yük kancaları, yük zincirleri, yük fırdöndüleri, serbest donanımlarda kullanılan kilitlerin harbileri, yarık başlı cıvata şeklinde olmalıdır (tip B). Harbiler güvenceye alınmalıdır.

Tablo 6.10 Kilitler

| Nominal boyut | Çalışma yükü sınırı "WLL" | b <sub>1</sub> | d <sub>1</sub> | d <sub>3</sub> | Harbi |           |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|-------|-----------|
|               |                           |                |                |                | Ø     | Dış       |
|               | t                         | mm             | mm             | mm             | mm    |           |
| 1             | 1                         | 21             | 13             | 32             | 16    | M 16      |
| 1,6           | 1,6                       | 27             | 17             | 40             | 20    | M 20      |
| 2             | 2                         | 30             | 19             | 44             | 22    | M 22      |
| 2,5           | 2,5                       | 33             | 21             | 48             | 24    | M 24      |
| 3             | 3,2                       | 38             | 24             | 54             | 27    | M 27      |
| 4             | 4                         | 42             | 27             | 60             | 30    | M 30      |
| 5             | 5                         | 47             | 30             | 72             | 36    | M 36      |
| 6             | 6,3                       | 53             | 34             | 78             | 39    | M 39      |
| 8             | 8                         | 60             | 38             | 90             | 45    | M 45      |
| 10            | 10                        | 66             | 42             | 96             | 48    | M 48      |
| 12            | 12,5                      | 73             | 47             | 104            | 52    | M 52      |
| 16            | 16                        | 81             | 52             | 120            | 60    | M 60      |
| 20            | 20                        | 90             | 58             | 136            | 68    | M 68      |
| 25            | 25                        | 100            | 63             | 144            | 72    | M 72 X 6  |
| 32            | 32                        | 110            | 70             | 160            | 80    | M 80 X 6  |
| 40            | 40                        | 125            | 79             | 180            | 90    | M 90 X 6  |
| 50            | 50                        | 140            | 88             | 200            | 100   | M 100 X 6 |
| 63            | 63                        | 155            | 96             | 220            | 110   | M 110 X 6 |
| 80            | 80                        | 175            | 110            | 250            | 125   | M 125 X 6 |
| 100           | 100                       | 200            | 125            | 280            | 140   | M 140 X 6 |

DIN 82101, Şubat 76'ya göre

Eleman : Malzeme:  
 Gövde : RSt37-2, DIN EN 10025, Fe 360-B, ISO 630  
 Harbi : St44-2, DIN EN 10025, Fe 430-B, ISO 630



Sembol :  
 Form, Nominal boyut ve  
 Tablo numarasına göre  
 Örnek : Kilit A16 – [22]

Şekil 6.4 Kilitler

WWL = 3.2 ton, nominal boyut 3, Form B kilit seçilmiştir.

### 6.2.5 Zincir ve Dairesel Kesit

Tablo 6.11 Form B bağlama parçalı zincirler

| Çalışma<br>yükü<br>sınırı<br>"WLL" | Yük zincirleri<br>(kısa baklalı zincirler)<br>E DIN 32891, Eylül 90'a<br>göre |     |     | Mantilya zincirleri için (kısa<br>baklalı zincirler) oval zincirler B<br>DIN 695, Temmuz 86'ya göre |                |                |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
|                                    | Nominal<br>boyut 1)<br>d                                                      | b   | t   | d <sub>1</sub>                                                                                      | b <sub>1</sub> | t <sub>1</sub> |
|                                    | mm                                                                            | mm  | mm  | mm                                                                                                  | mm             | mm             |
| 1                                  | 10                                                                            | 36  | 30  | 13                                                                                                  | 51             | 54             |
| 1.6                                | 13                                                                            | 47  | 39  | 16                                                                                                  | 66             | 70             |
| 2.5                                | 16                                                                            | 58  | 48  | 20                                                                                                  | 80             | 85             |
| 3.2                                | 18                                                                            | 65  | 54  | 23                                                                                                  | 96             | 115            |
| 4                                  | 20                                                                            | 72  | 60  | 23                                                                                                  | 96             | 115            |
| 5                                  | 23                                                                            | 83  | 69  | 26                                                                                                  | 117            | 140            |
| 6.3                                | 26                                                                            | 84  | 78  | 32                                                                                                  | 134            | 150            |
| 10                                 | 32                                                                            | 115 | 96  | 40                                                                                                  | 160            | 170            |
| 12.5                               | 36                                                                            | 130 | 108 | 45                                                                                                  | 180            | 180            |
| 16                                 | 40                                                                            | 144 | 120 | 50                                                                                                  | 200            | 200            |
| 20                                 | 45                                                                            | 162 | 135 | 56                                                                                                  | 227            | 230            |

| Mantilya zincirleri<br>(uzun halkalı)<br>DIN 82056, Kasım 78'e göre |                       |     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----|-----|
| Çalışma<br>yükü sınırı<br>"WLL"                                     | Nominal<br>boyut<br>d | b   | t   |
| t                                                                   | mm                    | mm  | mm  |
| 1                                                                   | 13                    | 44  | 78  |
| 1.6                                                                 | 16                    | 54  | 96  |
| 2                                                                   | 18                    | 60  | 108 |
| 2.5                                                                 | 20                    | 67  | 120 |
| 3.2                                                                 | 23                    | 77  | 138 |
| 4                                                                   | 26                    | 87  | 156 |
| 5                                                                   | 28                    | 94  | 168 |
| 6.3                                                                 | 33                    | 112 | 198 |
| 8                                                                   | 36                    | 122 | 216 |
| 10                                                                  | 39                    | 132 | 234 |
| 12.5                                                                | 45                    | 152 | 270 |

Malzeme : RSt 35-2, DIN 17115

Sembol:  
 Nominal boyut ve Tablo numarasına göre  
 Örnek : Bağlantı parçalı yük zinciri 20  
 Form B – [23]  
 Mantilya zinciri 26 – [23]



1) Yük zincirinin nominal boyutu, B bağlantı parçasının nominal boyutuna eşittir.

Şekil 6.5 Zincir ve daire kesit

WWL = 3.2 ton için nominal boyut 18 seçimi yapılmıştır.

Bağlantı parçası yük zinciri 18

Form B – [23]

## 6.2.6 Tambur ve Makara Seçimi

Tablo 6.12 Halat dilleri ve tamburların minimum çapları

| Uygulama                                                                                                                                  | Halat makarası dil dibi çapı (1)<br>min. | Halat tambur çapı |            | Tel halatın nominal çekme dayanımı (2) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------|------------|----------------------------------------|
|                                                                                                                                           |                                          | yivsiz min.       | yivli min. |                                        |
| Yük altında çalıştırılmayan tel halatlar                                                                                                  | 9 d                                      | 10 d              | 9 d        | 1570 N/mm <sup>2</sup>                 |
| Seyrek kullanılan bumba donanımları                                                                                                       | 14 d                                     | 16 d              | 12.5 d     | 1570 N/mm <sup>2</sup>                 |
| Sık kullanılan bumba donanımları                                                                                                          | 18 d                                     | 20 d              | 16 d       | 1770 N/mm <sup>2</sup>                 |
| Güverte kreynleri, tip A ve B                                                                                                             | 20 d                                     | 22 d              | 18 d       | 1770 N/mm <sup>2</sup>                 |
| Güverte kreynleri, tip C1                                                                                                                 | 22 d                                     | 25 d              | 20 d       | 1770 N/mm <sup>2</sup>                 |
| Güverte kreynleri, tip C2                                                                                                                 | 25 d                                     | 28 d              | 22 d       | 1770 N/mm <sup>2</sup>                 |
| (1) Dönmez veya az-döner halat kullanımında, belirtilen çapların %10 artırılması tavsiye edilir.                                          |                                          |                   |            |                                        |
| (2) Daha yüksek nominal çekme dayanımlı halatlar kullanıldığında, belirtilen çaplar orantılı olarak arttırılacaktır (B.1.5'e de bakınız). |                                          |                   |            |                                        |

Güverte kreni tip A için halat makarası dil dibi çapı minimum Tablo 6.12'den

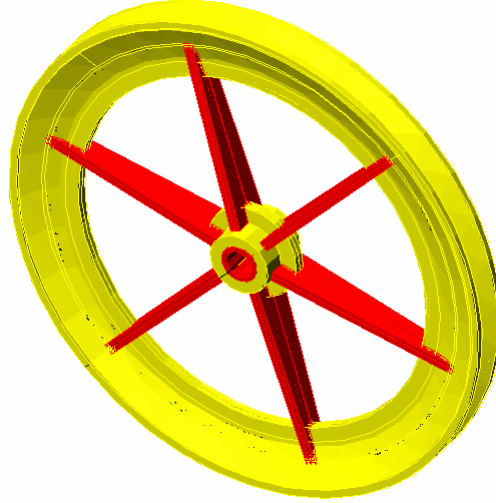
20 d = 20 x 12 = 240 mm bulunur.

Fakat, tablo 6.12'nin 1 nolu açıklamasına göre dönmez veya az-döner halat kullanımında, belirtilen belirtilen çapların %10 artırılması tavsiye edilir.

Buna göre 240 x 1.10 = 264 mm bulunur. (Minimum dil dibi çapı)

Halat dil dibi çapı = 270 mm alınmıştır.

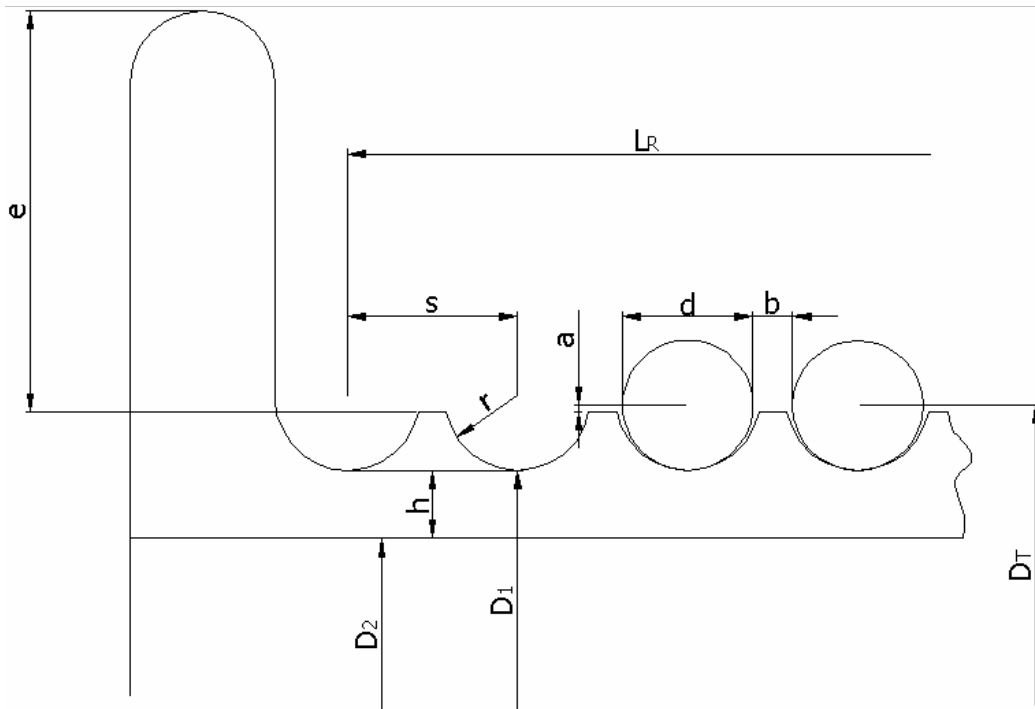




Şekil 6.7 Makaranın üç boyutlu görünüşü

Tambura ait boyutlar aşağıdaki gibi bulunur.

- $r \cong 0.53 d$  Yiv yarı çapı
- $s \cong 1.15 d$  Yiv hatvesi
- $b \cong 0.15 d$  Halatlar arası mesafe
- $e \cong 2.5 d$  Kenar çıkıntısı
- $a \cong 0.125 d$  Yiv tepesinin yuvarlanma dairesine olan mesafesi
- $h_T$  = Tambur minimum kalınlığı



Şekil 6.8 Tamburun boyutlandırılması

Halatın flenç dışına çıkması bir sarıcı düzenle veya başka düzenlerle önlenmedikçe, halat tamburlarında; dış kenarları halatın en üst sarımından itibaren en az halat çapının 2 1/2 katı kadar daha devam eden yanal flençler bulunacaktır. Halatların tambura uygun bir şekilde ve aşırı sapma olmayacak şekilde sarılması sağlanacaktır.

Tambur, halatı 10 m / dak hız ile sarsın isteniyordu. Bu hıza da 2 saniyede ulaştığını kabul edelim.

$$V = 10 \frac{m}{dak} \frac{1dak}{60s} = 0.17m/s$$

$$a = \frac{V}{t} = \frac{0.17}{2} = 0.08m/s^2$$

Halat tarafından tam sarılmış tamburda meydana gelen bası gerilmesi ERNST tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\sigma_d = 0.85 \frac{F_s}{h_T \cdot s} \leq \sigma_{dem}$$

Çelik döküm (GG) ve sac malzemede (St37) emniyetli bası gerilmesi  $\sigma_{dem} = 100N/mm^2$  alınır.

$F_s$  halat çekme kuvveti =  $G_{yük} \times$  Statik test yükü katsayısı  $\times$  (yerçekimi ivmesi + kaldırma ivmesi)

$$F_s = \frac{10kN}{9.81} 1.25 \times (9.81 + 0.08) = 12.606kN$$

$$\sigma_d = 0.85 \cdot \frac{12606}{h_T \times 1.15 \times 12} \leq 100 \Rightarrow h_T \geq \frac{0.85 \times 12606}{1.15 \times 12 \times 100} = 7.77mm$$

Tam sarılmamış tamburda halatın sarım yerinde meydana gelen eğilme gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{bA} = 0.96 F_s \sqrt{\frac{1}{D_T h_T^3}} \leq \sigma_{bAem}$$

$$\sigma_{bAem} = 50N/mm^2$$

$$D_T = \text{Halat tambur çapı} + d = 250 + 12 = 262 \text{ mm}$$

$$\sigma_{bA} = 0.96 \times 12606 \sqrt{\frac{1}{262 h_T^3}} \leq 50 \Rightarrow h_T \geq \sqrt[3]{\left(\frac{0.96 \times 12606}{50}\right)^2 \frac{1}{262}} = 6.07mm$$

İki denklem sonucunda  $h_T \geq 7.77mm$  çıktı.  
 $h_T = 10 \text{ mm}$  seçilmiştir.

$$\text{Toplam halat uzunluğu} = 25m + 4 \pi 262mm \frac{1m}{1000mm} = 28.29m$$

$$\text{Sarım sayısı} = \frac{28.29m}{\frac{\pi 262}{1000}} = 34.37$$

Sarım sayısını 35 alalım.

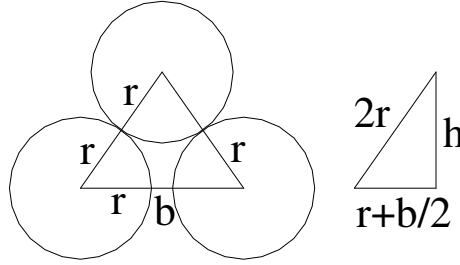
Tambur etrafına tek kat sarım yapılması istenirse tambur uzunluğu:

$$35 d + 34 b = 35 \times 12 + 34 \times 1.8 = 481.2 \text{ mm bulunur.}$$

Tambur uzunluğunu 350 mm alalım.

Tambura iki kat halat sarılsın.

İkinci sarımdaki telin tambur merkezine uzaklığı ( $r_{T2} = D_{T2}/2$ ) =  $D_T/2 + h$  olarak yazılır.



Şekil 6.9 Tambur üzerine sarılmış halatın geometrik durumu

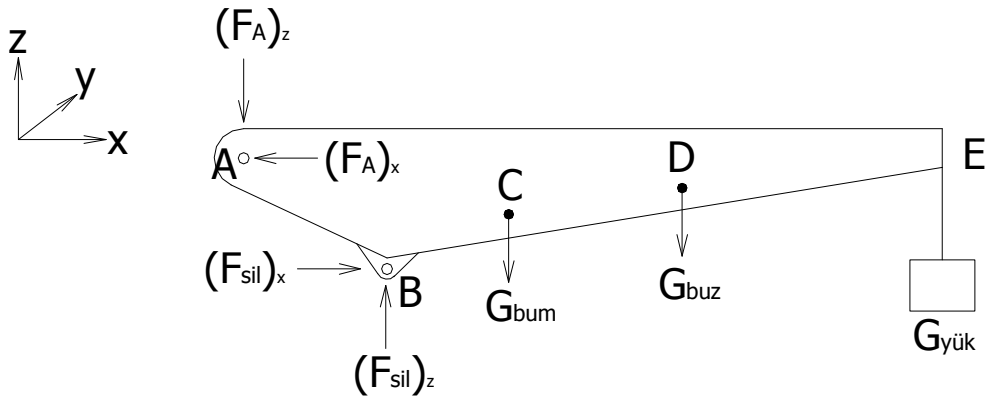
$$h = \sqrt{(2r)^2 - \left(r + \frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{12^2 - 6.9^2} = 9.82mm$$

$$D_T = \text{Halat tambur çapı} + d = 250 + 12 = 262 \text{ mm}$$

İkinci sarımdaki telin tambur merkezine uzaklığı =  $D_T/2 + h$

$$r_{T2} = \frac{D_{T2}}{2} = \frac{D_T}{2} + h = \frac{262}{2} + 9.82 = 140.82mm \text{ bulunur.}$$

### 6.2.7 Kren Bumundaki Normal Gerilmelerin Hesaplanması



Şekil 6.10 Kren bumuna etki eden kuvvetler

Hesaplamalar II. Yükleme haline göre (rüzgarlı vinç işletmesi) yapılmıştır. Buzlanmanın dikkate alınacağı ve ayrıntılı verilerin bulunmadığı hallerde, kolaylık amacıyla, havaya açık tüm yapı elemanları üzerinde 3 cm. kalınlığında buz bulunduğu kabul edilecektir. Buzun yoğunluğu,  $7 \text{ kN/m}^3$  olarak kabul edilecektir.

$$X_{bum+buz} = 5172.15 \text{ mm}$$

$$X_{bum} = 4801.59 \text{ mm}$$

$$V_{bum+buz} = 710544472.64 \text{ mm}^3$$

$$V_{bum} = 185561872.01 \text{ mm}^3$$

$$V_{buz} = 524982600.63 \text{ mm}^3$$

$$Z_{bum+buz} = -26.83 \text{ mm}$$

$$Z_{bum} = -28.49 \text{ mm}$$

$$V_{bum} X_{bum} + V_{buz} X_{buz} = V_{bum+buz} X_{bum+buz}$$

$$V_{bum} Z_{bum} + V_{buz} Z_{buz} = V_{bum+buz} Z_{bum+buz}$$

$$X_{buz} = 5303.13 \text{ mm}$$

$$Z_{buz} = -26.24 \text{ mm}$$

$$\gamma_{çelik} = 78500 \text{ N / m}^3$$

$$G_{bum} = V_{bum} \gamma_{çelik} = 185561872.01 \times 10^{-9} \times 78500 = 12989.33 \text{ N}$$

$$G_{buz} = V_{buz} \gamma_{buz} = 524982600.63 \times 10^{-9} \times 7000 = 3674.88 \text{ N}$$

$$L_{AB} = 1200 \text{ mm}$$

$$L_{AC} = 4801.59 \text{ mm}$$

$$L_{AD} = 5303.13 \text{ mm}$$

$$L_{AE} = 12000 \text{ mm}$$

$$(L_{AB})_Z = 700 \text{ mm}$$

$$\overset{\curvearrowright}{M}_A^+ = G_{Yük} L_{AE} \varphi \psi + G_{Buz} L_{AD} \varphi + G_{Bum} L_{AC} \varphi - (F_{Sil})_z (L_{AB})_x - (F_{Sil})_x (L_{AB})_z = 0$$

Hidrolik silindirin buma bağlantı açısı  $\alpha = 27.76^\circ$

$$\sin \alpha = 0.47$$

$$\cos \alpha = 0.89$$

$$\tan \alpha = 0.53$$

$$(F_{sil})_x = (F_{sil})_z \tan \alpha$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow (F_{Sil})_x - (F_A)_x = 0$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow (F_{Sil})_z - (F_A)_z - G_{Bum} \varphi - G_{Buz} \varphi - G_{Yük} \varphi \psi = 0$$

$$\widehat{M}_A^+ = 10000 \times 12000 \times 1.2 \times 1.15 + 3674.88 \times 5303.13 \times 1.2 + 12989.33 \times 4801.59 \times 1.2 \\ - (F_{Sil})_z \times 1200 - (F_{Sil})_z \times 0.53 \times 500 = 0$$

$$(F_{sil})_z = 180314.71N$$

$$(F_{sil})_x = 180314.71 \times 0.53 = 94903.24N$$

$$F_{sil} = 203763.85N$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow (F_{Sil})_x - (F_A)_x = 0 \Rightarrow (F_A)_x = (F_{sil})_x = 94903.24N$$

$$\sum F_z = 0 \Rightarrow 180314.71 - (F_A)_z - 12989.33 \times 1.2 - 3674.88 \times 1.2 - 10000 \times 1.2 \times 1.15 = 0 \\ (F_A)_z = 146517.66N$$

$$\widehat{M}_D^+ = G_{Yük} L_{DE} \varphi \psi = G_{Yük} (L_{AE} - L_{AD}) \varphi \psi = 10000 (12000 - 5303.13) 1.2 \times 1.15$$

$$\widehat{M}_D^+ = 92416859.68N.mm$$

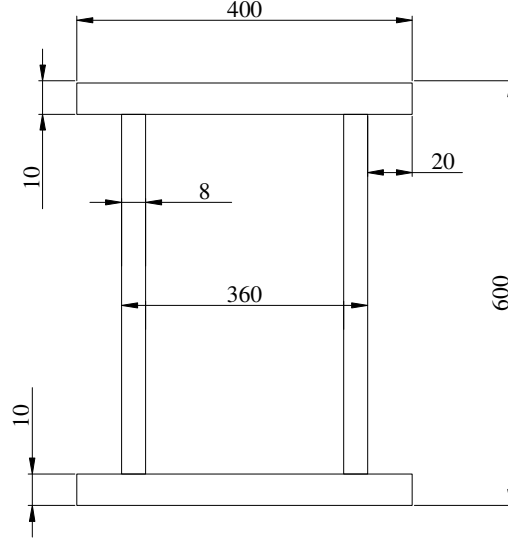
$$\widehat{M}_C^+ = G_{Yük} L_{CE} \varphi \psi + G_{Buz} L_{CD} \varphi = G_{Yük} (L_{AE} - L_{AC}) \varphi \psi + G_{Buz} (L_{AD} - L_{AC}) \varphi$$

$$\widehat{M}_C^+ = 10000 (12000 - 4801.59) 1.2 \times 1.15 + 3674.88 (5303.13 - 4801.59) 1.2$$

$$\widehat{M}_C^+ = 101549843.07N.mm$$

$$(\widehat{M}_B^+)_{ILK} = G_{Yük} L_{BE} \varphi \psi + G_{Buz} L_{BD} \varphi + G_{Bum} L_{BC} \varphi \\ = G_{Yük} (L_{AE} - L_{AB}) \varphi \psi + G_{Buz} (L_{AD} - L_{AB}) \varphi + G_{Bum} (L_{AC} - L_{AB}) \varphi \\ = 10000 (12000 - 1200) 1.2 \times 1.15 + 3674.88 (5303.13 - 1200) 1.2 \\ + 12989.33 (4801.59 - 1200) 1.2 = 223272808.16N.mm$$

$$(\widehat{M}_B^+)_{SON} = (\widehat{M}_B^+)_{ILK} - (F_{sil})_x (L_{AB})_z = 223272808.16 - 94903.24 \times 500 = 175821189.37N.mm$$



Şekil 6.11 Momentin en büyük değere ulaştığı kesitin ölçüleri

$$I_{üst} = \frac{400 \times 10^3}{12} + (400 \times 10) \left( \frac{580}{2} + \frac{10}{2} \right)^2 = 348133333 \text{ mm}^4$$

$$I_{alt} = \frac{400 \times 10^3}{12} + (400 \times 10) \left( \frac{580}{2} + \frac{10}{2} \right)^2 = 348133333 \text{ mm}^4$$

$$I_{yan} = \frac{8 \times 580^3}{12} = 130074667 \text{ mm}^4$$

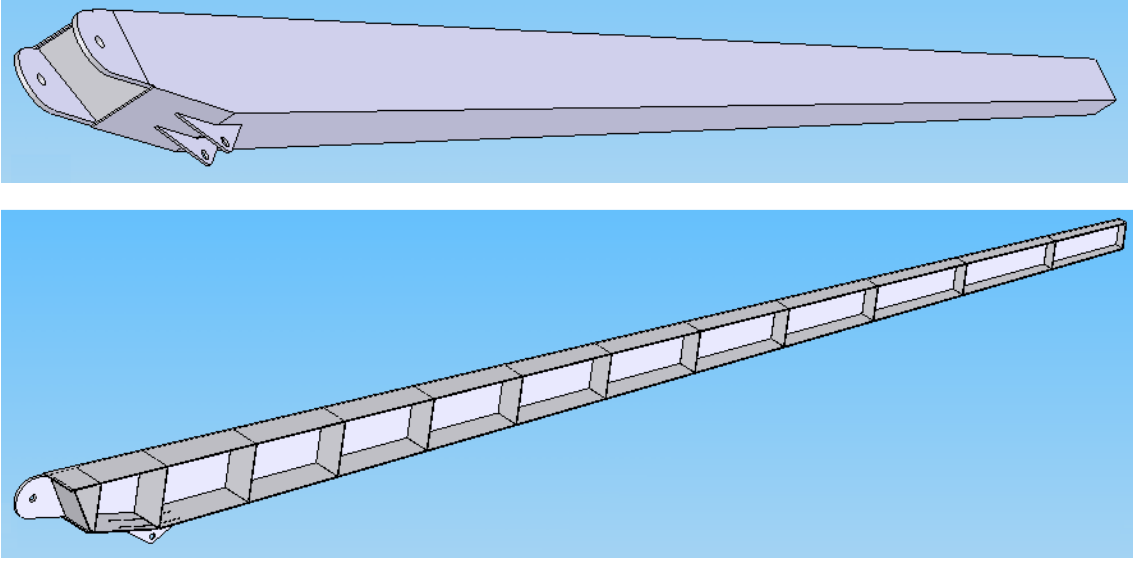
$$I_{TOP} = I_{üst} + I_{alt} + 2 I_{yan} = 2(348133333 + 130074667) = 956416000 \text{ mm}^4$$

$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = \frac{M_e}{I_{TOP}} e = \frac{223272808.16}{956416000} \left( \frac{600}{2} \right) = 70.03 \text{ N/mm}^2$$

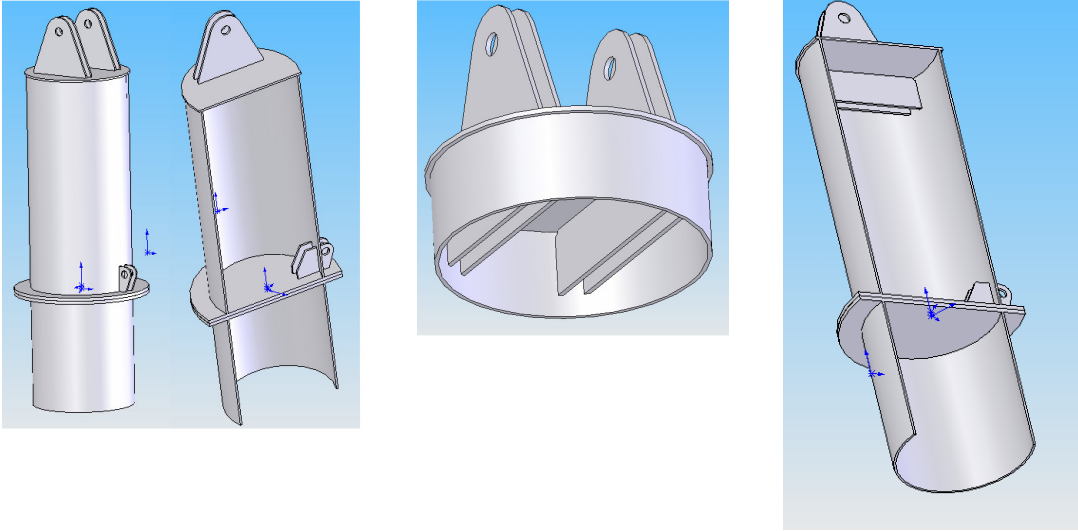
$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = 70.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S} = \frac{355}{1.33} = 266.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = 70.03 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{em} = 266.92 \text{ N/mm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Emniyetlidir.}$$



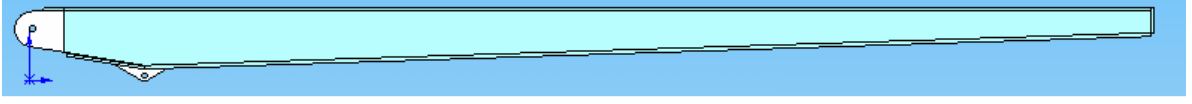
Şekil 6.12 Bumun konstrüksiyonuna ait resimler



Şekil 6.13 Krenin gövde konstrüksiyonuna ait resimleri

### 6.2.8 Rüzgar Etkisiyle Oluşan Normal Gerilmenin Hesaplanması

Buzlanma durumunda, rüzgar yükü, yapı elemanlarının buzlanma nedeniyle arttırılmış alanında dikkate alınacaktır.



Şekil 6.14 Bumun yüzeyinin 3 cm. kalınlığında buz tabakası ile kaplı hali

Bumun buzlu durumdaki yanal alanı =  $5993681.91 \text{ mm}^2 = 5.99 \text{ m}^2$

Yanal alan merkezi :

$$(L_{Rüzgar})_x = 5295.25 \text{ mm}$$

$$(L_{Rüzgar})_z = -28.68 \text{ mm}$$

Rüzgar yükü  $F_w = c \cdot q \cdot A$

$A$  : Rüzgarın etki ettiği alan [ $\text{mm}^2$ ]

$q$  : Dinamik basınç [ $\text{kN/mm}^2$ ]

$c$  : Form katsayısı

Dinamik basınç;

$q = 0.3 \text{ kN/m}^2$  (çalışma durumu için)

$q = 1.2 \text{ kN/m}^2$  (çalışmama durumu için)

$c$  form katsayısı;

- Çekme profiller ve kutu kirişler  $c = 1.6$

- Kapalı üst yapılarıdaki dikdörtgen alanlar,  
örneğin; makine gövdeleri  $c = 1.3$

- Dairesel kesit alanları  $c = 1.2$

Bum için form katsayısı  $c = 1.6$  alınmıştır.

$F_w = 1.6 \times 0.3 \times 5.99 = 2.88 \text{ kN}$  (Çalışma durumu için)

$F_w = 1.6 \times 1.2 \times 5.99 = 11.51 \text{ kN}$  (Çalışmama durumu için)

$$M_A = F_w (L_{Rüzgar})_x = 11510 \times 5295.25 = 60937244.30 \text{ Nmm} \quad (\text{Çalışmama durumunda})$$

Bumun üst gövdeye bağlantı yerlerinin merkezlerinin birbirinden uzaklığı 390mm'dir.

$$2 \cdot (F_A)_{x2} \cdot \frac{390}{2} = F_w (L_{Rüzgar})_x = 60937244.30 \Rightarrow (F_A)_{x2} = 156249.34 \text{ N} \quad (\text{Çalışmama durumunda})$$

$$M_A = F_w (L_{Rüzgar})_x = 2877 \times 5295.25 = 15234443.46 Nmm \quad (\text{Çalışma durumunda})$$

$$2(F_A)_{x2} \frac{390}{2} = F_w (L_{Rüzgar})_x = 15234443.46 Nmm \Rightarrow (F_A)_{x2} = 39062.68 N$$

(Çalışma durumunda)

$$(M_B) = F_w [(L_{Rüzgar})_x - (L_{AB})_x]$$

$$= 11510(5295.25 - 1200) = 47127764.30 N.mm$$

(Çalışmama durumunda)

$$(M_B) = F_w [(L_{Rüzgar})_x - (L_{AB})_x]$$

$$= 2877(5295.25 - 1200) = 11782043.46 Nmm$$

(Çalışma durumunda)

$$I_{üst} = \frac{10 \times 400^3}{12} = 53333333.33 mm^4$$

$$I_{yan} = \frac{580 \times 8^3}{12} + (580 \times 8) \left( \frac{400 - 2 \times 20 - 8}{2} \right)^2 = 143753386.7 mm^4$$

$$I_{TOP} = 2 (I_{yan} + I_{üst}) = 394173440 mm^4$$

$$(\sigma_e)_B = \frac{M_B}{I_{TOP}} e = \frac{47127764.30}{394173440} \left( \frac{400}{2} \right) = 23.91 N/mm^2 \quad (\text{Çalışmama durumunda})$$

$$[(\sigma_e)_B]_{xy} = \frac{M_B}{I_{TOP}} e = \frac{11782043.46}{394173440} \left( \frac{400}{2} \right) = 5.98 N/mm^2 \quad (\text{Çalışma durumunda})$$

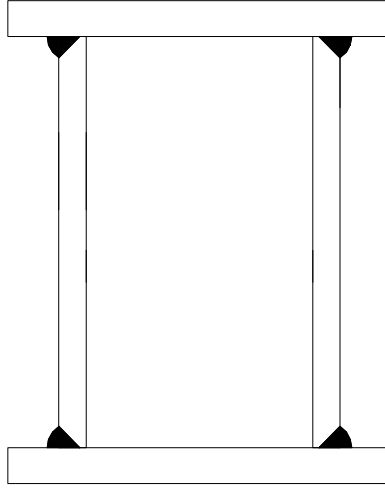
### 6.2.9 Bileşke Normal Gerilme

$$[\sigma_v]_B = [(\sigma_e)_B]_{yz} + [(\sigma_e)_B]_{xy} = 70.03 + 23.91 = 93.94 N/mm^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S} = \frac{355}{1.33} = 266.92 N/mm^2$$

$$[\sigma_v]_B = 93.94 N/mm^2 \leq \sigma_{em} = 266.92 N/mm^2 \Rightarrow \text{Emniyetlidir.}$$

### 6.2.10 Dinamik Kontrol



Şekil 6.15 Kren en kesitinin kaynakla birleştirilmesi

Şekilde görüldüğü gibi yapılan kaynakla birleştirmede K4 çentik hali mevcuttur.

$$(\sigma_D)_{em} = \frac{5(\sigma_D)_{(-1)}}{3 - \left(3 - \frac{5(\sigma_D)_{(-1)}}{0.75 \sigma_B}\right) \chi}$$

St 52 malzeme için ;

$$\sigma_B = 5200 \text{ daN/cm}^2$$

$$(\sigma_D)_{(-1)} = 1575 \text{ daN/cm}^2$$

$$\chi = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{G_{bum} (L_{AC} - L_{AB}) \varphi}{I_{TOP}} = \frac{12989.33 (4801.59 - 1200) 1.2}{956416000} = 0.06 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = [\sigma_v]_B = 93.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\chi = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{0.06}{93.94} = 6.39 \times 10^{-4}$$

$$(\sigma_D)_{em} = \frac{5 \times 1575}{3 - \left(3 - \frac{5 \times 1575}{0.75 \times 5200}\right) 6.39 \times 10^{-4}} = 2625.55 \text{ daN/cm}^2 = 262.56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = [\sigma_v]_B = 93.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = [\sigma_v]_B = 93.94 \text{ N/mm}^2 \leq (\sigma_D)_{em} = 262.56 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Emniyetlidir.}$$

### 6.2.11 Hidrolik Silindir Hesabı

Hidrolik silindire ait kuvvet bileşenleri sayfa 47’de bulunmuştu.

$$(F_{sil})_z = 180314.71N$$

$$(F_{sil})_x = 180314.71 \times 0.53 = 94903.24N$$

$$F_{sil} = 203763.85N$$

Silindir keçelerindeki sürtünmenin, itme kuvvetinin %20’si kadar olduğu varsayılmıştır.

$$(F_{sil})_{Gerçek} = F_{sil} \times 1.20 = 203763.85 \times 1.20 = 244516.62N$$

Silindire giren hidroliğin basıncını 220 bar olarak alalım.

$$220 \text{ bar} = 220 \times 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)} = 220 \times 10^5 \times 10^{-6} = 22 \text{ N/mm}^2$$

Test basıncı, sistem basıncının 1.5 katıdır.

$$P_{test} = 220 \times 1.5 = 330 \text{ bar} = 33 \text{ N/mm}^2$$

$$(F_{sil})_{Gerçek} = P \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4(F_{sil})_{Gerçek}}{P \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 244516.62}{22 \pi}} = 118.99mm$$

D = 120 mm alınmıştır.

Piston et kalınlığı:

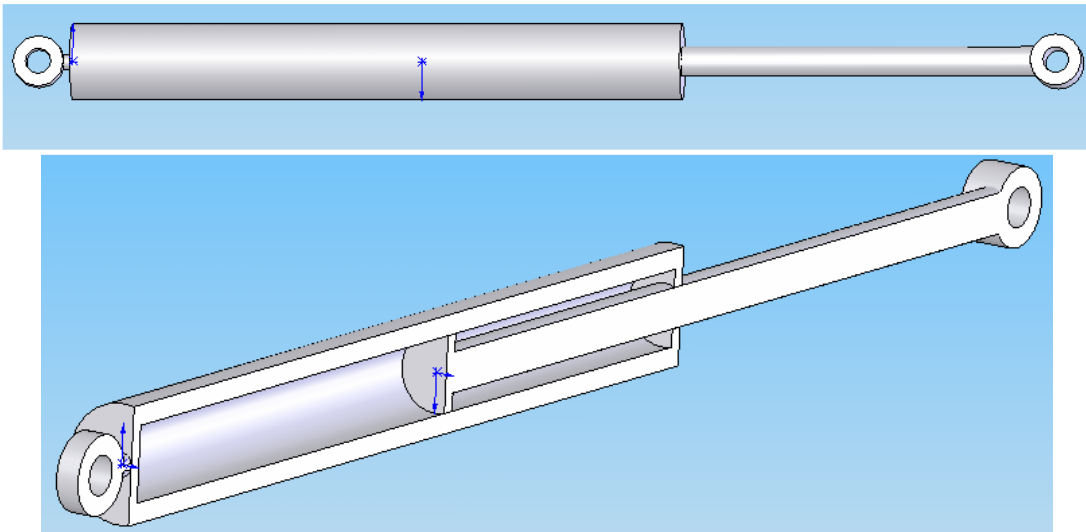
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{Akma}}{S} = \frac{355}{1.5} = 236.67 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{D}{2} \left[ \sqrt{\frac{\sigma_m + P_{Test}}{\sigma_m - P_{Test}}} - 1 \right] = \frac{120}{2} \left[ \sqrt{\frac{236.67 + 33}{236.67 - 33}} - 1 \right] = 9.04mm \quad e = 10 \text{ mm alınmıştır.}$$

Hidrolik silindir stroğu = 1380mm

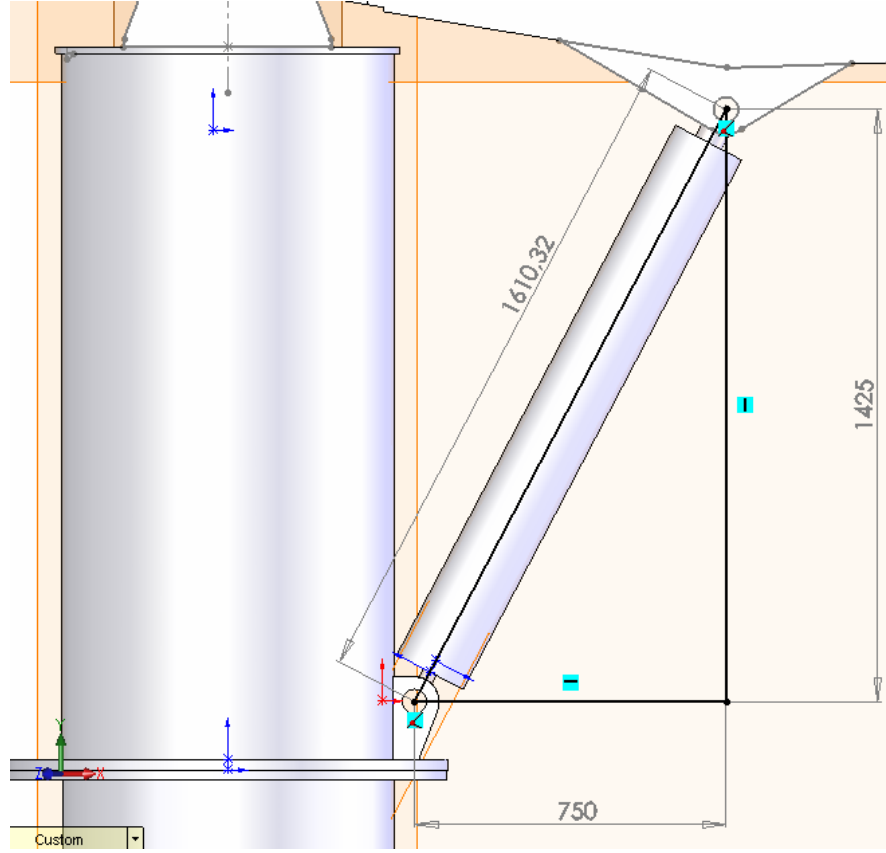
Silindir bu mesafeye 40 saniyede geliyor.

$$SilindirininHızı = \frac{1380}{40} = 34.5mm/s$$



Şekil 6.16 Hidrolik silindir – piston çiftinin üç boyutlu görünüşü

### 6.2.12 Piston Kolunun Burkulma Yüğü Hesabı



Şekil 6.17 Hidrolik silindirin bum yer düzlemine paralel durumdaki ölçüleri

$E = 210000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  elastisite modülü ( Çelik için )

$I = \frac{\pi d^4}{64} [\text{mm}^4]$  atalet momenti, dairesel kesit için

$F_{kr}$  = Kritik Burkulma Yüğü

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E I}{S_k^2} \quad F_{em} = \frac{F_{kr}}{S}$$

$S$  : emniyet katsayısı

$S = 2.5 \dots 3.5$

$S = 3$  alınmıştır.

$$S_k = \sqrt{750^2 + 1425^2} = 1610.32 \text{ mm}$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 E \frac{\pi d^4}{64}}{S_k^2} \Rightarrow d \geq \sqrt[4]{\frac{F_{em} S S_k^2 64}{\pi^3 E}}$$

$$F_{em} = (F_{sil})_{Gerçek} = 244516.62 \text{ N}$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{244516.62 \times 3 \times 1610.32^2 \times 64}{\pi^3 210000}} = 65.78 \text{ mm}$$

$d = 70 \text{ mm}$  alınmıştır.

Bum yere paralel durumdayken hidrolik silindirin tam kapalı boyu = 1610.32 mm

Bum, yer ile  $75^\circ$  açı yapar durumdayken hidrolik silindirin tam açık boyu = 2974.61 mm

Tam kapalı boy = 1600 mm

Tam açık boy = 2980 mm

Strok = Açık boy – Kapalı boy

Strok = 2980 – 1600 = 1380 mm

Ölü alanlar = 2 x Kapalı boy – Açık boy = 2 x 1600 – 2980 = 220 mm

Hidrolik silindirin tam kapalı boydan tam açık boya 40sn'de gelmesini istiyorsak;

$$\text{Silindir hacmi} = \text{Strok} \frac{\pi d_{iç}^2}{4} = 1380 \frac{\pi 120^2}{4} = 15599520 \text{ mm}^3$$

$$\text{Debi} = \frac{\text{Silindir hacmi} (\text{mm}^3)}{40 \text{ sn}} \frac{60 \text{ sn}}{1 \text{ dak}} \frac{10^{-6} (\text{lt})}{1 \text{ mm}^3} = 23.4 \text{ lt / dak}$$

$$N_{sil} (\text{kW}) = \frac{P(\text{bar}) \times Q(\text{lt / dak})}{540} = \frac{220(\text{bar}) \times 23.4(\text{lt / dak})}{540} = 9.53 \text{ kW}$$

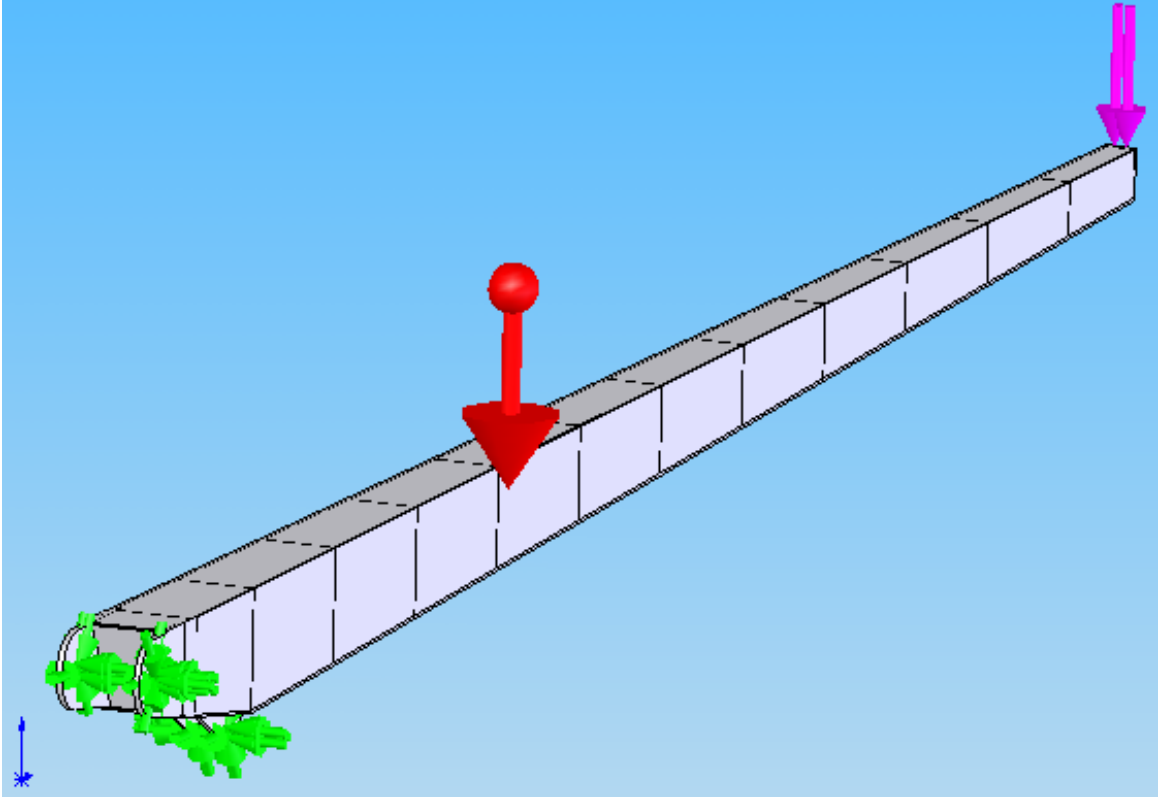
## 7. ANALİZLER ve SONUÇLARI

### 7.1 Cosmos ile Yapılan Analizler ve Sonuçları

#### 7.1.1 Cosmos ile Statik Analiz



Şekil 7.1 Kren bumunun yandan görünüşü

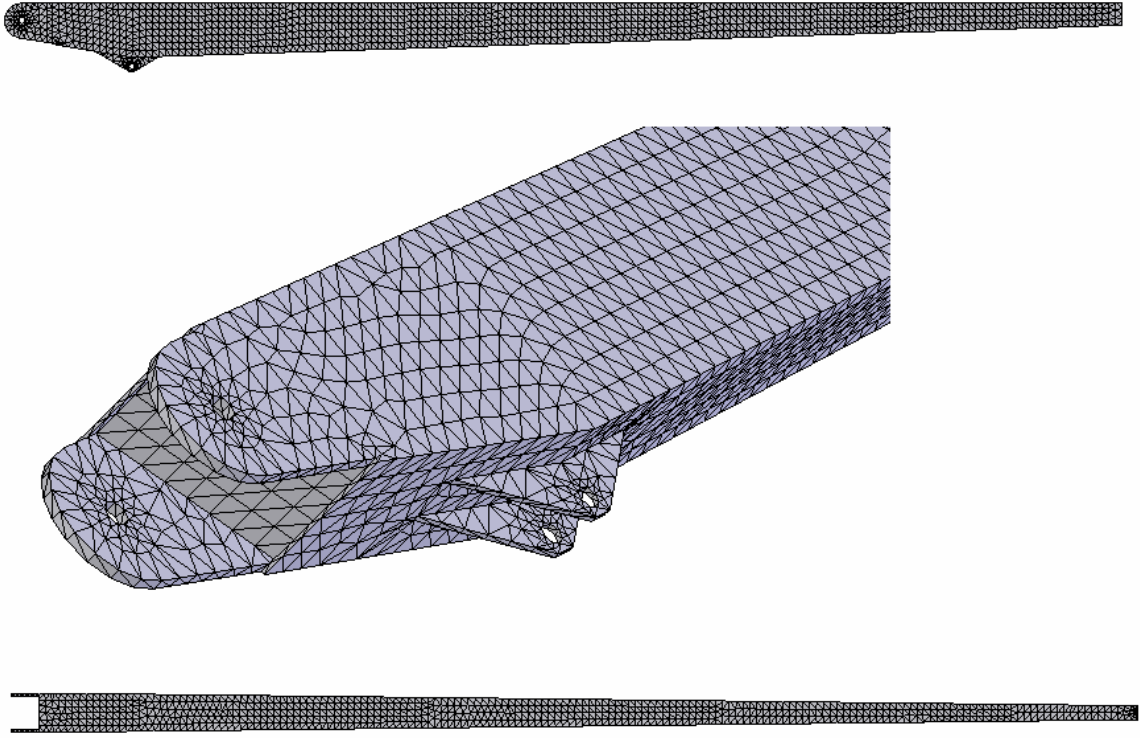


Şekil 7.2 Kren bumuna etki eden kuvvetler

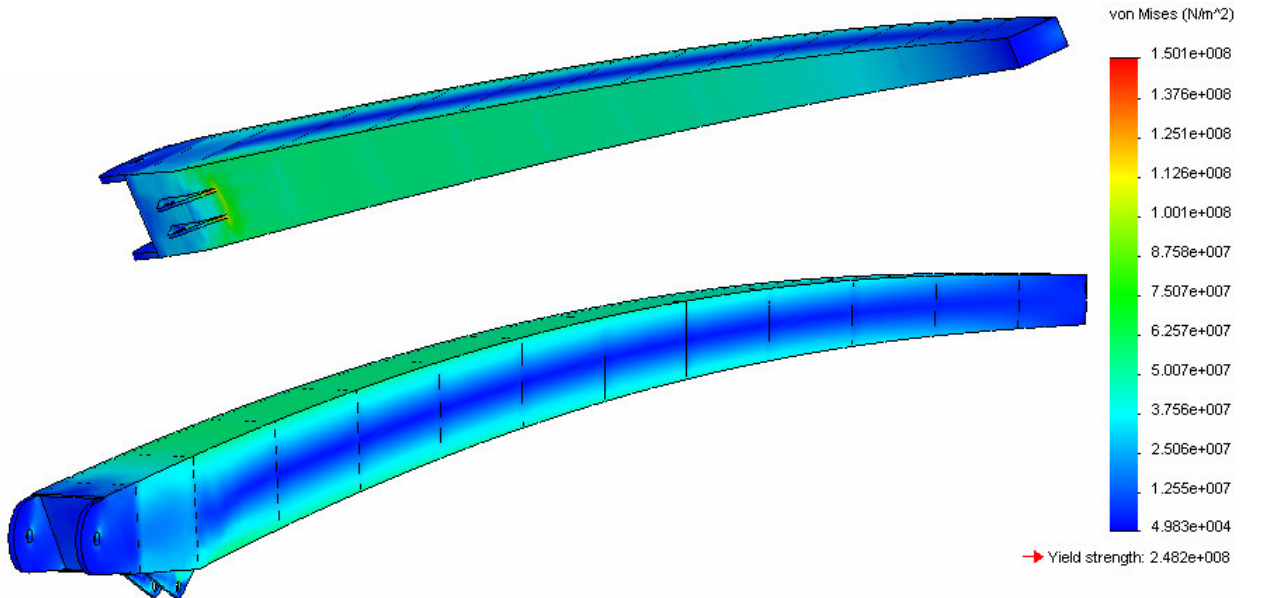
Şekil 7.1’de kren bumunun yandan görünüşü bulunmaktadır.

Şekil 7.2’de kren bumuna etki eden kuvvetler gösterilmiştir.

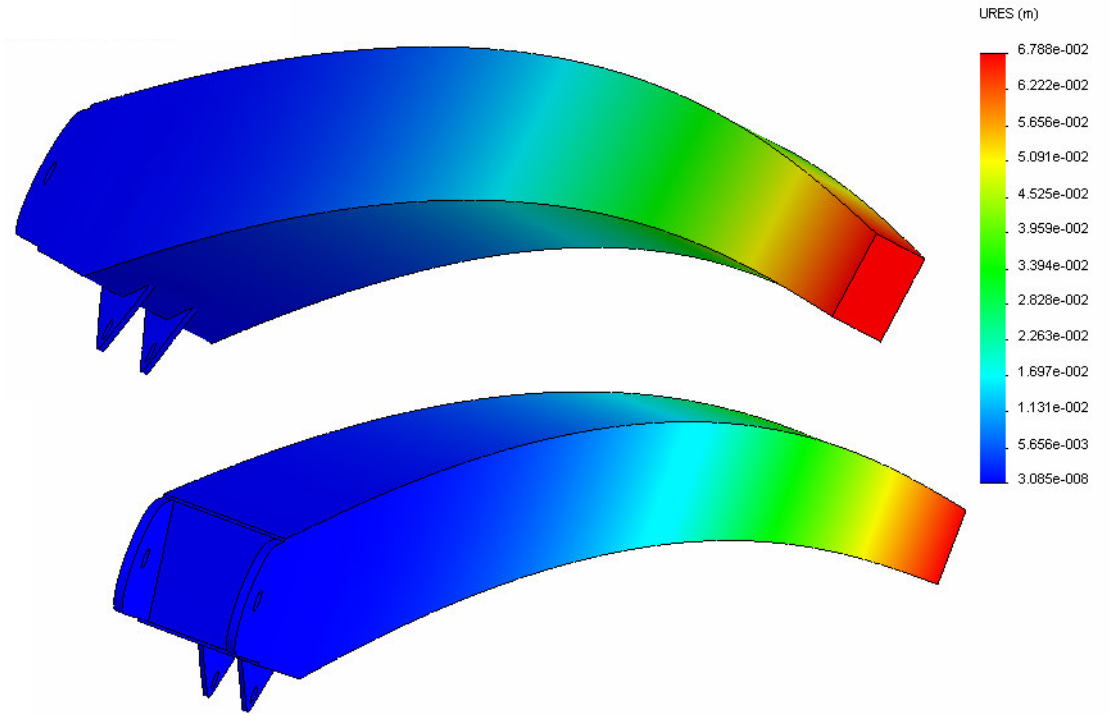
Gövdeye ve hidrolik silindire bağlantı noktalarında yataklama yapıldı, bumun uç noktasından 12500N’luk kuvvet etki ettirildi. Yer çekimi aktif hale getirildi.



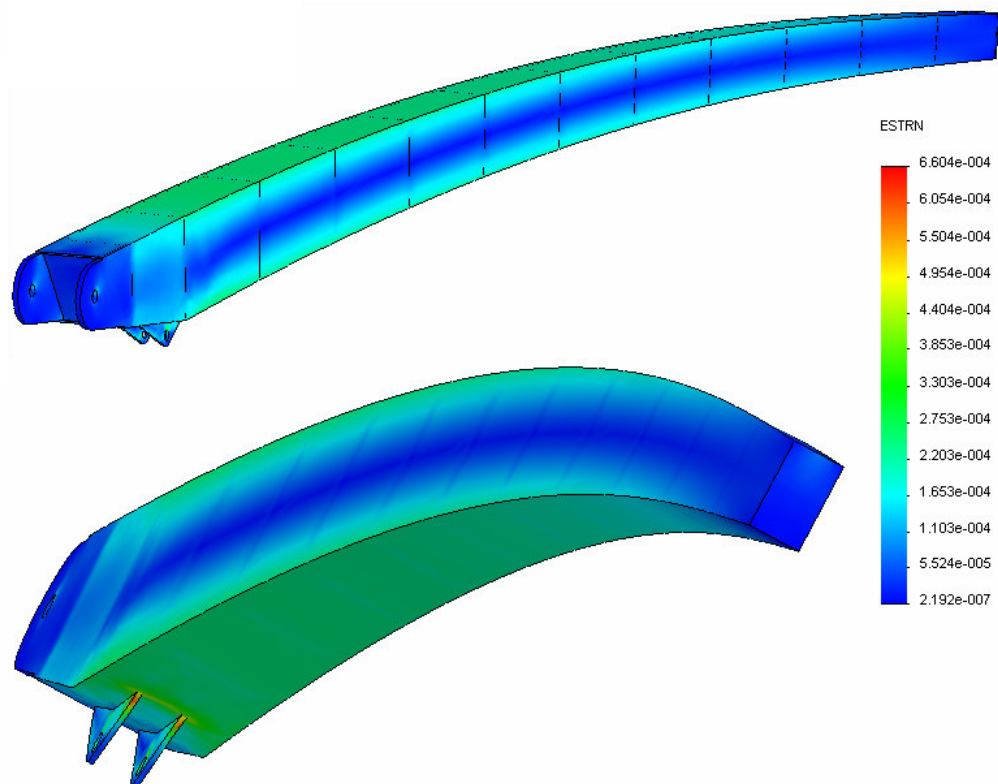
Şekil 7.3 Statik analiz aşaması için buma örülen ağ



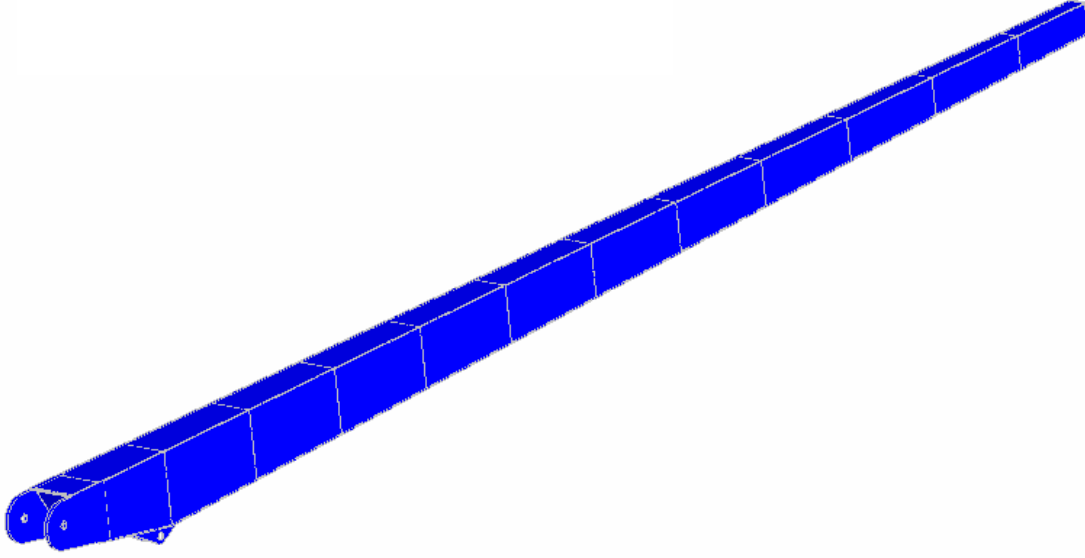
Şekil 7.4 Statik analiz sonucu bulunan eşdeğer gerilme değerleri



Şekil 7.5 Statik analiz sonucu bulunan deplasman değerleri



Şekil 7.6 Statik analiz sonucu bulunan gerinme değerleri



Şekil 7.7 Statik analiz sonucu bulunan kritik noktalar

Statik analiz sonucu bulunan dizayn kontrol kriterleri : Mevcut yükleme durumu için Emniyet katsayısının 1.5’den düşük olduğu noktaları gösteriyor. Fakat konstrüksiyon daha emniyetli olduğundan bu yükleme için herhangi bir kritik nokta görünmemekte.

Statik analiz sonucu elde edilen yukarıdaki şekillerin deformasyon ölçeği program tarafından 17.9714 olarak verilmiştir.

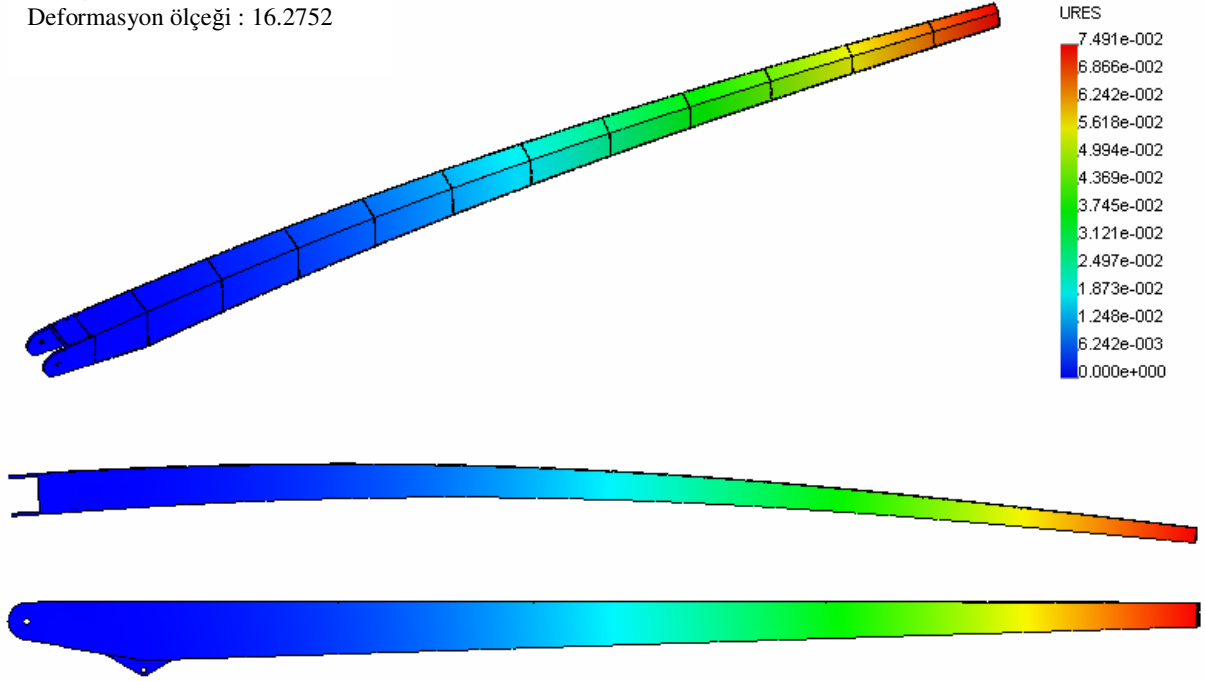
Tablo 7.1 Cosmos programında yapılan statik analiz sonucunda bulunan gerilme, deplasman ve gerinme değerlerinin maksimum ve minimum değerleri ve bu değerlerin bulunduğu yerler

| İsim      | Tip                          | Minimum                                | Minimum<br>değerin<br>bulunduğu yer        | Maksimum                                        | Maksimum<br>değerin<br>bulunduğu yer       |
|-----------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Gerilme   | Eşdeğer<br>Gerilme<br>Değeri | 49827.7 N/m <sup>2</sup><br>Node: 5102 | (4235 mm,<br>498.98 mm,<br>439.834 mm)     | 1.50097e+008<br>N/m <sup>2</sup><br>Node: 30465 | (1502.03 mm,<br>140.392 mm,<br>514.834 mm) |
| Deplasman | Sonuç<br>Deplasmanı          | 3.0849e-008 m<br>Node: 36249           | (41.0777 mm,<br>584.834 mm,<br>229.834 mm) | 0.067875 m<br>Node: 36174                       | (12035 mm,<br>750.366 mm,<br>439.832 mm)   |
| Gerinme   | Eşdeğer<br>Gerinme           | 2.19242e-007<br>Node: 5102             | (4235 mm,<br>498.98 mm,<br>439.834 mm)     | 0.000660427<br>Node: 30465                      | (1502.03 mm,<br>140.392 mm,<br>514.834 mm) |

### 7.1.2 Cosmos ile Dinamik Analiz

Mod şekli : 1

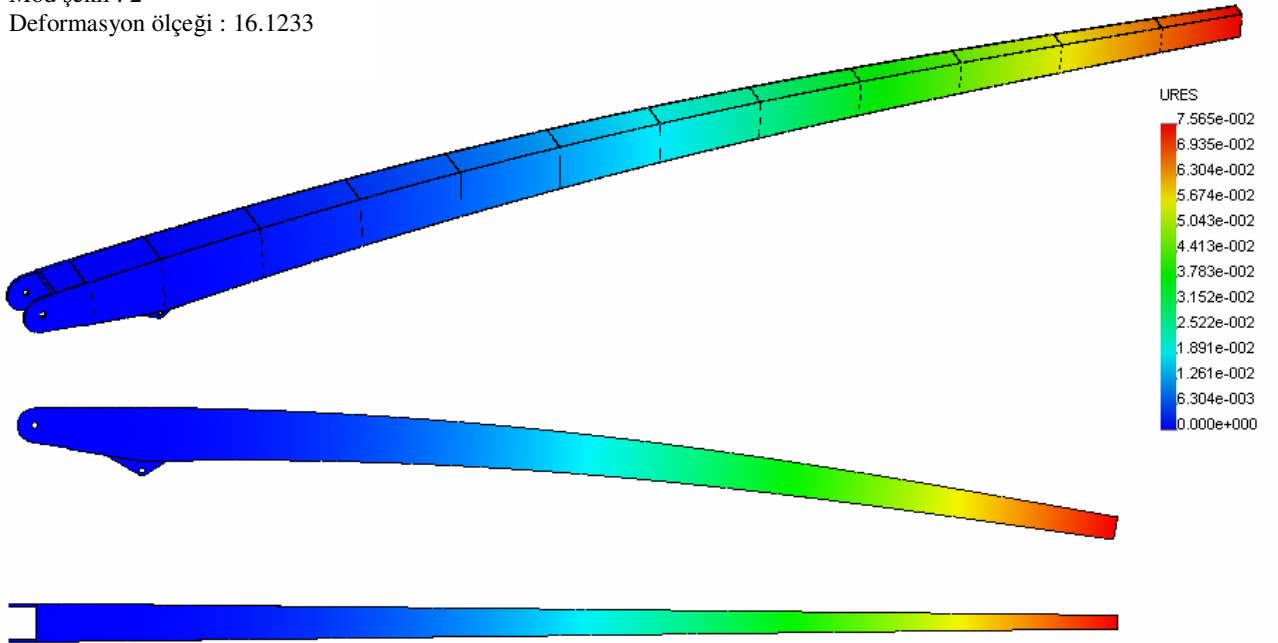
Deformasyon ölçeği : 16.2752



Şekil 7.8 Dinamik analiz sonucu oluşan 1. mod şekli

Mod şekli : 2

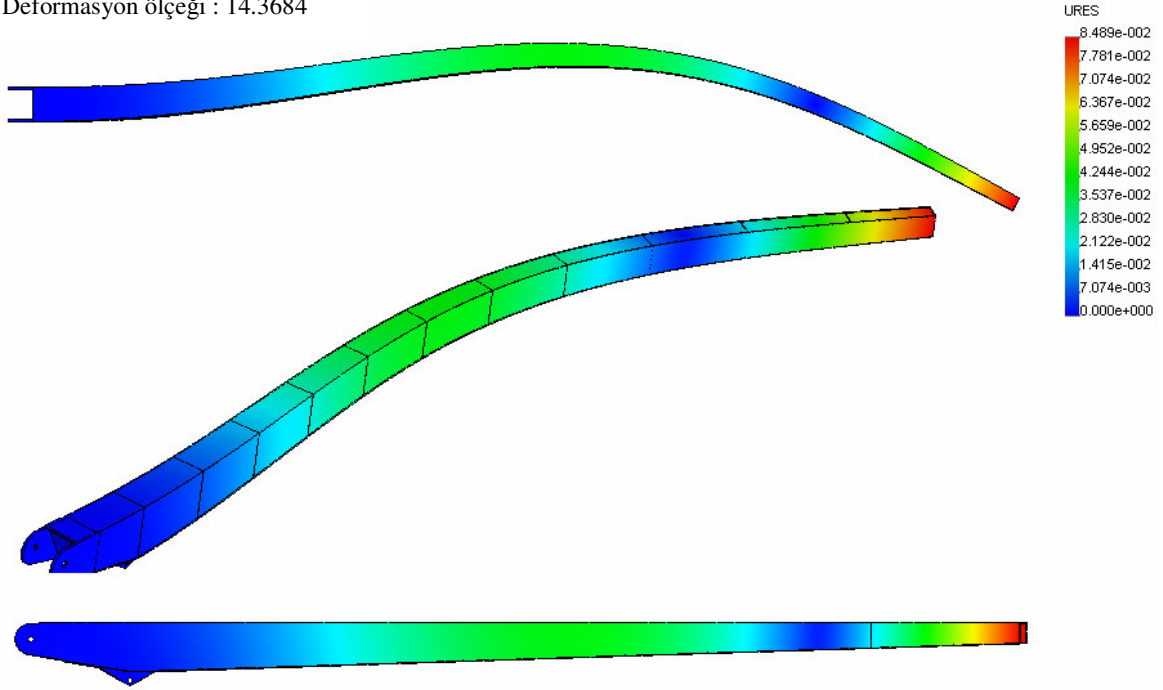
Deformasyon ölçeği : 16.1233



Şekil 7.9 Dinamik analiz sonucu oluşan 2. mod şekli

Mod şekli : 3

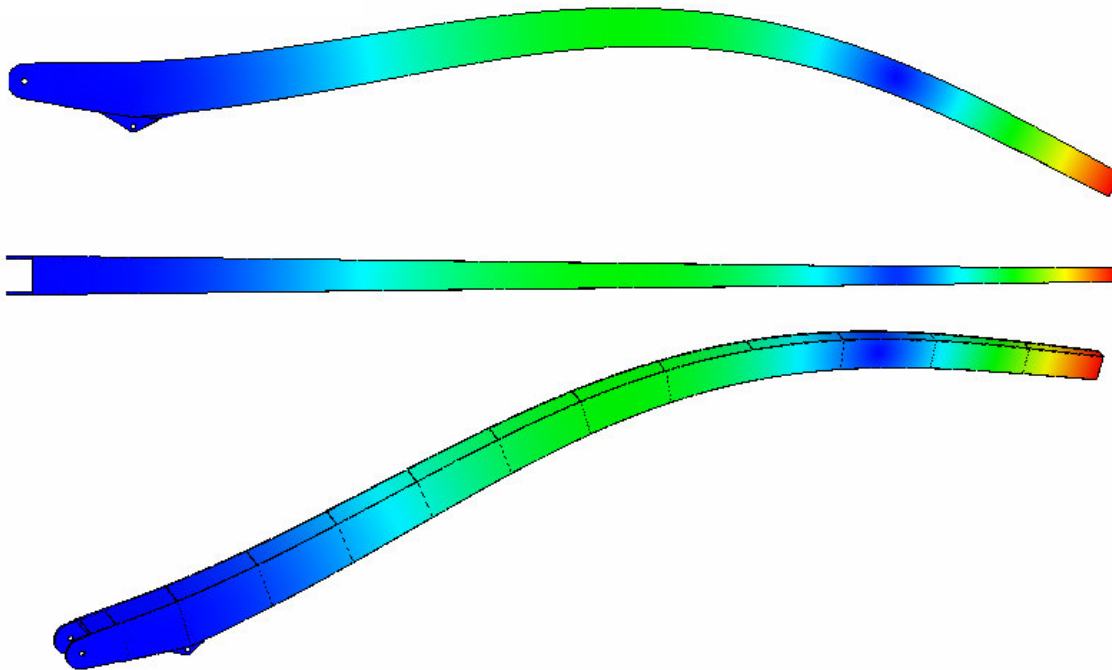
Deformasyon ölçeği : 14.3684



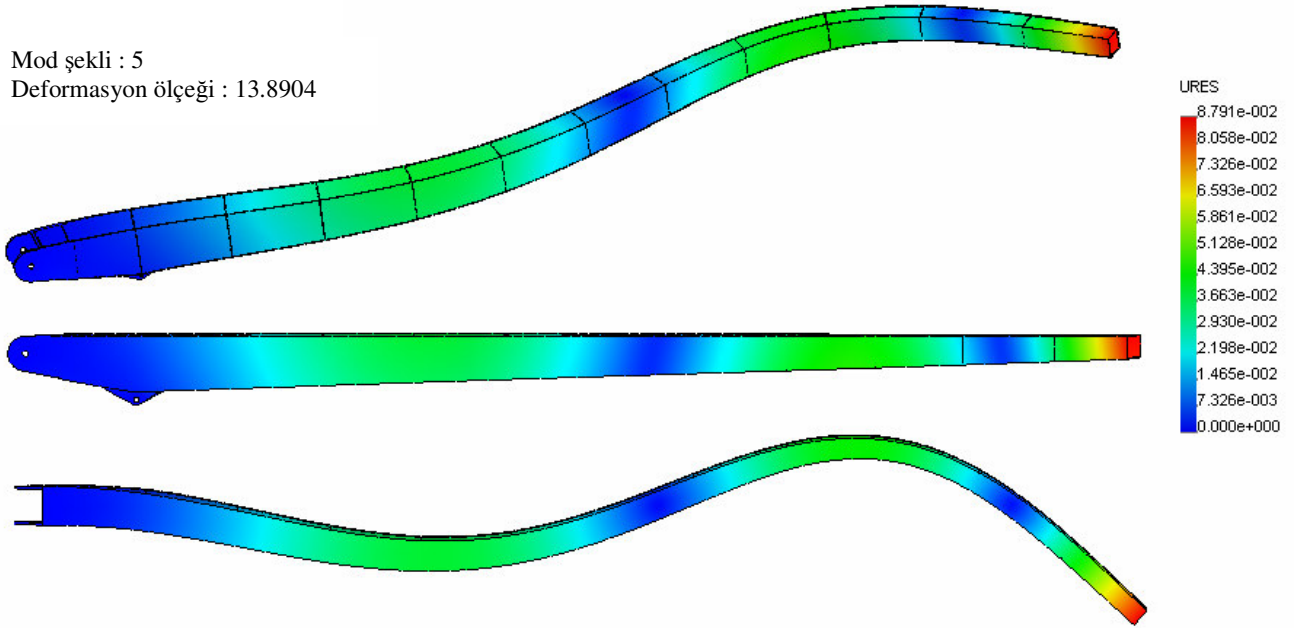
Şekil 7.10 Dinamik analiz sonucu oluşan 3. mod şekli

Mod şekli : 4

Deformasyon ölçeği : 14.4753



Şekil 7.11 Dinamik analiz sonucu oluşan 4. mod şekli



Şekil 7.12 Dinamik analiz sonucu oluşan 5. mod şekli

Tablo 7.2 Cosmos programında yapılan dinamik analiz sonucunda bulunan ilk 5 moda ait frekans değerleri

| Mode Listesi   |        |           |
|----------------|--------|-----------|
| Frekans Sayısı | Hertz  | Saniyeler |
| 1              | 3.945  | 0.25349   |
| 2              | 5.9608 | 0.16776   |
| 3              | 16.772 | 0.059622  |
| 4              | 25.575 | 0.039101  |
| 5              | 41.046 | 0.024363  |

### 7.1.3 Cosmos ile Yapılan Statik ve Dinamik Analizlerin Sonuçları

#### 7.1.3.1 Statik Analiz Sonuçları

Cosmos programıyla SolidWorks'te modellemiş olduğumuz bumun statik analizini bumun ucundan 12500 N'luk bir kuvvet etki ettirerek, yer çekimini etkinleştirip bumun kendi ağırlığını da analize katarak, bum üzerindeki gerilme, gerinme ve deformasyon değerlerine ulaşılmıştır. Analizde buz ağırlığı ve rüzgar kuvveti bulunmamaktadır.

Türk Loydu test yükü olarak kaldırma yükünün %25 fazlasının kaldırılabilmesini şart koşturmuştur. Bu yüzden yükün ağırlığı 12500 N alınarak analiz yapıldı.

Bumun hidrolik silindire bağlandığı kesitteki gerilme değerleri bumun üst kısmında, statik analiz sonucu  $60 N / mm^2$  'ye yakın bir değer olarak görülmektedir. Cosmos'daki analiz koşullarında (buz ağırlığı yok) noktasına gelen momenti bulalım.

$$\begin{aligned}
 \overbrace{(M_B)^+}_{ILK} &= G_{Yük} L_{BE} + G_{Bum} L_{BC} \\
 &= G_{Yük} (L_{AE} - L_{AB}) + G_{Bum} (L_{AC} - L_{AB}) \\
 &= 12500(12000 - 1200) + 12989.33(4801.59 - 1200) = 181782184.8 Nmm
 \end{aligned}$$

Gerilme değeri de;

$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = \frac{M_e}{I_{TOP}} e = \frac{181782184.8}{956416000} \left( \frac{600}{2} \right) = 57.02 N / mm^2 \text{ bulunur.}$$

Görüldüğü gibi Cosmos'da analizi yapılan modelle, mukavemet hesabını yapmış olduğumuz modelin 12500 N yük altında gerilme değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Bu kesitteki gerilme değeri (yük ağırlığı 12500 N iken) mukavemet hesaplarından aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
 \overbrace{(M_B)^+}_{ILK} &= G_{Yük} L_{BE} \varphi \psi + G_{Buz} L_{BD} \varphi + G_{Bum} L_{BC} \varphi \\
 &= G_{Yük} (L_{AE} - L_{AB}) \varphi \psi + G_{Buz} (L_{AD} - L_{AB}) \varphi + G_{Bum} (L_{AC} - L_{AB}) \varphi \\
 &= 12500(12000 - 1200) 1.2 \times 1.15 + 3674.88(5303.13 - 1200) 1.2 \\
 &+ 12989.33(4801.59 - 1200) 1.2 = 260532808.16 Nmm
 \end{aligned}$$

$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = \frac{M_e}{I_{TOP}} e = \frac{260532808.16}{956416000} \left( \frac{600}{2} \right) = 81.72 N / mm^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S} = \frac{355}{1.33} = 266.92 N / mm^2$$

$$[\sigma_v]_B = \left[ \left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} \right]_{Bil} + \left[ (\sigma_e)_B \right]_{xy} = 81.72 + 23.91 = 105.63 \text{ N/mm}^2$$

$$\left[ \left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} \right]_{Bil} = 105.63 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{em} = 266.92 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Emniyetlidir.}$$

Yukarıda  $105.63 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunan gerilme değeri, buz kütlelerini ve rüzgar yükünü içermektedir. Tasarımın emniyetli olduğunu kanıtlamıştır.

Elle yapılan hesapların, bilgisayarda paket programlar yardımıyla yapılan analizlerle yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Cosmos'da yapılan analiz sonucu çıkartmış olduğumuz şekillerden, diğer kesitlerdeki gerilmeler, gerinimler ve deformasyonlar hakkında da bilgi edinmemiz mümkündür. Fakat deformasyonlarla ilgili olan Şekil 7.5'e baktığımızda bum ucundaki çökmenin  $6.788 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 6.788 \text{ cm}$  olduğunu görmekteyiz. Cosmos programının bu modülü lineer analiz yapmaktadır. Büyük deplasman yapan sistemlerde sonlu elemanlar yönteminde lineer analiz hatalı sonuçlar verebilir. Bu tip sistemler için sonlu elemanlar yöntemine non-lineer analiz yapan programlar kullanılmalıdır.

#### 7.1.3.2 Dinamik Analiz Sonuçları

Dinamik analizin incelenmesi için çeşitli yöntemler vardır; bunlar aşağıda verilmiştir.

- Titreşim analizi
- Sürekli ortamda kinematik analiz
- Modal analiz

Cosmos programında yukarıda belirtilen dinamik analiz yöntemlerinden modal analiz kullanılmıştır.

Analiz bum ucunda asılı bir yük yokken yapılmıştır.

Sonuç olarak buma ait ilk 5 mod şekli ve frekansı bulunmuştur.

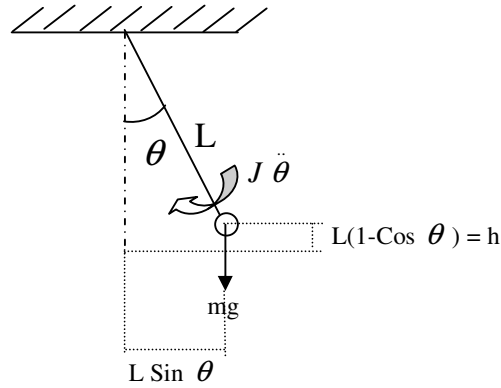
| Mod Listesi    |        |           |
|----------------|--------|-----------|
| Frekans Sayısı | Hertz  | Saniyeler |
| 1              | 3.945  | 0.25349   |
| 2              | 5.9608 | 0.16776   |
| 3              | 16.772 | 0.059622  |
| 4              | 25.575 | 0.039101  |
| 5              | 41.046 | 0.024363  |

Yukarıdaki tabloda buma ait ilk 5 mod şeklinin frekansları ve periyodları bulunmaktadır. Eğer buma dışarıdan bir etki geliyorsa ve bu etkinin frekansı bumun mod frekanslarından biriyle çakışırsa, bum hangi mod şeklinin frekansına denk gelmişse ona ait resimdeki gibi salınımlar yapmaya başlar.

1., 3. ve 5. modlarda bum, yer düzlemine paralel düzlem içerisinde sağa ve sola doğru, 2. ve 4. modlarda yer düzlemine dik düzlem içerisinde düşey yönde salınımlar yapar. Bu salınımları yapabilmesi için örnek olarak rüzgarın frekansının, gemide bulunan ana makine, jeneratör gibi makinelerin frekansının, hatta bum ucunda sarkık duran ağırlığın salınım hareketinin frekansının kren bumunun kritik frekanslarından birisiyle çakışması durumunda bum rezonansa girecektir; yani bumdaki salınımların genlikleri gittikçe artacaktır. Eğer sistemimizde sönüm yoksa yada yetersizse bu salınımlar bumun ciddi bir şekilde zarar görmesine neden olur.

#### 7.1.3.2.1 Yük Salınımının Kren Bumuna Etkisi

Aşağıda krenin ucunda serbest salınım yapan yükün kren bumuna rezonans yönünden etkisine bakılmıştır.



Şekil 7.13 Bum ucundan sarkan halat – yük ikilisinin sarkaç hareketine benzetimi

Bum ucundaki halat uzunluğu “L”, yükün kütlesi de “m” olarak şekilde yer almaktadır.

$$J = J_0 + mL^2$$

$J_0$  : m kütlesinin kendi ağırlık merkezine göre kütleli atalet momenti

Eğer, m kütlesinin büyüklüğü L sarkaç boyundan çok küçükse o zaman;

$$J_0 \ll mL^2$$

$J_0$  ihmal edilebilir. Bu durumda;  $J \cong mL^2$

Sarkaç kolu da kütleli kabul edilirse;

D'Alembert metoduna göre ;  $\sum M = J\ddot{\theta}$

$$J\ddot{\theta} = -mgL \sin \theta$$

$$J\ddot{\theta} + mgL \sin \theta = 0$$

$$mL^2 \ddot{\theta} + mgL \sin \theta = 0$$

$\theta$  açısının küçük değerleri için  $\sin \theta \cong \theta$  yazılabilir.

$$mL^2 \ddot{\theta} + mgL\theta = 0$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \theta = 0$$

Sarkacın doğal frekans değeri  $\omega_n = \sqrt{\frac{g}{L}}$  (rd/s) olarak bulunur.

Görüldüğü gibi sarkacın doğal frekans ifadesi sarkacın boyuna ve yerçekimi ivmesine bağlıdır.

$$f(\text{hertz}) = \frac{\omega_n}{2\pi}$$

$$f(\text{hertz}) = \frac{\sqrt{\frac{g}{L}}}{2\pi} \Rightarrow L = \frac{g}{(2\pi f)^2} \text{ bulunur.}$$

Sarkacın hareketinin kren bumunu rezonansa sokabilmesi için sarkacın frekansının kren bumunun kritik frekanslarından birisiyle çakışması gerekir.

Kren bumu için saptanmış olan 5 adet kritik frekans değeri Tablo 7.2’de yer almaktadır.

| Mod Listesi    |        |           |
|----------------|--------|-----------|
| Frekans Sayısı | Hertz  | Saniyeler |
| 1              | 3.945  | 0.25349   |
| 2              | 5.9608 | 0.16776   |
| 3              | 16.772 | 0.059622  |
| 4              | 25.575 | 0.039101  |
| 5              | 41.046 | 0.024363  |

Buna göre bumu rezonansa sokacak 5 adet halat uzunluğu bulunmaktadır. Bunlar;

$$L_1 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 3.945)^2} = 0.016 \text{ m} = 1.6 \text{ cm}$$

$$L_2 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 5.9608)^2} = 0.007 \text{ m} = 0.7 \text{ cm}$$

$$L_3 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 16.772)^2} = 0.0009 \text{ m} = 0.09 \text{ cm}$$

$$L_4 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 25.575)^2} = 0.0004 \text{ m} = 0.04 \text{ cm}$$

$$L_5 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 41.046)^2} = 0.0002 \text{ m} = 0.02 \text{ cm}$$

olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki hesap sonucunda da görüldüğü, kren bumunu rezonansa sokabilecek en büyük halat uzunluğu  $L_1 = 1.6$  cm bulunmuştur.  $L_1$ 'den daha uzun halat boyları için kren bumunun rezonansa girme ihtimali bulunmamaktadır.

Rezonans ile çakışmasa bile sistemin istenmeyen salınımlar yapmasını sağlayacak bir frekans aralığı bulunmaktadır.

Bu aralık sistemi rezonansa sokan frekansın 0.8 katı ile 1.25 katı arasındadır.

Bunu da dikkate alarak  $L_1$  boyu tekrar tayin edilirse;

$$L_1 = \frac{g}{(2\pi f)^2} = \frac{9.81}{(2\pi \times 3.945 \times 1.25)^2} = 0.02 \text{ m} = 2 \text{ cm} \text{ bulunur.}$$

Uygulamada da hiçbir zaman yük, kren bumuna 2 cm kadar yaklaştırılmaz. Yük, her zaman buma 2 cm'den daha büyük bir uzaklıkta taşınır.

Eğer  $L_1$  değeri 1m gibi bir değer çıksaydı, önlem olarak bir sensör yardımıyla, yükün bu uzunluğa kadar çekilmemesi sağlanarak rezonans durumundan kaçınılabilirdi.

#### 7.1.3.2.2 Kren Üzerinde veya Etrafında Çalışan Makinelerin Kren Bumuna Etkisi

Kren bumunu rezonansa sokabilecek diğer etmenler ise kren etrafında yada üstünde çalışan makinelerin çalışma frekanslarıdır. Bu frekanslar krenin doğal frekanslarıyla çakışırsa yada krene ait doğal frekans değerlerinin 0.8 katı ile 1.25 katı arasındaki frekanslarda çalışırlarsa, kren bumunda istenmeyen salınımlar görülür.

Tablo 7.2'de bulunan frekans değerlerine karşılık gelen devir sayılarını bulalım.

$$f(\text{hertz}) = \frac{\omega_n}{2\pi}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$f(\text{hertz}) = \frac{\frac{2\pi n}{60}}{2\pi} = \frac{n}{60} \Rightarrow n(d/d) = 60 f$$

$$n_1 = 60 f_1 = 60 \times 3.945 = 236.7(d/d)$$

$$n_2 = 60 f_2 = 60 \times 5.9608 = 357.7(d/d)$$

$$n_3 = 60 f_3 = 60 \times 16.772 = 1006.3(d/d)$$

$$n_4 = 60 f_4 = 60 \times 25.575 = 1534.5(d/d)$$

$$n_5 = 60 f_5 = 60 \times 41.046 = 2462.76(d/d)$$

Kren bumunu istenmeyen salınımlara sokacak yukarıdaki devir sayılarının 0.8 ve 1.25 katları aşağıdaki tabloya yazılmıştır.

Tablo 7.3 Rezonans devirleri ve rezonans devir aralıkları

|               | Rezonans Devri | Rezonans Devir Aralığı |
|---------------|----------------|------------------------|
| $n_1$ (d/dak) | 236.7          | 189.36                 |
|               |                | 295.88                 |
| $n_2$ (d/dak) | 357.7          | 286.16                 |
|               |                | 447.13                 |
| $n_3$ (d/dak) | 1006.3         | 805.04                 |
|               |                | 1257.88                |
| $n_4$ (d/dak) | 1534.5         | 1227.60                |
|               |                | 1918.13                |
| $n_5$ (d/dak) | 2462.8         | 1970.21                |
|               |                | 3078.45                |

Yukarıdaki tabloyu daha düzenli bir hale getirirsek emniyetli ve emniyetsiz çalışma aralıkları aşağıdaki tablodaki gibi yazılabilir.

Tablo 7.4 Emniyetli ve emniyetsiz devir aralıkları

|            | Devir Sayısı (d/dak) |
|------------|----------------------|
| Emniyetli  | 0                    |
|            | 189.36               |
| Emniyetsiz | 189.36               |
|            | 447.13               |
| Emniyetli  | 447.13               |
|            | 805.04               |
| Emniyetsiz | 805.04               |
|            | 1918.13              |
| Emniyetli  | 1918.13              |
|            | 1970.21              |
| Emniyetsiz | 1970.21              |
|            | 3078.45              |
| Emniyetli  | 3078.45              |
|            | Sonsuz               |

### 7.1.3.2.2.1 Dengeleme (Balans)

#### 7.1.3.2.2.1.1 Giriş

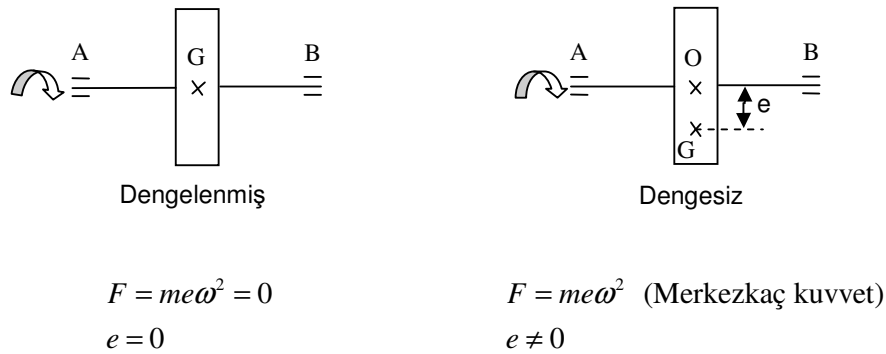
Makine ve mekanik sistemlerde, dengelenmemiş kütle ve kuvvetlerden kaynaklanan titreşim doğurucu kuvvetleri dengelemek suretiyle titreşimlerin oluşumu belli bir ölçüde önlenabilir. Dengeleme kavramı, üç ana grupta toplanabilir.

- a) Düzgün çevrimli (harmonik) sistemlerin dengelenmesi  
Bu sistemlerde çevrim oranı (i) sabittir. Örneğin; rotorların dengelenmesi
- b) Periyodik çevrimli sistemlerin dengelenmesi  
Bu sistemlerde çevrim oranı (i) sabit değildir. Örneğin; krank-biyel mekanizmalarının dengelenmesi
- c) Güç dengelenmesi  
Güç iletilen sistemlerde enerji kaybını ve hız düzensizliğini önlemek için kullanılan sistemlerdeki dengelemelerdir. Örneğin; volanların güç dengelenmesi

#### 7.1.3.2.2.1.2 Kütle Dengelemesi

Kren bumuna gelen tehlikeli titreşimler kren üzerindeki yada gemi üzerindeki makinelerin balanssızlıklarından ileri geliyorsa bu makinelere balanssızlıklarını gidermek üzere karşı ağırlıklar konulmasıyla tahrik şiddetleri azaltılabilir.

Makine mühendisliğinde dönen bütün makine elemanlarına rotor denilmektedir. Bütün bu elemanların dönme eksenini ile ağırlık merkezinden geçen eksenin çakışması gerekir. Aksi takdirde dönme hızları arttıkça kütle atalet kuvvetleri (merkezkaç kuvvetler, santrifüj kuvvetler) ve bunların meydana getireceği eğilme momentleri ve dönme momentleri konstrüksiyon için büyük problem meydana getirirler. Bundan dolayı rotorların dönme ekseniniyle ağırlık merkezinden geçen eksenin çakışmasını sağlayabilmek için kütle atalet kuvvetlerinin dengelenmesinin (kütle dengelenmesinin) yapılması gerekmektedir.



Şekil 7.14 Dengelenmiş ve dengelenmemiş 2 kütle

Bir dengeleme sisteminde mil veya esas hareket eden parça tamamıyla rijit kabul edilerek balans (dengeleme) hesapları yapılır. Bu hesaplamalar statik ve dinamik dengeleme olarak iki kısımda yapılır. Bütün sistemlerin ideal (tam) dengelemesinin yapılması esastır. Bu da dinamik dengelemede, sistemdeki kuvvetlerin ve momentlerin toplamını sıfır ( $\sum F = 0$  ve  $\sum M = 0$ ) yapılmasıyla mümkündür. Böylece, dinamik yatak kuvvetleri sıfır [ $(A_{Bil})_{din} = 0$ ,  $(B_{Bil})_{din} = 0$ ] bulunarak ideal dengeleme gerçekleştirilmiş olur.

### 7.1.3.2.2.1.3 Krank-Biyel Mekanizmalarının Dengelemesi

Krank-biyel mekanizmalarında gerek gaz kuvvetleri gerekse gidip-gelen dönen parçalar, sistem üzerinde dengelenmemiş kütle ve kuvvetleri doğuracaktır. Krank-biyel mekanizmalarında gaz kuvvetleri, aktif kuvvetleri oluştururken dönen ve ötelenen (gidip-gelen) kütlelerdeki dengesizlikler ise atalet kuvvetlerini oluştururlar. Krank-biyel mekanizmalarının dengelenebilmesi için ana yataklara intikal eden atalet kuvvetlerinin sıfır veya sıfıra yakın bir değer olması gerekmektedir. Bunun için kinematik analiz (hareket analizi) yapılarak hız ve ivme değerleri bulunur. Sonra dinamik analiz için (yani kütle atalet kuvvetleri, dengeleme büyüklükleri, yatak kuvvetleri, kritik frekanslar vs.) hesaplanır. Kütle atalet kuvvetleri bulunarak, bunların dengelemesi yapılır.

### 7.1.3.2.2.1.4 Güç Dengelemesi - Volanlar

Özellikle pres, giyotin ve şahmerdan gibi iş makinelerinde, kısa zaman sürelerinde yüksek enerji harcamasının olduğu durumlarda, hem enerji kaybını önlemek hem de sistemdeki düzgün olmayan yükte çalışma durumundan kaynaklanan hız düzensizliği yada burulma titreşimlerini önlemek için büyük kütleli döner elemanlar kullanılmaktadır. Bunlara volan adı verilir.

Yukarıda da belirtildiği üzere volanın makineye iki önemli faydası vardır. Örneğin; her 10 dakikada 5 saniyeliğine kullanacağımız 100 tonluk bir baskı kuvvetini sağlamak için 100 kw'ın üzerinde bir elektrik motoruna ihtiyaç olacaktır. Bu motorun devamlı çalışması yada her 10 dakikada 5 saniyeliğine çalışıp durması gerekmektedir. Öte yandan bu işlemin daha sık tekrarlanması durumunda problem daha da çıkmaz hal alır. Yani, enerji kaybı yine büyük bir problem olarak kalmaktadır. Yine, makine milindeki burulma titreşimleri milin erken yorulmasına neden olacaktır. Ayrıca gürültü ve titreşimler, bunların yanı sıra gerek iş gören makine ve gerekse çevresindeki makineler üzerinde iş güvenliği ve hassasiyeti bozucu etkiler oluşturacaktır. O halde volanlar,

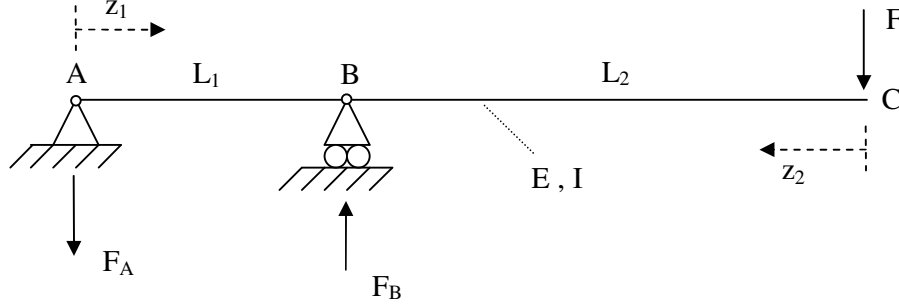
- a) Enerji tasarrufu
- b) Düzgün ve titreşimsiz bir çalışma

için kullanılır.

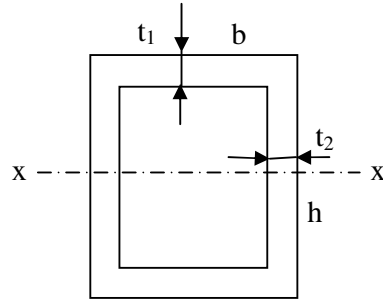
Volan, büyük kütleli ve yarıçaplı disk şeklinde bir makine elemanı olup döner eleman olan millere kumandalı bir kama ile monte edilmiştir. Volan, hareketini bir elektrik motorundan alır. Belirli bir hıza yani kinetik enerjiye ulaştıktan sonra kumandalı kama ile volandaki hareket enerjisi mil, dolayısıyla basma veya kesmeye dönüştürülmüş olur. Haliyle basma ve kesme işleminden sonra volanın hızı yavaşlamış olacaktır. Ancak, volan mil üzerinde serbest döneceğinden elektrik motoru ile volanın hızı kısa zamanda yine arttırılmış olacaktır. Dolayısıyla kesme ve basma işleminden gerekli olan yüksek güç, düşük değerdeki elektrik motorunun volanda biriktirdiği yüksek kinetik enerjisinden sağlanmış olmaktadır. Ancak, enerji israfı minimuma indirilmiş olacaktır. Öte yandan, kesme-basma ve dövme halindeki titreşimler, volan tarafından yutulmuş olacaktır.

### 7.1.3.2.3 Kren Bumunun Doğal Frekanslarını Değiştirmenin Yolları

Castigliano yöntemi kullanılarak kren bumuna ait yay sabitinin hesaplanması aşağıda görülmektedir.



Şekil 7.15 Kren bumunun Castigliano yöntemi için modeli



$$I_{x-x} = \frac{b h^3}{12} - \frac{(b - 2t_2)(h - 2t_1)^3}{12}$$

Şekil 7.16 Kren bum kesitine ait boyutlar ve x-x eksenine göre atalet momenti

$$EIV_C = \int_0^{L_1} Me_1 \frac{\partial Me_1}{\partial F} dz_1 + \int_0^{L_2} Me_2 \frac{\partial Me_2}{\partial F} dz_2$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow F_A L_1 - F L_2 = 0$$

$$F_A = \frac{F L_2}{L_1}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_A + F - F_B = 0$$

$$F_B = F \left( \frac{L_1 + L_2}{L_1} \right)$$

$$Me_1 = -F_A z_1 = -\frac{FL_2}{L_1} z_1 ; \quad \frac{\partial Me_1}{\partial F} = -\frac{L_2}{L_1} z_1$$

$$Me_2 = -F z_2 ; \quad \frac{\partial Me_2}{\partial F} = -z_2$$

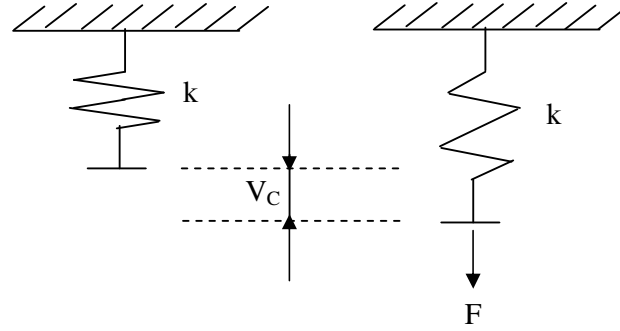
$$EIV_C = \int_0^{L_1} (-F_A z_1) \left( -\frac{L_2}{L_1} z_1 \right) dz_1 + \int_0^{L_2} (-F z_2) (-z_2) dz_2$$

$$EIV_C = \left( F \frac{L_2^2}{L_1^2} \frac{z_1^3}{3} \right) \Big|_0^{L_1} + \left( F \frac{z_2^3}{3} \right) \Big|_0^{L_2}$$

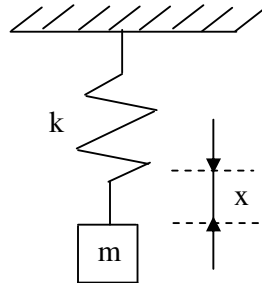
$$EIV_C = F \frac{L_2^2}{L_1^2} \frac{L_1^3}{3} + F \frac{L_2^3}{3} = \frac{FL_2^2 (L_1 + L_2)}{3}$$

$$V_C = \frac{FL_2^2 (L_1 + L_2)}{3EI}$$

$$k = \frac{F}{V_C} = \frac{3EI}{L_2^2 (L_1 + L_2)}$$



Şekil 7.17 Sistemin indirgenmiş basit bir modeli



Sistemin diferansiyel denklemi;

$$m \ddot{x} + kx = 0$$

Sistemin doğal frekansı :  $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Şekil 7.18 Bir kütle-yay sistemi, sisteme ait diferansiyel denklem ve doğal frekans ifadesi

Bulunan yay sabiti denklemini, doğal frekans denklemine yazarsak;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3EI}{L_2^2 (L_1 + L_2)}} \quad \text{ifadesi bulunur.}$$

$$I = \frac{b h^3}{12} - \frac{(b - 2t_2)(h - 2t_1)^3}{12}$$

I ifadesini  $\omega_n$  ifadesinin yerine koyarsak;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3E(b h^3 - (b - 2t_2)(h - 2t_1)^3)}{12mL_2^2 (L_1 + L_2)}} \quad \text{bulunur.}$$

Titreşim kritiklerinden kaçınmak için en önemli husus sistemin kritik hız çalışma alanından uzaklaştırılmasıdır. Bunun için konstrüksiyon ve sistem elemanlarının fiziksel büyüklüklerinde bir takım değişiklikler yapmak gerekir.

Sistemin doğal frekansını değiştirmek istersek yukarıdaki ifadede bulunan büyüklükleri değiştirmemiz gerekir.

Kesit atalet momenti I arttırılırsa doğal frekans  $\omega_n$  artar, I'yı artırmanın en iyi yolu da kesitin h uzunluğunu arttırmaktır. Çünkü atalet momentine kübüyle etki etmektedir.  $t_1$  kalınlığının arttırılması da atalet momentini arttırmada etkilidir. b ve  $t_2$  uzunluklarının arttırılması da atalet momentini artırmanın diğer yollarıdır.

$L_2$  uzunluğunun azaltılması doğal frekansın artırılmasında başka bir etmendir.  $L_1 + L_2$  toplamı sabit olduğundan  $L_2$  uzunluğu kaç birim arttırılırsa  $L_1$  de o kadar azalacaktır.

Kren bumunun ağırlığın azaltılması da doğal frekansın arttırılmasını sağlar.

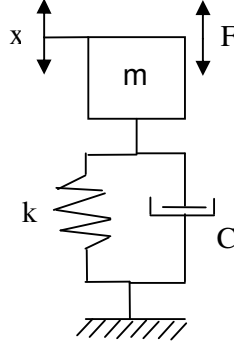
Görüldüğü gibi kren bumunun konstrüksiyonunu optimize ederek doğal frekanslarının da belli bir değerin üzerinde olması sağlanabilir.

#### 7.1.3.2.4 Sönümleyicilerle Titreşim Kontrolü

Tipi ve yapısı farklı sönümleyiciler uygulamak suretiyle dinamik sistemlerin titreşim davranışları kontrol altına alınabilir. Uygulamada bu sönümleyiciler oluşturdukları sönüm kuvvetleri itibariyle, aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Aktif damperler, genelde sistem titreşimlerinden bağımsız olarak bir kuvvet üreterek sisteme uygularlar. Aktif damperler genelde bir elektriksel uyarı ile sönüm kuvveti üretir.

Pasif damperler ise titreşimlerin genlik ve frekansına bağlı olarak üretilen bir sönümleme kuvvetiyle etkili olur. Pasif damper uygulamasına bir kuru sürtünme damperi, sıvı sürtünme damperi (viskoz) veya gazlı damper örnek olarak verilebilir. Netice itibariyle, aktif veya pasif dış sönümleyiciler dinamik sistemlerin zorlanmış titreşimlerinin ve rezonans davranışlarının kontrolünde kullanılmaktadır. Yine çeşitli sebeplerden kaynaklanan kararsız titreşimlerin kontrol edilmesinde de tercihen kullanılmaktadır.

Makinelerde titreşim kontrolünün veya titreşim izolasyonunun yararları yalnızca makineleri, çevreyi ve insanları titreşimlerden korumakla sınırlı değildir. Bir bakıma titreşimler, makine tahrikinde kullanılan bir kısım enerjinin titreşimler suretiyle boşa gitmesi demektir. Yani, enerji iş üretimi için harcanması gerekirken, makine üzerindeki titreşimler ve çevreye yayılan titreşimler suretiyle boşa gider. Görüldüğü gibi makinelerin titreşim kontrolü son derece gerekli ve yararlı bir işlemdir.



Şekil 7.19 Sönümlü sistem modeli

Titreşim kontrolü ve izolasyonu açısından bu sistem incelenecek olursa kontrol edilmesi gereken iki önemli değer vardır. Bunlar;

- a) m kütlesinin titreşim genliklerinin sınırlandırılması veya en aza indirilmesi
- b) İşletme şartlarında zemine geçen kuvvetlerin sınırlandırılıp en aza indirilmesi

Gemi üzerinde çalışmakta olan makinelerin bulunduğu yere yerleştirilmesinde sönüm elemanları kullanılarak yaydıkları titreşimler belirli bir ölçüde engellenebilir. Böylece bu makinelerin çalışma frekansları kren bumunun doğal frekanslarıyla çakışsa bile titreşim genlikleri sönüm elemanları sayesinde azalacağından tehlikeli bir durum oluşturmayacaktır. Şekil 7.19'daki sistem, kren bumu üzerine takılan hidrolik motor, redüktör ve tambur için ve yine kren içinde bulunan elektrik motoru, hidrolik pompa, hidrolik motor ve redüktör için kullanılarak bum emniyet altına alınabilir. Krenin güverteye bağlantı noktalarına, krenin üst ve alt gövdesi arasına da sönüm elemanları koyarak bumu daha da emniyet altına almak mümkündür.

## 7.2 ADAMS ile Yapılan Analizler ve Sonuçları

### 7.2.1 Giriş

ADAMS ile yapılan dinamik analiz şartları aşağıdaki gibidir.

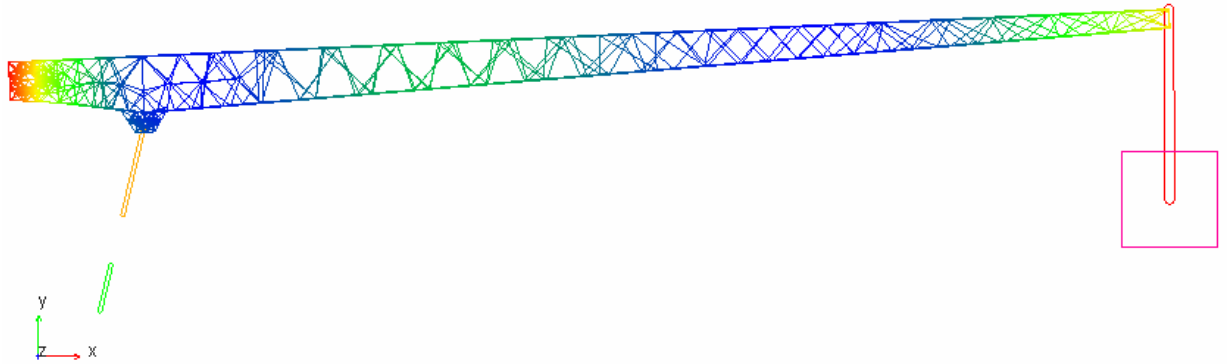
Konstrüksiyonun her yerinde sac kalınlığı 10 mm olarak alınmıştır.

Bumun uç noktasından 1 kg kütleli rijit bir halat ile 1020 kg kütleli bir yük asılı bulunmaktadır.

Bumun yer düzlemine paralel ve hidrolik silindirin hareketsiz olduğu durumda yapılan analizde, yükün bum ucunda salınım yaparkenki durumuna ait zamana göre değişen eşdeğer gerilme değerleri ve bum ucunun hem yatay hem de düşey yönde yaptığı yer değişimlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

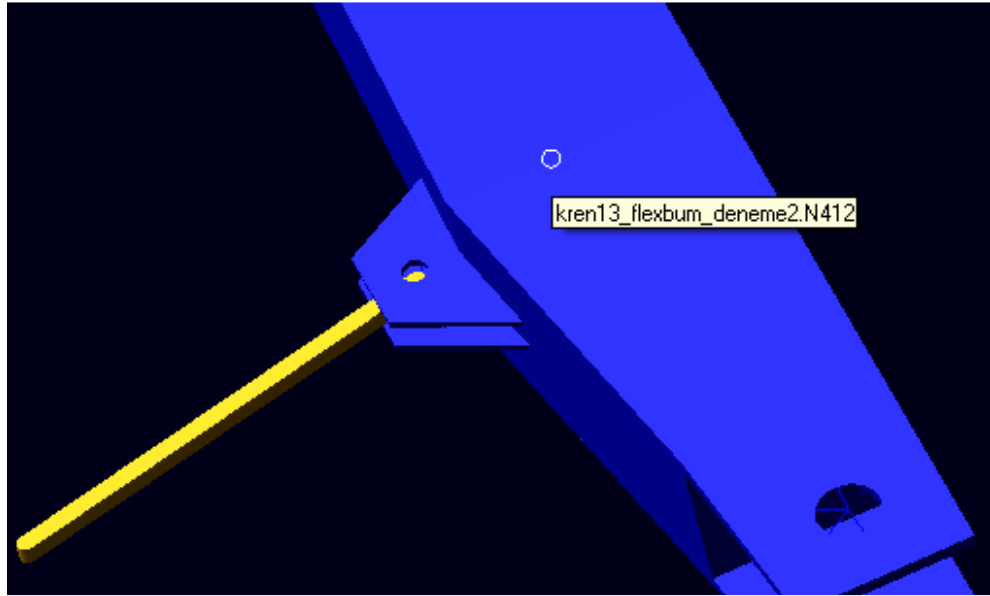
Hidrolik silindir-piston çiftinin hareketli olduğu durumda yapılan analizde silindir ile piston arasındaki sabit hızda öteleme hareketinin bumu yukarı yönde hareket ettirmesi durumunda zamana göre değişen eşdeğer gerilme değerleri ve bum ucunun hem yatay hem de düşey yönde yaptığı yer değişimleri incelenmiştir.

Yer değişimleri, bumun uç noktası ile hidrolik silindir-piston çiftinin buma bağlantı noktasından ölçülmüştür.

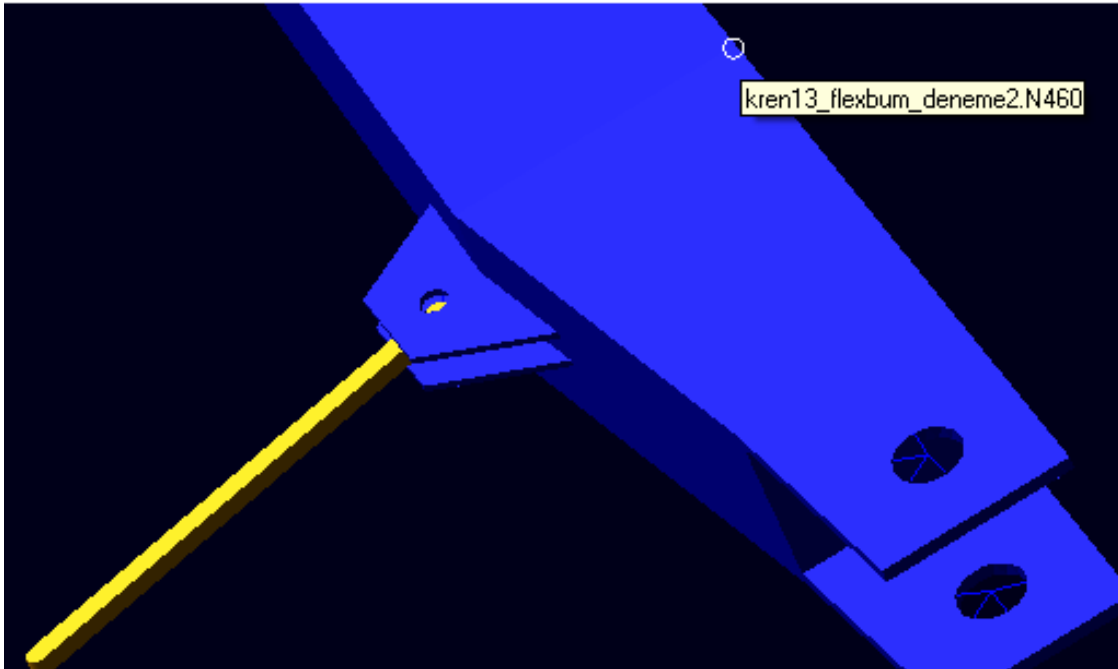


Şekil 7.20 ADAMS programında yapılan dinamik simülasyon sırasındaki bir anın görüntüsü

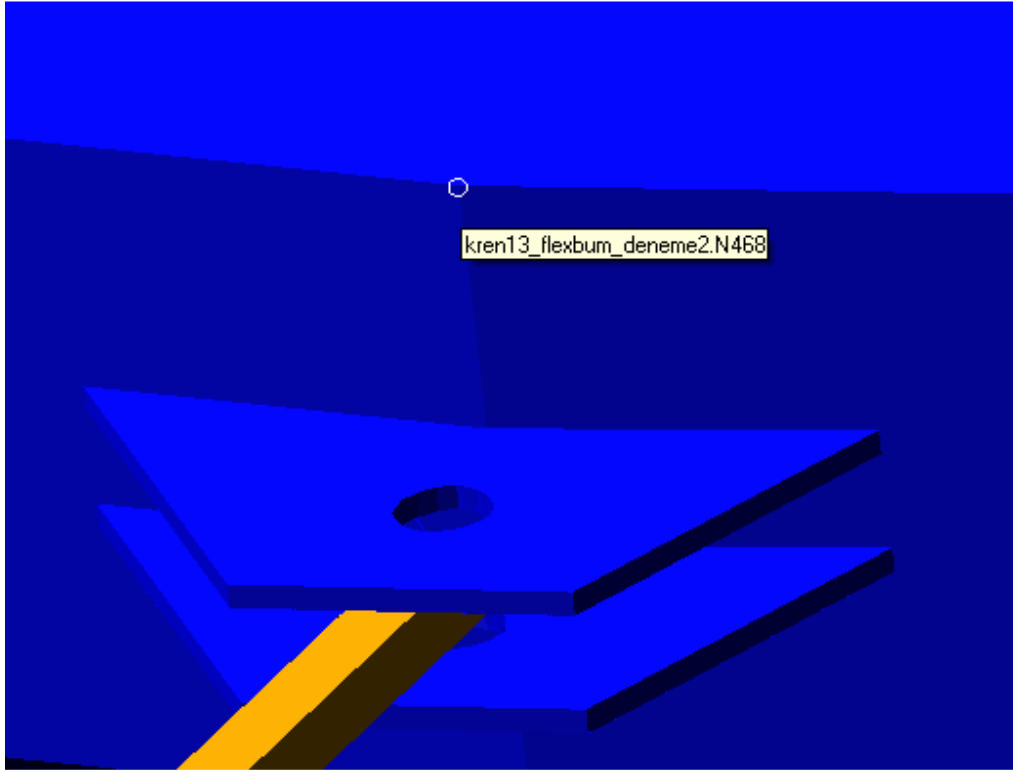
Bumun hidrolik silindire bağlantı noktasının bulunduğu kesitteki gerilmeler incelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde bum üzerinde gerilme analizinin yapıldığı 4 nokta gösterilmiştir.



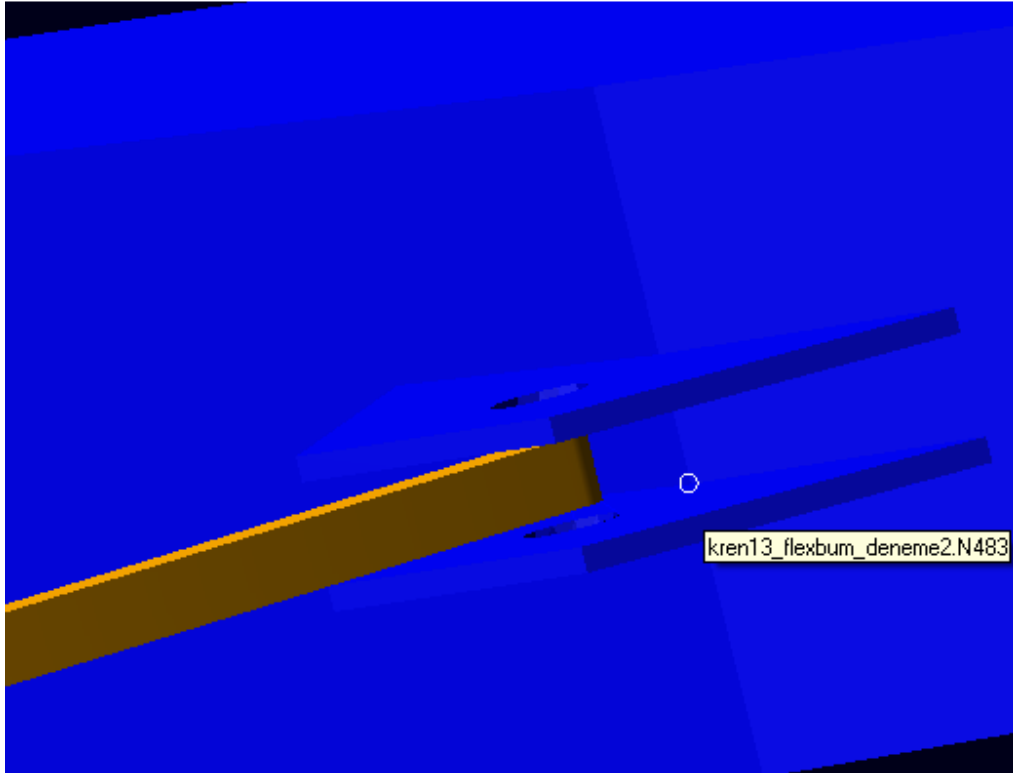
Şekil 7.21 Bum üzerine örülen ağdaki 412 nolu nodun yeri



Şekil 7.22 Bum üzerine örülen ağdaki 460 nolu nodun yeri



Şekil 7.23 Bum üzerine örülen ağdaki 468 nolu nodun yeri

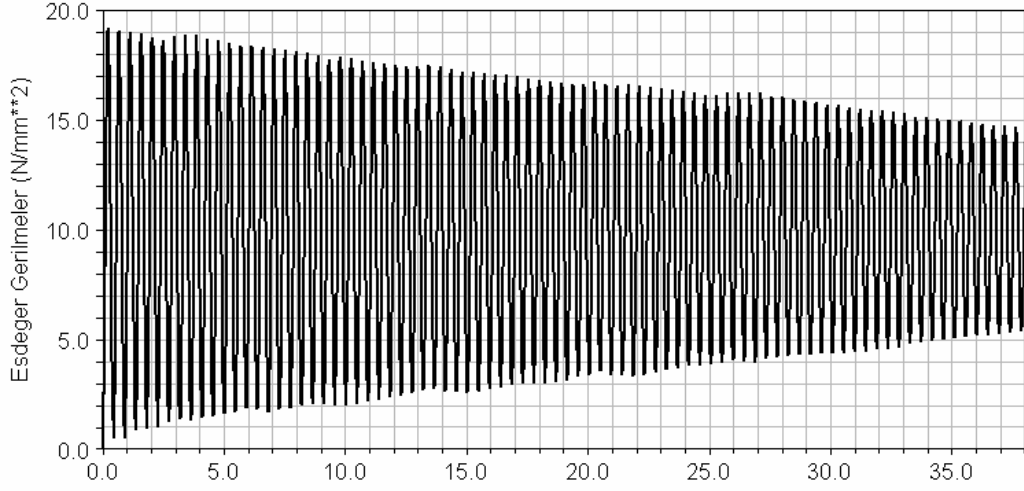


Şekil 7.24 Bum üzerine örülen ağdaki 483 nolu nodun yeri

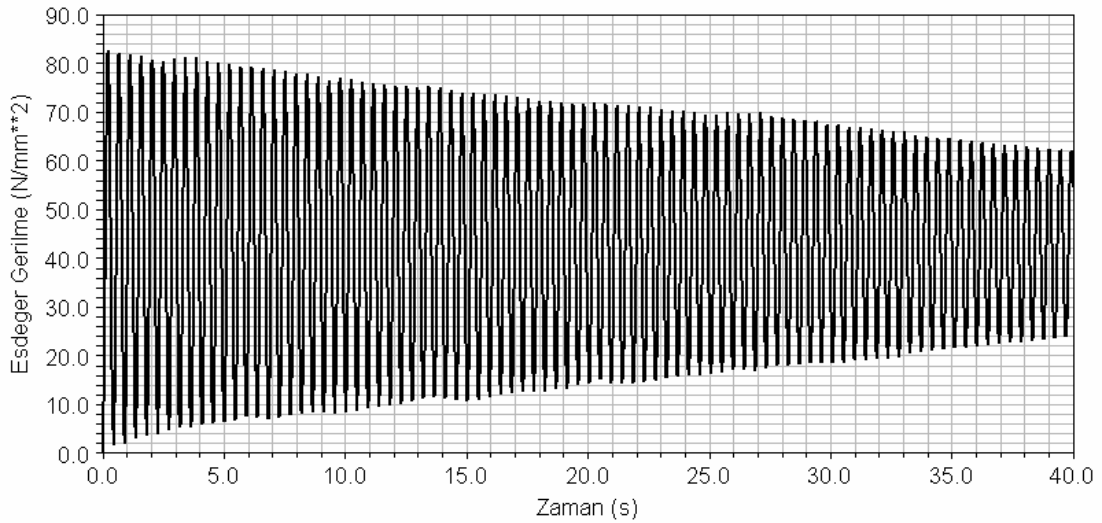
## 7.2.2 ADAMS ile Dinamik Analiz

### 7.2.2.1 Bumun yer düzlemine paralel durumdaki dinamik analizi

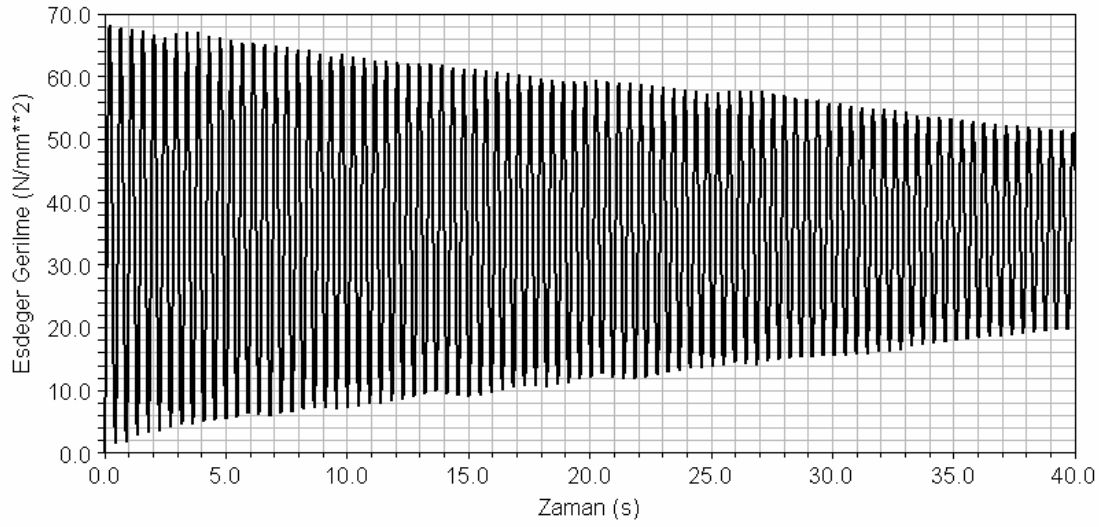
Yukarıdaki şekillerde bum üzerinde gösterilen 412, 460, 468 ve 483 nolu nodlara ait eşdeğer gerilme değerlerinin zamana göre değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Simülasyon 12 saniye süreyle çalıştırılmıştır.



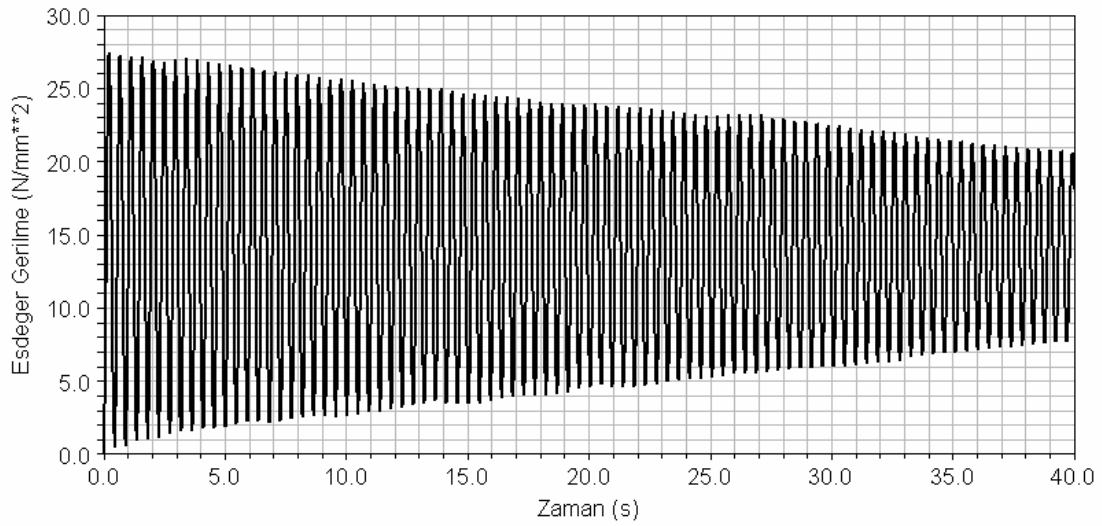
Şekil 7.25 412 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



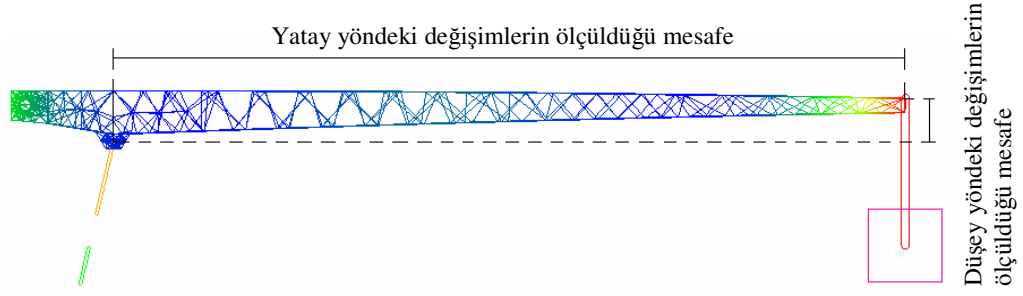
Şekil 7.26 460 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



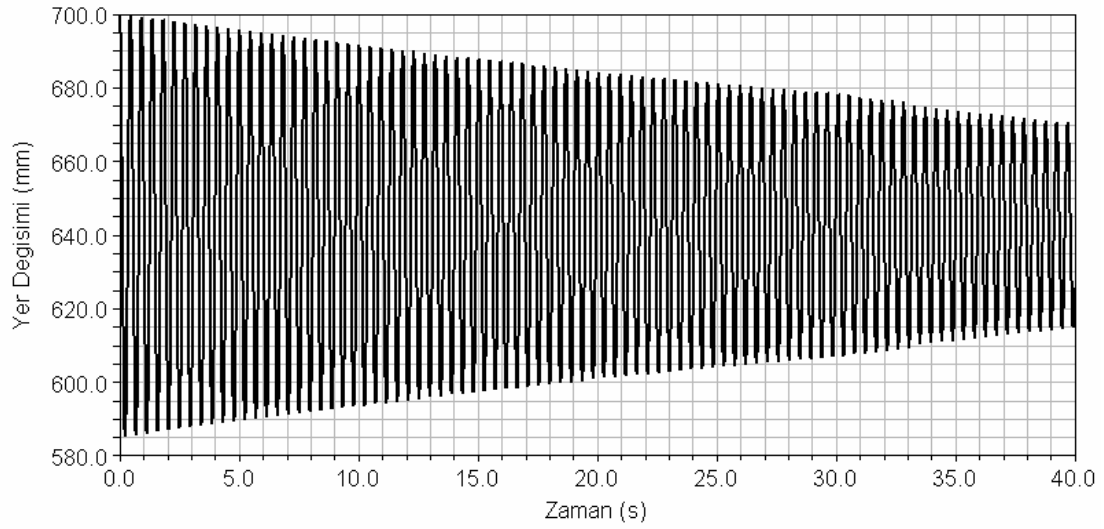
Şekil 7.27 468 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



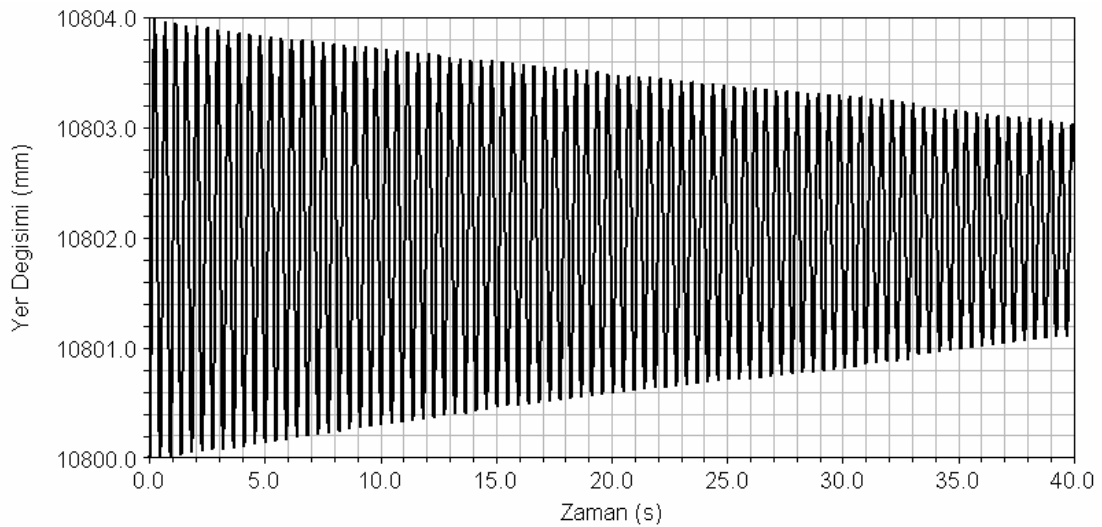
Şekil 7.28 483 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



Şekil 7.29 Bum üzerindeki yatay ve düşey yöndeki yer değişimlerinin ölçüldüğü mesafeler



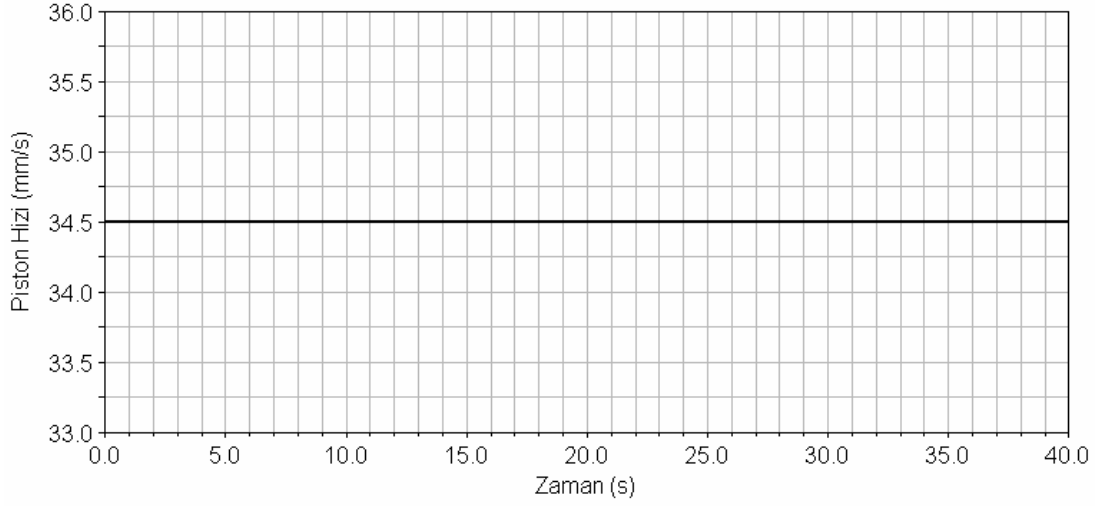
Şekil 7.30 Bum ucunun düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 7.31 Bum ucunun yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi

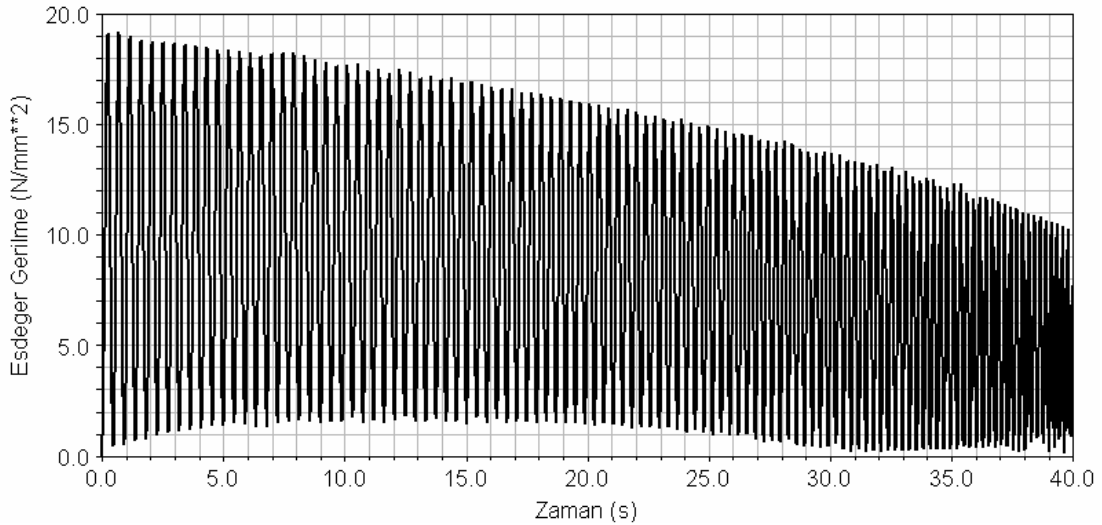
### 7.2.2.2 Hidrolik silindir-piston çiftinin hareketli olduğu durumdaki dinamik analiz

Hidrolik silindir-piston çiftine ADAMS programında verilen öteleme hareketi, piston hızı 34.5 mm/s olarak sabit bir değerde verilmiştir. Piston hızının zamana göre değişim grafiği Şekil 7.25'teki gibi bulunur. Simülasyon 40 saniye süreyle çalıştırılmıştır.

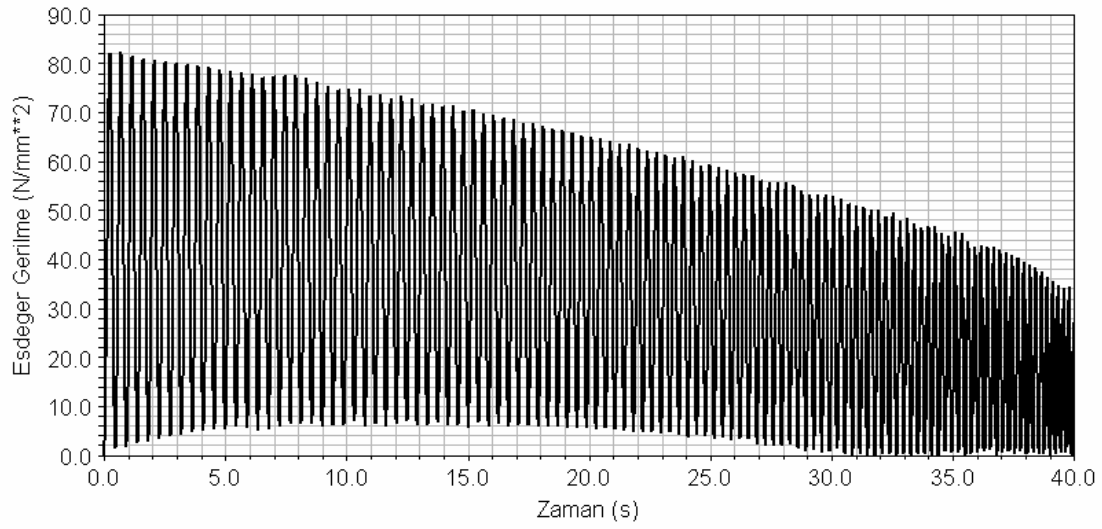


Şekil 7.32 Piston hızının zamana göre değişimi

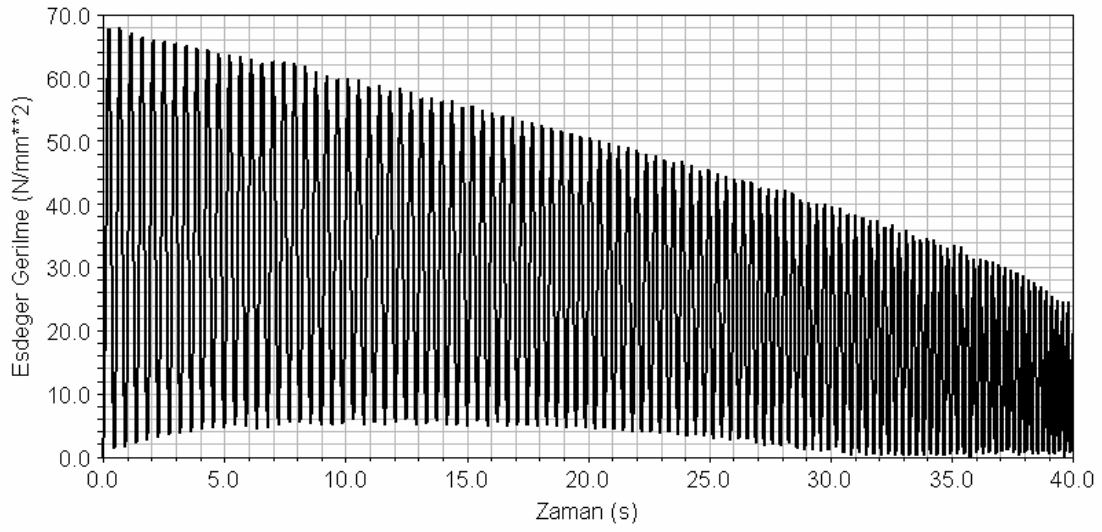
412, 460, 468, 483 nolu nodlara ait eşdeğer gerilme değerlerinin zamana göre değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



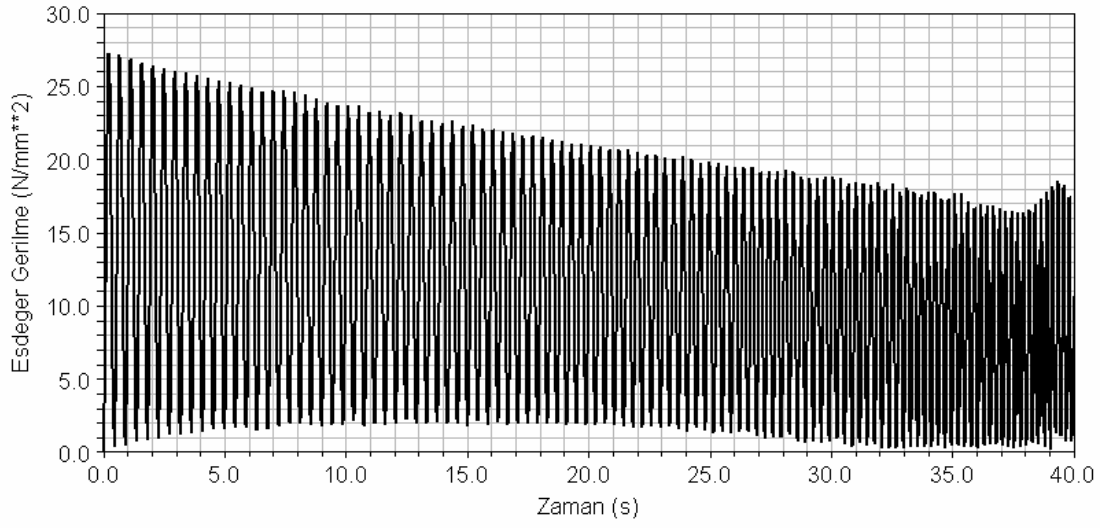
Şekil 7.33 412 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



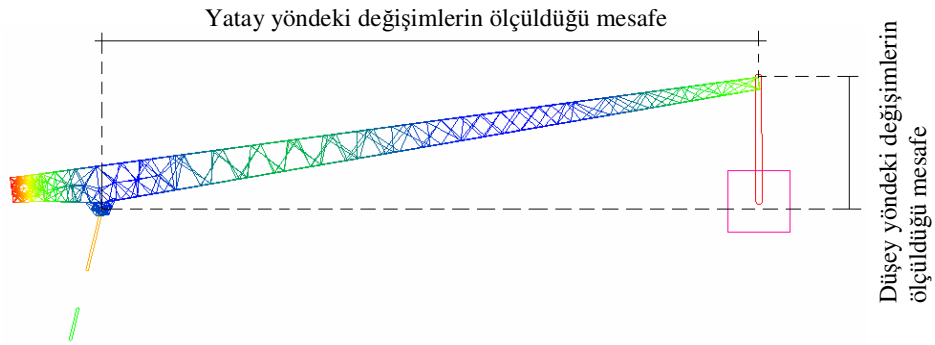
Şekil 7.34 460 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



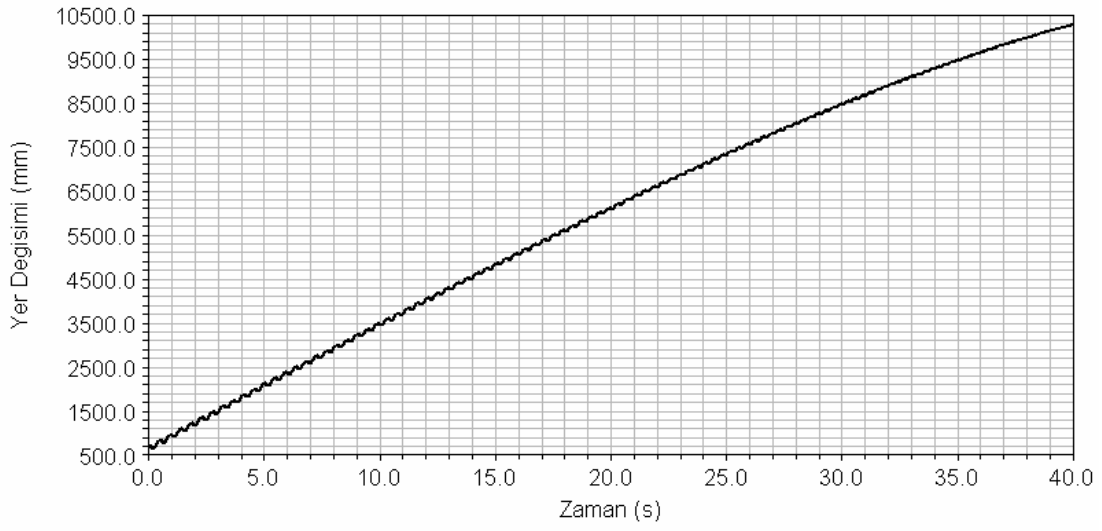
Şekil 7.35 468 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



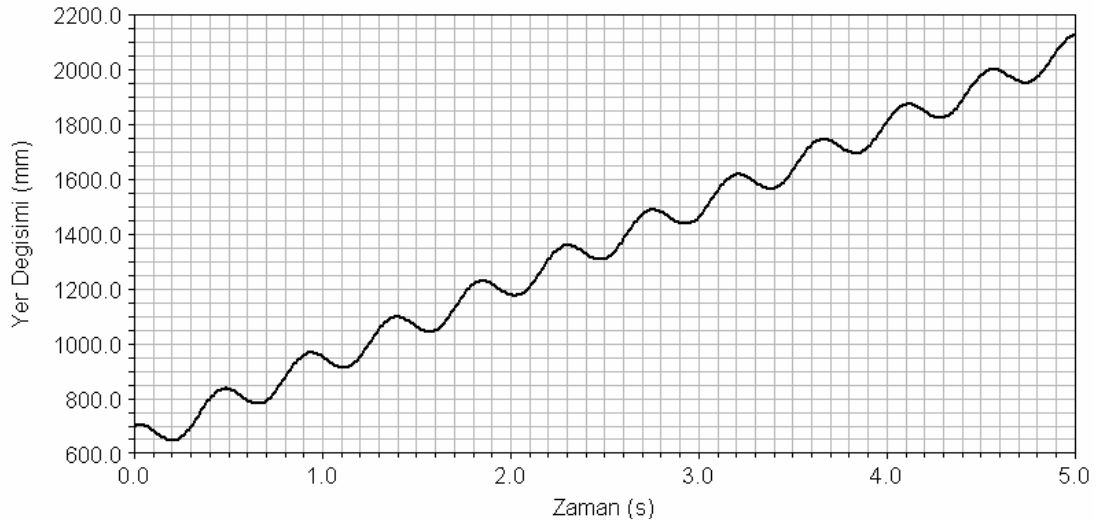
Şekil 7.36 483 nolu noda ait eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi



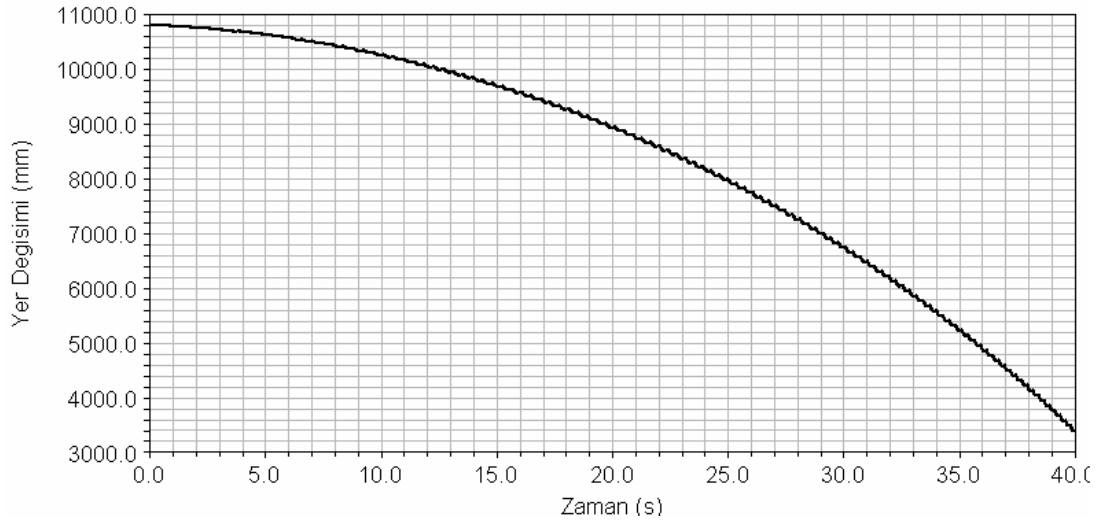
Şekil 7.37 Bum üzerindeki yatay ve düşey yöndeki yer değişimlerinin ölçüldüğü mesafeler



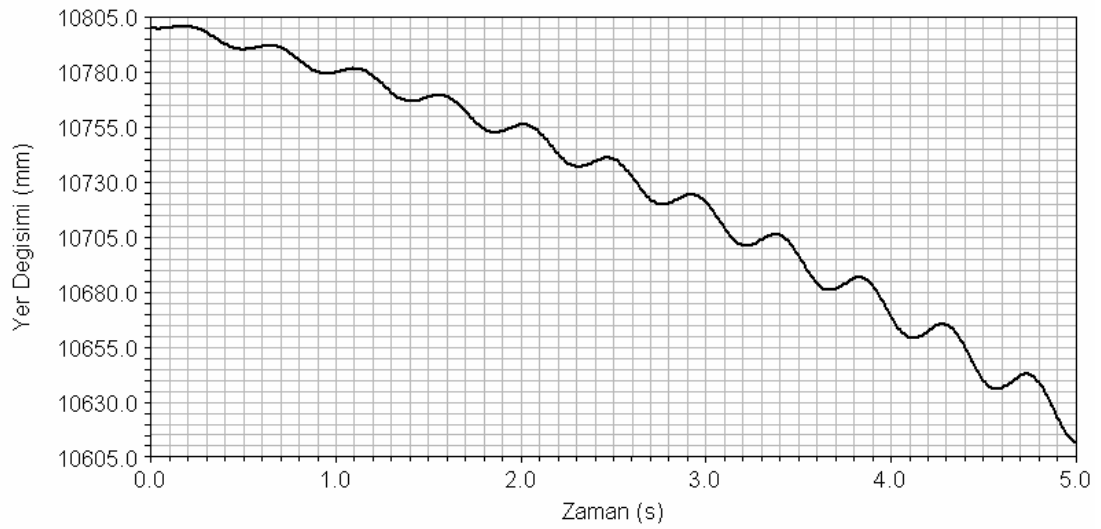
Şekil 7.38a Bumun ucunun düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 7.38b Bumun ucunun (simülasyonun ilk 5 saniyesinde) düşey yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 7.39a Bumun ucunun yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 7.39b Bumun ucunun (simülasyonun ilk 5 saniyesinde) yatay yönde yapmış olduğu yer değişimlerinin zamana göre değişimi

### 7.2.3 ADAMS ile Yapılan Dinamik Analizlerin Sonuçları

#### 7.2.3.1 Bumun yer düzlemine paralel durumdaki dinamik analizi sonuçları

Bumun uç noktasının yerinin zamana göre yatay ve düşey yer değişimlerini veren grafiklerde, ADAMS programının lineer analiz yapıyor olmasından dolayı gerçekte olması gereken değerlerden daha düşük değerler görülmektedir.

Özellikle düşey yer değişimi grafiğinde maksimum çökmenin 15 cm'den daha küçük olduğu görülmektedir. Bu değer gerçekte daha büyüktür.

Node 412'ye, node 460'a, node 468'e ve node 483'e ait eşdeğer gerilmelerin maksimum değerlerinin sırasıyla 18, 82, 72 ve 27 N/mm<sup>2</sup>'ye yakın olduğu grafiklerden görülmektedir.

460 nolu nod hesaplamalar bölümünde gerilmesini hesapladığımız kesitin en üst noktasına tekabül etmektedir. Bu noktadaki gerilme değeri buz ağırlığı hesaba katılmadan

$$\begin{aligned} \overbrace{(M_B)^+}^{ILK} &= G_{Yük} L_{BE} \phi \psi + G_{Bum} L_{BC} \phi \\ &= G_{Yük} (L_{AE} - L_{AB}) \phi \psi + G_{Bum} (L_{AC} - L_{AB}) \phi \\ &= 10000(12000 - 1200)1.2 \times 1.15 + 12989.33(4801.59 - 1200)1.15 = 202839577,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gerilme değeri de;

$$\left[ (\sigma_e)_B \right]_{yz} = \frac{M_e}{I_{TOP}} e = \frac{202839577,2}{956416000} \left( \frac{600}{2} \right) = 63.63 \text{ N/mm}^2 \text{ bulunur.}$$

ADAMS'daki analiz sonucunda gerilme değerlerinin, teorik hesaplamalarla bulunan değerlerden daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni simülasyon başlangıcında bum üzerinde yük yokken, aniden yükün yerleştirilmesidir. Uygulamada yük yerden halatın hızına bağlı olarak kaldırılır, dolayısıyla başlangıçtaki zorlanma paket programdaki zorlanmadan daha küçüktür.

#### 7.2.3.2 Hidrolik silindir-piston çiftinin hareketli olduğu durumdaki dinamik analiz sonuçları

Bumun uç noktasının yerinin zamana göre yatay ve düşey yer değişimlerini veren grafiklerdeki değerlerin ADAMS programının lineer analiz yapıyor olmasından dolayı gerçek değerlerden daha küçük olduğu söylenmişti.

40 saniyelik simülasyonlara bakıldığında bum hareket etmesine rağmen salınım olmuyormuş gibi görünüyor, fakat bu grafiklerin ilk 5 saniyedeki simülasyonlarının sonucu incelendiğinde salınımlar görülebilmektedir.

Node 412'ye, node 460'a, node 468'e ve node 483'e ait eşdeğer gerilmelerin maksimum değerlerinin sırasıyla 18, 79, 65 ve 26 N/mm<sup>2</sup>'ye yakın olduğu grafiklerden görülmektedir. 460 nolu noddaki değerlerin hesaplanan değerden yüksek çıkması yükün aniden buma etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Grafiklerde, zaman arttıkça gerilme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, kren bumunun yer düzlemiyle yaptığı açı arttıkça, bum ucundaki yükün incelenen kesitte meydana getirdiği eğilme momentinin azalmasıdır. Eğilme momentinin azalmasıyla eşdeğer gerilme değerleri de azalmaktadır.

## 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez çalışmasında kren dönme merkezinden 12m uzaklıktaki 10 kN ağırlığındaki yükü taşıyan bir hidrolik güverte krenin tasarımı yapılmıştır. Hesaplar teorik yöntemlerle ve paket programlardan ADAMS ile yapılmıştır. ADAMS'la bulunan gerilme değerlerinin büyük çıkması simülasyon başlangıcının gerçek uygulamalardan farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yük ağırlığı buma aniden bırakılınca gerilme değerleri çok artmıştır. Gerçekteki bir uygulamaya yakın bir simülasyon yapılabilmiş olsaydı, değerler elle yapılan teorik hesaplamalarda bulunanlara yakın olacaktı. Cosmos programından çıkan sonuçların ise teorik olarak (yük katsayısının ve kaldırma katsayısının, buz yükünün ve rüzgar yükünün etkisi katılmadan) elle yapılan hesaplamalarla bulunan sonuçlarla yakın olduğu görülmüştür. Eğer sadece paket program kullanılarak hesap yapılmak istenirse bulunan gerilme sonuçları belirlenen yük katsayısı ve kaldırma katsayılarının etkisi de göz önüne alınarak arttırılmalı ve rüzgar yükü ayrıca hesaplanıp arttırılmış değerle toplanmalıdır. Sonuçta bulunan değer eşdeğer gerilme değeri olarak düşünülmeli ve emniyeti sağlayıp sağlamadığı bu değer üzerinden kontrol edilmelidir.

Yer değişimlerinin büyüklüklerini daha doğru saptayabilmek için büyük deplasmanlı sistemlerde sonlu elemanlar yöntemi olarak lineer analiz yerine non-lineer analiz kullanılmalıdır.

Cosmos programıyla yapılan frekans analizi sonucunda bumun yer düzlemine paralel durumdaki konumu için 5 adet kritik frekans değeri bulunmuştu. Sadece bumun bu konumundaki kritik frekans değerleri için bumu rezonansa sokabilecek olan kren ucundaki yük salınıminin, kren üzerinde yada etrafında çalışmakta olan makinelerin ve rüzgarın etkilerinden bahsedilip, bu durumlar incelenmiştir. Yük salınıminin bumu rezonansa sokamayacağı görülmüştür. Çalışan makinelerin emniyetli ve emniyetsiz devir sayıları belirtilmiş ve dengelenmemiş kütlelerin titreşim şiddetini arttırdığı söylenip, kütle, krank-biyel mekanizması ve volan dengeleme işlemlerinin yapılmasının gerektiği belirtilmiştir. Çalışan bu makinelerin güverteye bağlantısında sönümleyici malzemelerin kullanılarak kren bumuna gelen titreşimlerin azaltılabileceği söylenmiştir. Bumun kritik frekanslarını belirleyen değerler Castigliano yöntemiyle belirtilmiş ve konstrüksiyonda yapılacak değişikliklerin kritik frekansa ne şekilde etkisi olacağı söylenmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmada optimizasyon yapılarak kren ölçüleri emniyetli değerlerin altında, doğal frekansları da istenilen değerlerin üzerinde veya altında kalacak şekilde seçilerek emniyetli bir tasarımın yanında, ağırlık ve maliyetten de kazançlar sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

AKKURT, M., Makine Elemanları, Cilt III, Birsen Kitabevi, İstanbul 1986

BAYIROĞLU, H., Dinamik Ders Notları

COSMOSWORKS 2007 Eğitim Dökümanları

CÜRGÜL, İ., Transport Tekniği , Cilt I , Kocaeli Üniversitesi , Kocaeli 1995

DEMİRİSOY, M., Kaldırma makinaları (Krenler) , MMO/2005/391 , Kasım 2005, İzmir

ERCAN, Y., Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi ve Dinamiği

MSC.ADAMS, Release Notes

ÖZCAN, F., Hidrolik Akışkan Gücü

PINCHES, M. J., ASHBY, J. G.,Güç Hidroliği, MEB 1994

SAVCI, M., ARPACI, A., Mukavemet, Birsen Yayınevi, Eylül 1999, İstanbul

SUNER , F., Kaldırma ve İletme Makinaları , Cilt I, II, III

TAHRALI, N., KAYA, F., YÜKSEK, İ., GÜÇLÜ, R., Makine Dinamiği

TÜRK LOYDU, Kaldırma Donanımlarının Yapım ve Sörvey Kuralları CiltD , Kısım 50

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi : 17.11.1981  
Doğum Yeri : İstanbul  
Lise : 1996 - 1999 İSTEK VAKFI  
Özel Kaşgarlı Mahmut Lisesi  
Lisans : 1999 – 2003 Y.T.Ü. Makine Fakültesi  
Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü  
Lisans : 2002 – 2005 Y.T.Ü. Makine Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans : 2003 – ..... Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı