

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİNİN
HESAPLARI, MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metin YILDIRIM**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil KURT

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİNİN
HESAPLARI, MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metin YILDIRIM
(503081208)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serpil KURT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. C. Erdem İMRAK (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (İÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Sonlu elemanlar metodu, karmaşık mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesinde etkin olarak kullanılan nümerik bir tekniktir. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle, katı modelleme ile birlikte mühendislikte çok iyi bir yer edinmiştir. Analizin ve modellemenin doğru yapılması halinde, oluşabilecek hatalar önceden tespit edilip, çözülebilmektedir. Bu sayede zamandan ve maliyetten kazanç sağlanmaktadır.

Lastik tekerlekli konteyner istifleme krenleri özel bir tasarım olup, limanlarda ve konteyner terminallerinde konteyner istiflemek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin kuvvet, moment ve mukavemet hesapları yapılmış ve krenin modellemesi yapılmıştır. Bunun yanında gövde kirişinin ve ayaklarının sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmış, klasik hesaplamalarla karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması boyunca, benden fikirlerini ve değerli tavsiyelerini esirgemeyip, bana yol gösteren hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ ve danışman hocam Doç. Dr. Serpil Kurt' a teşekkür ederim. Ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca devamlı yanımda olup bana destek olan annem ve ablalarımın teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Metin YILDIRIM

Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. KRENLERİN SINIFLANDIRILMASI	3
2.1 Gezer Krenler	3
2.2 Ayaklı Krenler	4
2.3 Konsol veya Duvar Krenleri.....	6
2.4 Döner Krenler.....	8
2.4.1 Döner duvar krenleri	9
2.4.2 Sütunlu döner krenler (Sabit sütunlu döner krenler).....	10
2.4.3 Konsollu döner kren.....	10
2.4.4 Derrik kren (Direkli Kren)	12
2.4.5 Ayaklı döner krenler (Blok sütunlu krenler).....	13
2.5 Döner Kule Krenleri.....	14
2.5.1 Kulesi sabit döner kule kreni	16
2.5.2 Kulesi dönebilen döner kule kreni	17
2.6 Tırmanan Krenler	19
2.6.1 Tırmanan kule kreni	19
2.6.2 Katlara tırmanan kren.....	20
2.6.3 Üniversal tırmanan kren.....	22
2.7 Araç Krenler	23
2.7.1 Mobil kren.....	24
2.7.2 Oto krenleri	26
2.7.2.1 Teleskop oto kren (Şekil10.4)	26
2.7.2.2 Kafes kirişli oto kren.....	27
2.7.3 Palet araç krenleri.....	28
2.7.3.1 Kafes kirişli bumlu paletli kren.....	29
2.8 Yüzer Krenler	30
2.9 Döner Diskli Krenler	31
3. YÜKLEME HALLERİ VE MUKAVEMET DEĞERLERİ.....	35
3.1 DIN'e göre Yükleme Halleri ve Mukavemet Değerleri.....	35
3.1.1 DIN'e yükleme halleri :	35
3.1.1.1 Yüklemenin H-hali.....	35
3.1.1.2 Yüklemenin HZ-hali	36
3.1.1.3 Yüklemenin HS-hali	37
3.1.2 Kren kirişi malzemesinin emniyetli mukavemet değeri “ σ_{EM} ”	37

3.1.2.1 Statik kontrol için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri	37
3.1.2.2 Dinamik kontrol için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri...	38
3.1.3 Kren kirişindeki çentik grubu	42
3.2 “F.E.M” e göre Yükleme Halleri ve Mukavemet Değerleri.....	43
3.2.1 “F.E.M” e göre Yükleme Halleri	43
3.2.1.1 I.Hal: Rüzgar kuvveti olmayan normal işletmeler	43
3.2.1.2 II.Hal: Şiddetli rüzgar kuvvetinin bulunduğu kabul edilen işletmeler	44
3.2.1.3 III. Hal: Çok özel etkiler altında çalışan işletmeler.....	43
3.2.1.3.1 Krenin “B” yükleme grubu ve “H” kaldırma sınıfı	44
3.2.1.3.2 Yükleme grubunun saptanması	46
3.2.1.3.3 Yükleme ve iş sayıları	46
3.2.1.3.4 Kollektif gerilme.....	47
3.2.1.3.5 Krenin yükleme grubu katsayısı “ k_B ” nin saptanması.....	47
3.2.1.3.6 Kaldırma yükü katsayısı “ ψ ”	48
3.2.1.3.7 Özağırlık katsayısı “ ϕ ”	48
4. KATI MODELLEME.....	49
4.1 Genel Bilgiler	49
4.2 Katı Gösterimi	53
4.2.1 Yarım uzaylar	57
4.2.2 B-rep gösterimi (Sınır gösterimi)	59
4.2.3 Konstrüktif katı geometrisi (CSG)	69
4.2.4 Süpürme (sweep) gösterimi	70
4.2.5 Analitik katı modelleme (ASM)	72
4.3 Katı Modelleyicilerin organizasyonu	79
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	75
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	75
5.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihsel Gelişimi	76
5.3 Yöntemin Adımları	77
5.3.1 Problem geometrisinin elemanlara ayrılması.....	77
5.3.2 Alan değişkeninin tayini	77
5.3.3 Elemanların davranış matrislerinin hesaplanması.....	78
5.3.4 Eleman matrislerinin birleştirilmesi.....	78
5.3.5 Sistem denklemlerinin çözümü	78
5.3.6 Eleman rijitlik matrisi	79
5.3.7 Rijitlik matrisinin türetilmesi	80
5.3.8 Yer değiştirme fonksiyonu.....	82
5.3.9 İsoparametrik dörtgen eleman.....	85
5.3.9.1 İzoparametrik eşleme	86
5.3.9.2 Eleman rijitlik matrisi	87
5.3.9.3 Sayısal integrasyon.....	87
5.4 İki Boyutlu Modelleme	89
6. KONTEYNERLER.....	91
6.1 Konteynerin Tarihçesi	91
6.2 Konteyner Tipleri	91
6.2.1 20' / 40' Dry container	91
6.2.2 20' Üstü açık / 40' Üstü açık.....	92
6.2.3 20' Flat rack / 40' Flat rack / 40' Kapanabilir flat rack	92
6.2.4 40' High cube / 45' High cube	92
6.2.5 Reefer / 40' High cube reefer / 45' High cube reefer.....	92

7. LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİNİN ELEMANLARI	93
7.1 Gövde Grubu	94
7.1.1 Köprü kirişi	95
7.1.2 Ayaklar	96
7.1.3 Baş kirişi	96
7.2 Kren Yürütme Grubu	96
7.2.1 Tahrik ve tekerlek grubu	97
7.2.2 Tekerlek döndürme ve kilit grubu	97
7.3 Araba Grubu	97
7.3.1 Araba şasisi	98
7.3.2 Kaldırma grubu	98
7.3.3 Araba yürütme grubu	99
7.3.4 Denge ve tartı grubu	100
7.3.5 Dikey makara grubu	100
7.3.6 Yatay makara grubu	100
7.3.7 Rüzgar freni grubu	101
7.3.8 Operatör kabini	101
7.4 Spreader Grubu	102
7.4.1 Spreader makara grubu	102
7.5 Jeneratör Grubu	103
7.6 Platform ve Yürüme Yolları Grubu	103
8. LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİ HESAPLARI	105
8.1 Ayak Kuvvetleri	105
8.1.1 AB Yayılı yükünden oluşan ayak kuvvet ve momentleri	106
8.1.2 AB Arasındaki tekil yüklerden oluşan ayak kuvvet ve momentleri ..	Error!
Bookmark not defined.	
8.2 Mukavemet Hesapları	108
8.2.1 Köprü kiriş hesabı	112
8.2.1.1 Köprü kirişinin birim ağırlığının hesabı	112
8.2.1.2 Köprü kirişinin sehim hesabı	113
8.2.2 Köprü kirişi üzerinde oluşan gerilmeler	114
8.2.2.1 Kren kiriş özağırlığından oluşan gerilme	114
8.2.2.2 Arabanın özağırlığından oluşan gerilme	114
8.2.2.3 Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme	114
8.2.2.4 Atalet kuvvetlerin ileri gelen gerilme	114
8.2.2.5 Araba kasılmasından ileri gelen gerilme	114
8.2.2.6 H-Hali için kren kirişindeki maksimum ve minimum normal gerilmeler	115
8.2.2.7 Kren kirişinde meydana gelen toplam kayma gerilmesi	115
8.2.2.8 Kren kirişindeki bileşke gerilmeler	115
8.2.2.9 Normal basma gerilmelerinin hesaplanması	116
8.2.2.9.1 Kren kiriş özağırlığından oluşan gerilme	116
8.2.2.9.2 Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme	116
8.2.2.9.3 Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme	116
8.2.2.9.4 Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme	116
8.2.2.9.5 Araba kasılmasından ileri gelen gerilme	116
8.2.2.9.6 H-Hali için kren kirişindeki maksimum ve minimum normal gerilmeler	117

8.2.3 Baş giriş hesabı	117
8.2.4 Dinamik kontrol	118
8.2.5 Giriş yan levhalarının buruşma kontrolü	119
8.2.6 Başlık levhalarının buruşmaya karşı kontrolü	121
8.3 Tekerlek Çapı Hesabı	122
8.3.1 Tekerlek hareket direnci hesabı	123
8.4 Araba Hareket Motoru Hesabı	123
8.4.1 Araba kalkış zamanı	124
8.5 Tel Halat Hesabı	125
8.5.1 Halata gelen dinamik çekme kuvveti	126
8.6 Makara Çapı Hesabı	127
8.7 Tambur Çapı Hesabı	127
8.7.1 Tamburun halat sarılan boyunun hesabı	127
8.8 Kaldırma Motorunun Güç Hesabı	128
8.9 Kaldırma Redüktörünün Hesabı ve Seçimi	128
8.10 Kren Yürütme Motorunun Hesabı Ve Seçimi	129
8.11 Ayak Burkulma Hesabı	130
9. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ YARDIMI İLE ANALİZLER	137
9.1 Köprü Girişinin Gerilme ve Deformasyon (Sehim) Analizi	137
9.2 Ayakların Burkulma Analizi	143
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR	151
EKLER.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	175

KISALTMALAR

ASM	: American Standarts Association
ASM	: Analytical Solid Modeling (Analitik Katı Modelleme)
BDİ	: Bilgisayar Destekli İmalat
BDİP	: Bilgisayar Destekli İşlem Planlama
BDK	: Bilgisayar Destekli Konstrüksiyon
B-Rep	: Boundary Representation (Sınır Gösterimi)
CAPP	: Computer Aided Process Planning
CIM	: Computer Integrated Manufacturing
CSG	: Constructive Solid Geometry (Konstrüktif Katı Geometrisi)
DIN	: Deutsches Institut für Normung
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
FEA	: Finite Element Analysis
GMS	: Geometrik Modelleme Sistemleri
ISO	: International Standard Organizations
NC	: Numerical Control (Sayısal Kontrol)
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Statik gerilmeler ve stabilite için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri.	38
Çizelge 3.2 : Çentik etkisindeki malzemenin devamlı mukavemet değeri, $K = -1$ için.	39
Çizelge 3.3 : Malzemelerin κ bağlantılı çizelge 3.1 ve çizelge 3.2 verileriyle Üst mukavemet değerleri.	40
Çizelge 3.4 : Kren yükleme grupları ve kaldırma sınıfları.	45
Çizelge 3.5 : Pratikte önerilen kren kaldırma sınıfları ve yükleme grupları.	46
Çizelge 3.6 : Kren elemanlarının ve kren yükleme grubunun saptanması.	46
Çizelge 3.7 : Kolletif gerilme için öneriler.	47
Çizelge 3.8 : Yükleme grubuna göre k_B -katsayıları.	48
Çizelge 3.9 : Kaldırma yükü katsayısı “ ψ ”.	48
Çizelge 3.10 : Özağırlık katsayısı “ ϕ ”.	48
Çizelge 10.1 : Gerilme ve deformasyon değerlerinin karşılaştırılması.	147
Çizelge 10.2 : Kritik yük değerlerinin karşılaştırılması.	149
Çizelge 10.3 : Ağ eleman boyutuna göre sonuçların değişimi.	150
Çizelge A.1 : DIN 536 A tipi kren rayları.	160
Çizelge A.2 : İdeal buruşma karşılaştırma gerilmeleri için gerçek buruşma gerilmeleri.	161
Çizelge A.3 : Malzeme faktörü “ c_1 ” ve emniyetli basma mukavemeti “ p_{EM} ”	161
Çizelge A.4 : Devir Sayısı Faktörü “ c_2 ”.	161
Çizelge A.5 : Çalışma oranı faktörü “ c_3 ”.	161
Çizelge A.6 : Halat çapı hesabındaki c katsayıları [mm / N].	162
Çizelge A.7 : Warrington – seale tipi halatlar.	162
Çizelge A.8 : Halat tambur ve makara çapları için H1 katsayıları.	163
Çizelge A.9 : Toplam eğilme sayılarına göre H2 katsayı değerleri.	163
Çizelge A.10 : Atalet momentleri değişken çubukları için c katsayıları.	163
Çizelge A.11 : Narinliğe göre St52 plakalar ve profiller için ω katsayıları.	164

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Gezer kren.....	4
Şekil 2.2 : 750 Kaldırma kapasiteli tam ayaklı kren.	5
Şekil 2.3 : Yükleme köprüsü olarak yapılmış ayaklı kren.	6
Şekil 2.4 : Üst kısımda kedi hareket eden konsol kren.	6
Şekil 2.5 : Kafes kirişli duvar kreni (Konsol Kren).	7
Şekil 2.6 : Yerel olarak sabit krenler.	9
Şekil 2.7 : Döner duvar kreni.....	9
Şekil 2.8 : Konsollu döner kren.	11
Şekil 2.9 : Tahtadan yapılmış derrik kren.	12
Şekil 2.10 : Ayaklı döner kren.	14
Şekil 2.11 : Çekilebilir bum.	15
Şekil 2.12 : Salınım kirişli bum.	15
Şekil 2.13 : Kulesi sabit döner kule kreni.....	16
Şekil 2.14 : Kulesi dönebilen döner kule kreni.....	17
Şekil 2.15 : Döner kule kreni.....	19
Şekil 2.16 : Tırmanma işlemi.....	21
Şekil 2.17 : Bir tırmanan krenin montajı.	21
Şekil 2.18 : Üniversal tırmanma kreni.....	22
Şekil 2.19 : Mobil kren.	25
Şekil 2.20 : Döner kuleli oto kren.....	27
Şekil 2.21 : 250t Taşıma kapasiteli kafes kirişli oto kren.....	28
Şekil 2.22 : Kafes kirişli bumlu paletli araç kreni.	30
Şekil 2.23 : Çift yönvericili salıncak bumu olan yüzer kren.	31
Şekil 2.24 : Yerel olarak sabit döner diskli kren.	31
Şekil 2.25 : Araba üzerinde oturan döner diskli kren.	32
Şekil 2.26 : Ayaklar üzerinde oturan bumu hareketli döner diskli kren.....	32
Şekil 2.27 : Parça mal iletiminde kullanılan tam ayaklı salıncak döner kren.....	33
Şekil 2.28 : Ayaklı sütunlu döner kren.	34
Şekil 3.1 : $\sigma_{D(-1)EM}$ değerleri ile $\sigma_{D(K)EM}$ değerleri arasındaki diyagram.	40
Şekil 3.2 : (a)K2 grubu (b) K3 grubu.	42
Şekil 3.3 : (a) K4 grubu, yarım v dikişi (b) K4 grubu, çift köşe dikişi.....	42
Şekil 4.1 : Basit bir katı model.	50
Şekil 4.2 : Bir nesneye ait topoloji ve geometri arasındaki fark.....	51
Şekil 4.3 : Katı modelin farklı şekillerde oluşturulması.	51
Şekil 4.4 : En yaygın primitifler.	53
Şekil 4.5 : Nesneye ait CSG yapısı ve primitiflerin yerleştirilmesi bir katı model. ...	54
Şekil 4.6 : Katı ve geometrik tamamlayıcı tanımları.	55
Şekil 4.7 : Sarkan sınırlar için örnekler.	56
Şekil 4.8 : Gösterim şemalarının sınıflandırması.	56
Şekil 4.9 : Sınırlanmış yarım uzaylar.	58
Şekil 4.10 : Bir katıya ait yarım uzay gösterimi.	59

Şekil 4.11 : Sınır modellerde topoloji ve geometrinin etkileri.	60
Şekil 4.12 : Polihedral nesnelerin tipleri.	62
Şekil 4.13 : Açık polihedral (çok yüzlü nesneler).	63
Şekil 4.14 : Silindir ve küreye ait B-rep gösterimi.	63
Şekil 4.15 : Silindir ve küreye ait B-rep yüzeylerinin gösterimi.	64
Şekil 4.16 : Sınırlanmış ve sınırlanmamış primitifler.	65
Şekil 4.17 : Tipik bir katı ve bu yapıyı oluşturan primitifler.	65
Şekil 4.18 : Katıya ait CSG şeması.	66
Şekil 4.19 : Sınırlanmış primitiflere ait yarım uzaylar.	67
Şekil 4.20 : Süpürme çeşitleri.	71
Şekil 4.21 : Bir katıya ait ASM modeli.	72
Şekil 4.22 : Katı modelleyicilerin tipleri.	73
Şekil 5.1 : Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanlar.	76
Şekil 5.2 : Lineer dikdörtgen eleman.	82
Şekil 5.3 : Elemanın fiziksel koordinatlara eşlenmesi.	86
Şekil 5.4 : Gauss kareleştirme için en iyisel örnekleme noktaları konumları.	88
Şekil 5.5 : Düğüm noktalı eleman için örnekleme noktaları.	88
Şekil 5.6 : İki boyutlu katı geometrisi.	89
Şekil 7.1 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin üç boyutlu modeli.	93
Şekil 7.2 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni.	94
Şekil 7.3 : Gövde grubu.	95
Şekil 7.4 : Yaylı durdurucu.	95
Şekil 7.5 : Yürütme grubu.	96
Şekil 7.6 : Araba grubu.	98
Şekil 7.7 : Kaldırma grubu.	98
Şekil 7.8 : (a) Tahrik tekerleği (b) Avara tekerlek.	98
Şekil 7.9 : Araba yürütme grubu.	100
Şekil 7.10 : Arabayı kilitlemek için kullanılan rüzgar freni.	101
Şekil 7.11 : Spreader.	102
Şekil 7.12 : Yürüme yolu ve bakım platformu.	103
Şekil 7.13 : Platform, yürüme yolları ve merdivenlerin genel yerleşimi.	104
Şekil 8.1 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme krenine etkileyen yükler.	105
Şekil 8.2 : Köprü girişinin kesiti.	109
Şekil 8.3 : Halat donanımı.	125
Şekil 8.4 : Kren ayağı, baş ve son kesitleri.	130
Şekil 9.1 : ANSYS Workbench açılış penceresi.	137
Şekil 9.2 : Malzeme özelliklerinin atanması.	138
Şekil 9.3 : Köprü girişinin workbench programına aktarımı.	138
Şekil 9.4 : Köprü girişinin workbench programına aktarılmış hali.	139
Şekil 9.5 : Ağ (Mesh) oluşturulmasının yapılması.	139
Şekil 9.6 : Boyutsal ağın (Mesh/Sizing) değerlerinin atanması.	140
Şekil 9.7 : Ağ yapısının görünümü.	140
Şekil 9.8 : Köprü girişi mesnet noktaları ve kuvvetlerin uygulanması.	141
Şekil 9.9 : Uygulanan kuvvet ve mesnetlerin çözülmesi.	141
Şekil 9.10 : Köprü giriş üzerindeki gerilme değerleri.	142
Şekil 9.11 : Köprü giriş üzerinde oluşan deformasyon.	142
Şekil 9.12 : Kren ayağının workbench programına aktarılmış hali.	143
Şekil 9.13 : Boyutsal ağın (Mesh/Sizing) değerlerinin atanması.	144
Şekil 9.14 : Ağ yapısının görünümü.	144
Şekil 9.15 : Kren ayağı mesnetler ve kuvvetler.	145

Şekil 9.16 : Yapısal analizin burkulma analizinin içine atılması.....	145
Şekil 9.17 : Burkulma analizi için yapılan ayarların gösterimi.	146
Şekil 9.18 : Burkulma analizinin sonuçlarının gösterimi.	146
Şekil 10.1 : Kiriş deformasyonunun detaylı gösterimi.	147
Şekil 10.2 : Kiriş gerilmelerinin detaylı gösterimi.	148
Şekil 10.3 : Ayak burkulma defornasyonunun detaylı gösterimi.	149
Şekil A.1 : Operatör kabini sol ve sağ tarafındaki kumandalar	154
Şekil A.2 : Yürütme grubu zincirli tahrik görünümü.....	155
Şekil A.3 : Konteyner istifleme kreni grupların renklendirilmiş görünümü.....	155
Şekil A.4 : Konteyner istifleme kreninin gerçekçi üç boyutlu gerçekçi görünümü.....	156
Şekil A.5 : Hayparpaşa limanı konteyner istifleme kreni.....	157
Şekil A.6: Yürütme grubu tekerlek çalışma pozisyonları.....	158
Şekil A.7 : Bir konteynerin genel kısımları.....	159

SEMBOL LİSTESİ

n_{tam}	: Tambur devir sayısı
s_{yiv}	: Yiv hatvesi
F_{cr}	: Kritik yük
G_{K1m}	: Kirişin bir metre uzunluğunun ağırlığı
f_{em}	: Emniyetli sehim değeri
L_{TA}	: Araba Aks Açıklığı
L_{TV}	: Kren Tekerlekleri Aks Açıklığı
M_p	: Tekerlek yükünden meydana gelen moment
M_g	: Zati ağırlıktan meydana gelen moment
M_{bmax}	: Baş kirişte oluşan maksimum moment
σ_{bmax}	: Baş kirişte oluşan maksimum gerilme
S_{Bhes}	: Buruşmaya karşı hesaplanan emniyet katsayısı
S_{Bger}	: Buruşmaya karşı gerekli emniyet katsayısı
F_{min}	: Minimum kopma kuvveti
F_t	: Teorik kopma kuvveti
ω_x, ω_y	: Burkulma çarpanı

LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİNİN HESAPLARI, MODELLENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

ÖZET

Sonlu elemanlar metodu ve katı modelleme, bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle bilgisayar destekli mühendisliğin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Özellikle bilgisayar destekli yapılan hesaplama, analiz ve modellemeler, el ile yapılanlara oranla daha hassastır ve sonuçlar daha iyi çıkmaktadır. Ayrıca bilgisayarla yapılan işlemlerin hızı çok yüksektir. Bu sayede zamandan kazanç elde edilmektedir. Bir diğer kazanım ise deneysel verilerin maliyeti düşünüldüğünde ortaya çıkmaktadır. Çok pahalıya mal olabilen deneysel çalışmaların yerine bunların bilgisayarda yapılan modellemeleri sayesinde sonuçlara daha ucuza ulaşılabilmektedir.

Son yıllarda deniz aşırı ülkeler arası ticari ilişkilerin gelişimiyle, deniz taşımacılığına ilgi artmıştır. Bu nedenle taşınacak malların hızlı ve güvenli bir şekilde taşınmasını sağlayan konteyner taşımacılığı tercih edilmektedir. Buda limanlardaki yoğunluğun artmasına neden olmaktadır. Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni gelen konteynerlerin gemilere yüklenmek üzere araçlardan alınıp istif bloğuna düzenli bir şekilde istiflenmesinde ve limanlardaki bu yoğunluğun giderilmesinde baş rol oynamaktadır.

Bu çalışmada limanlarda konteyner istiflemek için kullanılan lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni incelenecektir. Öncelikle krenin üzerine etki eden kuvvet ve moment hesapları, mukavemet, motor güçleri ve ayakların burkulma hesapları yapılmıştır. Daha sonra konteyner istifleme kreninin bütün elemanları modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle köprü kirişinin gerilme ve deformasyon analizi, gövde ayaklarının ise burkulma analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile yapılan hesaplar karşılaştırılmıştır.

Sonlu elemanlar metodunun uygulanmasında ANSYS Workbench programı kullanılmıştır. Ayrıca konteyner istifleme kreninin modellenmesinde Autodesk INVENTOR 2010 programı kullanılmıştır. Yapılan hesaplar parametrik bir program olan Mathcad programı aracılığıyla yapılmıştır. Bu sayede hesaplarda herhangi bir

değer değiştiğinde, diğer değerlerde bu değere bağlı olarak değişmektedir ve hesaplar tekrar tekrar yapılmamaktadır. Bununla birlikte yeni bir tasarım yapıldığında değerler kolayca değerştirilerek sonuçlara ulaşılabilmektedir. Sonuçları incelediğimizde kren sistemi üzerinde oluşan deformasyonların modelin geometrik boyutları dikklate alındığında önemli miktarlarda olmadıkları ve gerilme değerlerinin çeliğin akma mukavemetinin altında kaldığı grlmştş. Bu çalışmada sonlu elemanlar metodunun lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin tasarımda klasik hesap yöntemlerine göre kazanımları ve sunduğu olanaklar incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER : Lastik Tekerlekli Konteyner İstifleme Kreni, Konteyner, Gerilme ve deformasyon analizi, Burkulma analizi, ANSYS Workbench, Autodesk INVENTOR, Mathcad

CALCULATIONS, MODELING AND ANALYSIS WITH FINITE ELEMENT METHOD OF RUBBER TYRED CONTAINER STACKING CRANE

SUMMARY

Finite element method and solid modeling, with the development of computer technology, has become an indispensable part of computer-aided engineering. Especially the computer-aided calculation, analysis and modeling, are more accurate than by hand and the results are better. Furthermore, the pace of operations is very high with the computer. In this way, time is earnings. The other gains, when considering the cost of experimental findings arises. Instead of the costly experimental studies, thanks to computer modeling results of which the less expensive can be reached.

In recent years, with the development of trade relations between overseas countries, has increased interest in maritime transport. Therefore, container transport is preferred to move goods quickly and safely transport. This is to cause increasing the intensive at the ports. Rubber tyred container stacking crane, containers to be loaded on ships, taken from vehicles and stacking neatly to stacked block and eliminating this intensity at ports, plays a leading role.

In this study, rubber tyred container stacking crane which is used in ports is considered. Firstly, forces and moments effected on crane, strength, motor powers and buckling of legs are determined. Afterward, all elements of container stacking crane is modeled. Stress and displacement analysis of crane bridge and buckling analysis of the legs were performed. These analysis have been compared with the calculations.

ANSYS Workbench program has been used to perform the finite element method. In addition, rubber tyred container stacking crane has been modeled by using Autodesk INVENTOR 2010 program. All calculations were made via parametric Mathcad program. This counting, when any value is changed, other values will be changed depending on these values and calculations are not repeated over and over again. However, a new design can be easily amended and achieve results for this program.

When we examine the results, deformation formed on crane system is not significant when considering geometric dimensions of model and it was observed that the stress values remain under the yield strength of the steel. In this study, the new possibilities and the gains of finite element method over conventional calculation methods on rubber tyred container stacking crane design were considered.

KEYWORDS : Rubber Tyred Container Stacking Crane, Container, Stress and Displacement Analysis, Buckling Analysis, ANSYS Workbench, Autodesk INVENTOR, Mathcad

1. GİRİŞ

Endüstriyel tesislerde hammadde, yarı mamul ve mamullerin kaldırılması, bir yerden bir yere taşınması ve depolanması işlemlerinde kaldırma ve taşıma makinaları kullanılmaktadır (İmrak, Fetvacı, 2004). Kaldırma ve taşıma makinalarını birbirinden ayıran en önemli özellik "Kesikli çalışma" veya "Sürekli çalışma" durumlarıdır. Kesikli çalışmada periyodik olarak yapılan hareketler söz konusudur. Makina yükü istenilen yere götürmek için bir periyotta, "durma", "hızlanma", "düzgün hareket" ve "yavaşlama" evrelerini geçirir. Yeniden bir taşıma için tekrar geri döner ve her mal iletiminde bu hareketler tekrarlanır. Oysa sürekli (kesintisiz) çalışan transport makinalarında, çalışma ve mal iletimi hep aynı yönde olmaktadır. Kesikli çalışan transport makinalarına kaldırma makinaları, sürekli çalışan transport makinalarına ise taşıma makinaları denir.

Krenler, dilimize Almanca "Kran", İngilizce "Crane" sözcüklerinden geçmiştir. Bu tür kaldırma makinaları, yüklerin kaldırılması veya indirilmesinden başka, bunların yatay hareketlerine de olanak sağlarlar. Yüklerin hareketi üç eksen doğrultusunca yani uzaysal olarak sağlanabilmektedir. Bu nedenle bulundukları atölye, fabrika, liman, ambar vb. yerlerde çok faydalı ve etkili olan kaldırma makinalarıdır (Kurt, Kutay, Aslan, 2008).

Endüstri ve ticaret alanında, ağır yüklerin çeşitli biçimlerde kaldırılıp taşınması gerekir. Bu işlerin üstesinden gelme amacıyla birçok kren türü geliştirilmiştir. Bu kren türlerinden bir tanesi de lastik tekerlekli konteyner istifleme krenidir.

Bu çalışma incelenen lastik tekerlekli konteyner istifleme krenleri, limanlarda istif bloğuna konteyner istiflemek için kullanılmaktadır. Bu sayede konteynerlerin gemiye düzenli ve hızlı bir şekilde yüklenmesi sağlanılmakta ve limanlarda oluşan yoğunluklar giderilmektedir.

Bu konu hakkında gerekli literatür araştırılması yapılmış, fakat lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni üzerine birebir yapılan çalışmalara ulaşılamamıştır. Bununla birlikte diğer kren türleri üzerine yapılan çalışmalar ve literatürler incelenmiş, çalışmalar onların doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Lastik tekerlekli

konteyner istifleme kreni, portal krenler grubuna girdiği düşünölerek hesaplar ve çalışmalar portal krenler üzerine yapılan çalışmalar doğrultusunda yapılmıştır.

Literatür çalışmasının diğér bir kısmında ise, katı modelleme ve sonlu elemanlar yöntemi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Daha çok krenler üzerine uygulanan, sonlu elemanlar yöntemiyle bilgisayar paket programları yardımıyla yapılan analizleri ve modellemeleri içeren tez, makale ve kitaplar incelenmiştir.

Bu çalışmada çeşitli bilgisayar programları ile yapılan, lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin modellenmesi, analizleri ve sonuçları sunulmuştur. Bu analizler sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sonuca giden ANSYS Workbench, modellenmesinde ise Autodesk INVENTOR paket programları kullanılmıştır. Kren köprü kirişinin gerilme ve sehim analizi ile ayakların burkulma analizi yapılmıştır. Bununla birlikte sonlu elemanlar metodunun lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin tasarımda klasik hesap yöntemlerine göre faydaları, kolaylıkları ve getirdiği kazanımlar incelenmiştir.

2. KRENLERİN SINIFLANDIRILMASI

Endüstri ve ticaret alanında, ağır yüklerin çeşitli biçimlerde kaldırılıp taşınması gerekir. Bu işlerin üstesinden gelme amacıyla birçok kren türü geliştirilmiştir. Krenler yüklerin sınırlı bir alan içerisinde kesintili olarak iletimini gerçekleştirirler, yalnız burada kaldırma ve indirme büyük önem taşımaktadır. Krenler kullanılma alanlarına ve konstrüksiyon şekillerine göre isimlendirilirler, örneğin :

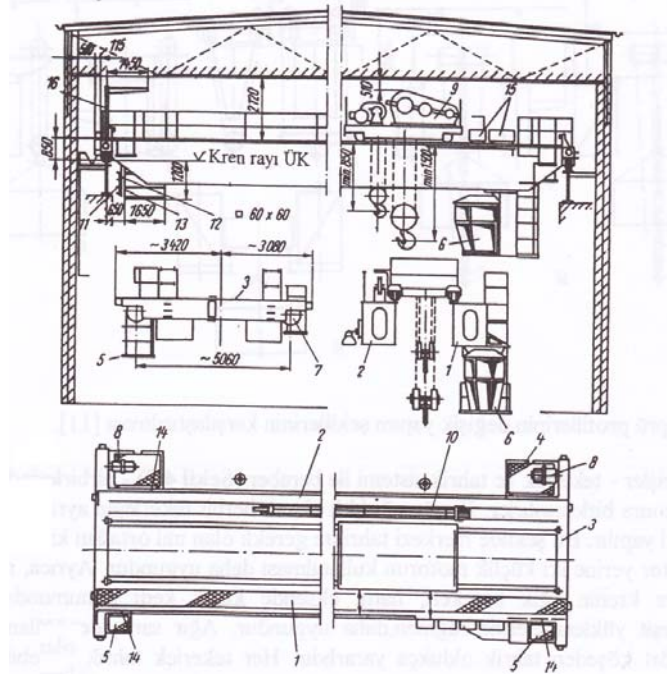
1. Gezer Krenler
2. Ayaklı Krenler
3. Konsol veya Duvar Krenleri
4. Döner Krenler
5. Kule Krenleri
6. Tırmanan Krenler
7. Araç Krenleri
8. Yüzer Krenler
9. Döner Diskli Krenler

Krenlerin şekillendirilmesinde standartlaşma büyük bir önem taşımaktadır. Birçok ülkede yalnızca kren parçaları değil, krenlerin ana teknik değerleri ve bütün konstrüksiyon grupları da, örneğin kedi ve kren kabini bile standartlaştırılmıştır.

2.1 Gezer Krenler

Gezer krenler bütün krenlerin arasında endüstride ekonomik olarak en çok kullanılan krenlerdir. Kren köprüsü, yüksekte bulunan kren rayları üzerinde hareket etmektedir. Köprü aynı zamanda kedinin hareket yolunu oluşturmaktadır. Kedinin konstrüktif şekillendirilmesi krenin kullanılma gayesine uymaktadır. Şekil 2.1(Demirsoy, 2005) de gezer krenlerin bir örneği gösterilmektedir. Kren köprüsünün şekli ve fonksiyonu bu durumdan etkilenmemektedir. Gezer krenler kedilerin yapım şekline göre iki ana grup ile onların alt gruplarında toplanırlar.

1. Parça ve yığın malların iletiminde kullanılan normal krenler
 - a- Kedili krenler
 - b- Kepeeli krenler
2. Özel amaçlı krenler



Şekil 2.1 : Gezer kren.

Gezer krenler genellikle fabrika içinde kapalı alanlarda çalıştıkları gibi açık havada da çalışmaktadırlar. Açık havada çalışan krenler, örtülmüş tahrik sistemleri ve rüzgar direncini aşabilme için fabrika içinde çalışan krenlerden dah güçlü olan tahrik sistemleri yönünden farklılık gösterirler. Gezer krenlerin en büyük avantajı, kren yolunun çatı konstrüksiyonunun ayaklarına yerleştirilmesi nedeniyle fabrikanın zemini serbet kalmasıdır.

2.2 Ayaklı Krenler

Limanlarda, demiryolları mal aktarmalarında, stok alanlarında v.s yerlerde sabit ve hareketli tam ve yarı ayaklı olarak kullanılmaktadır. Gezer (köprülü) krenler ağırlıklı olarak fabrika içi krenleri olarak kullanılırken ayaklı krenler fabrika dışında kullanılırlar. Bu krenlerde krenin üzerinde hareket ettiği raylar zemine yerleştilirler. Rayın birinin bina üzerinde bulunması durumunda bir ara çözüme giderek yarı ayaklı krenler kullanılır. Ayaklı bir krenin fabrika içinde kullanılması pek rastlanan bir

durum değildir. Kullanılması durumunda ise zeminde hareket eden ayaklar nedeniyle fabrika kullanım alanında bir daralma gelmekle beraber, fabrika duvarlarının krenden gelen kuvvetlerle yüklenmemesi nedeniyle daha ekonomik hafif bir inşaat şekli seçilebilir. Diğer taraftan daha önce kren kullanılabileceği düşünülmemiş olan bir fabrikada kullanımı mümkündür.

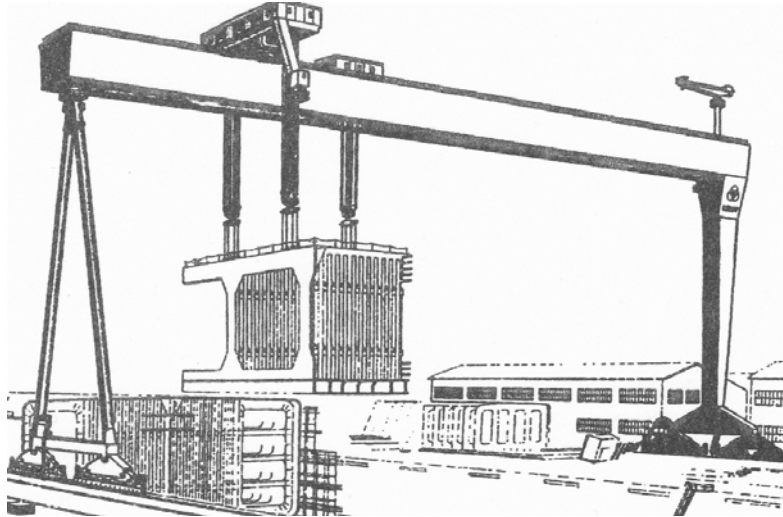
Ayaklı krenler çok kere ayakları üzerinden sağa ve sola konsol şeklinde uzatılmaktadır. Tam ayaklı krenler (Şekil 2.2) (Demirsoy, 2005) her iki tarafta ayakla, yarı ayaklılar ise yalnız bir taraftan ayaklarla donatılmışlardır.

Krenin diğer tarafı bina üzerine yerleştirilmiş ray üzerine oturur. Bu krenler üst ve alt bantta hareket eden araba veya sabit hareketli döner kren ile yapılabilmektedir.

Tahrik genel olarak elektrikli dir. Küçük taşıma kapasitelerinde ve az kullanım durumlarında el ile çalıştırılanları kullanılmaktadır.

Kren gövdesi küçük açıklıklarda dolu gövdesi kiriş, büyük açıklıklarda ise kafes kiriş olarak yapılmaktadır.

Kren gövdesinin yapımı, gezer krenlerde olduğu gibi iki ana ile iki yan kirişten oluşmaktadır. Bu krenlerde gezer krenlerdeki baş kiriş yerine ayaklar kullanılmaktadır.

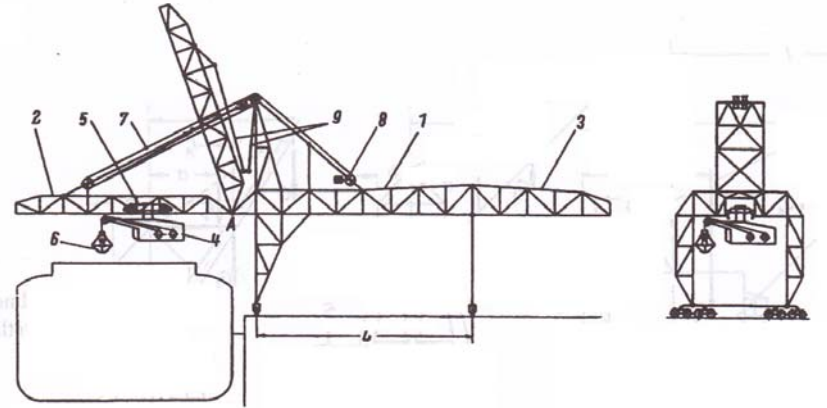


Şekil 2.2 : 750 Kaldırma kapasiteli tam ayaklı kren.

Diğer kullanım şekilleri kumada yönünden farklılık göstermektedir. Zeminden kabinli veya uzaktan kumandalı veya ayak kısmında sabit veya hareketli kumanda kabinli ayaklı krenler kullanılmaktadır.

Konsolların krenin her iki tarafında sabit veya hareketli (Şekil 2.3) (Demirsoy, 2005). yapılması diğer konstrüksiyon şekillerini oluşturmaktadır. Konsolu kayabilir veya kayabilir bir kiriş kullanılabilen diğer kullanım tipleri de bulunmaktadır.

Oturulmuş döner kren (döner kedi) sabit, çekilebilir veya salınımlı bum ile yapılabilir.

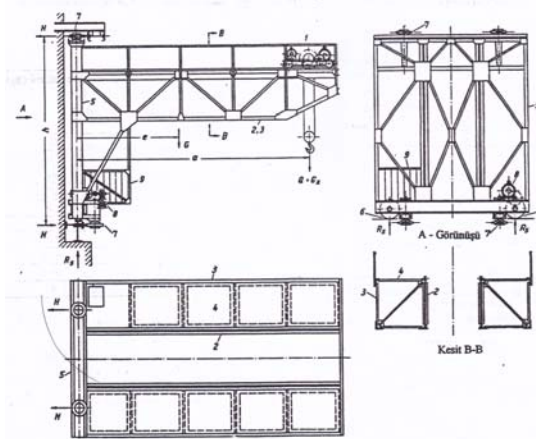


Şekil 2.3 : Yükleme köprüsü olarak yapılmış ayaklı kren.

Bumu katlanabilir(sol), bumu sabit(sağ) 1 köprü, 2 Katlanabilir bum, 3 Sait bum (konsol), 4 Asılmış döner kren, 5 Döner kedi, 6 Kelepçe, 7 Palanga, 8 Çıkırık, 9 Çekme çubukları

2.3 Konsol veya Duvar Krenleri

Gezer krenin işletmedeki görevini hafifletmek için konsol krenler kullanılır. Hal'in (hangarın) yaklaşık üçte birine uzanan bumu ile atölye boyunca yerleştirilmiş iletim yolu üzerinde hareket etmekte ve özellikle hafif yükleri yüksek hızlarda iletme (Şekil 2.4) (Demirsoy, 2005). Taşıma kapasiteleri 2 ila 10 t, bum 4 ila 10m arasında ve hareket hızı 100 ila 200 m\dak'ya kadar olabilmektedir. Yapım, hareketli gövdeye bağlanan bum ve onun üzerinde hareket eden kedi veya döner bir bum şeklindedir.. Tahrik genellikle elektrikle yapılır, ender durumda ise elle tahrik sistemi kullanılır. Kedinin konstrüksiyonu gezer krenlerde kullanılanlardan pek farklı değildir. Yalnız, kren tahrik sistemi ile kren kirişindeki değişik durumların dikkate alınması gerekir.

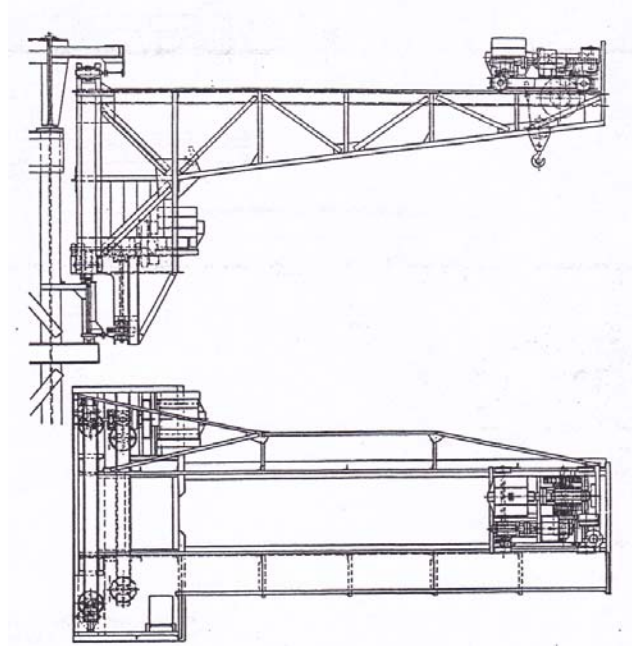


Şekil 2.4 : Üst kısımda kedi hareket eden konsol kren.

Sabit bumlu konsol kren büyük taşıma kapasitelerinde iki ana ve iki yan kiriş, bunların bağlantıları ve platform ile düzenlenirler. Statik hesaplar için hareketli yük (Kedi + faydalı yük en uç konumda) ve daimi yük kafes kiriş sisteminin her bir düğüm noktasına dağıtılır.

Duvar krenleri bina konstrüksiyonunun boyuna yönünde üç raydan oluşan iletim yolu üzerinde hareket ederler. Bir ray üzerinde dik olarak yerleştirilmiş kenarlı iki tekerlek ile dik kuvvetler karşılanırken, yatay olarak oluşan kuvvet çifti ise üst ve alt kısımda bulunan iki tekerlek çifti tarafından karşılanır ve kuvvetler yan olarak yerleştirilmiş olan raylara iletilir (Şekil 2.5) (Demirsoy, 2005).

Yan olarak yerleştirilmiş olan rayların aralıkları çok kere faydalı açıklığa göre küçük olduğundan oldukça büyük tekerlek basınçları meydana gelmektedir. Bu nedenle, hareket direnci aynı yük ve aynı kütledeki bir gezer krene göre, özellikle kaymalı yataklı tekerleklerde daha büyük olmaktadır. Bu nedenle duvar krenleri özellikle hafif yükleri (10t'a kadar) yüksek hızlarla (200m\dak'ya kadar) iletmektedir.



Şekil 2.5 : Kafes kirişli duvar kreni (Konsol kren).

Konsol şeklinde serbest olarak uzanan bir duvar krenin kütesinin statik olarak hesaplanması, taşıma kapasitesi ve açıklığı iki misli olan bir gezer kreninkine eşit alınabilir. Böylece en büyük yük ve kütle momentleri yaklaşık olarak birbirlerine eşittir.

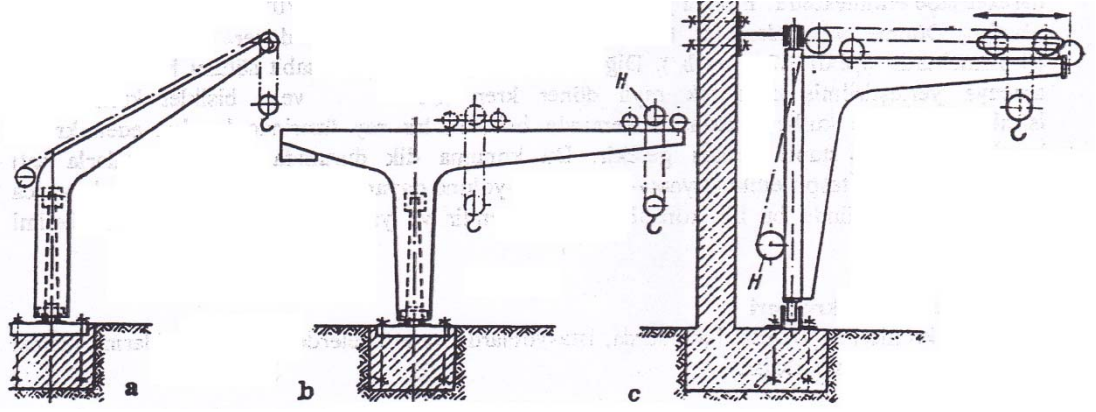
Birbirleri üzerinde çalışan iki gezer krene göre konsol krenlerin kullanılması ile orta kısımda serbest kalan bir alanda gezer krenin konsol krenler üzerinden yük

kaldırmadan hareket etme olanağı sağlanmaktadır. Gezer krene daha büyük bir serbestlik, döner konsollu krenlerle yaratılabilir ve gereği halinde konsol kren çalışma alanından tamamen döndürülebilir. Duvar krenin hatalı yönleri olarak kütlelerinin büyüklüğü ve bina konstrüksiyonunun karşılanması gereken yatay kuvvetler nedeniyle ek olarak zorlanması belirtilebilir. Krenin yük altında oldukça büyük olan sehinimi çok kere rahatsız edici olarak kabul edilmektedir. Sehim kren kirişinin külesinden ve yatay olarak yerleştirilmiş olan iletim yolunun külesinden oluşmaktadır.

2.4 Döner Krenler

Bu krenlerde dönen bum bir sütun ile sabit şekilde bağlanmıştır. Sütun üstten ve alttan dönebilir şekilde yataklanmıştır. Yatakların bağlanmasının mümkün olduğu yerlerde bu yapım şekli tercih edilir. Döner krenler, gezer krenlere göre oldukça eskidir. Elektrikli tahrik sistemlerinin geliştirilmesinden önce yatay hareket ya tamamen sabit yada kren üzerine yerleştirilmiş bir makina tarafından yapılmak yerine, bumun dönme hareketiyle gerçekleştirilirdi. Ayrıca, kısa mesafelerde yatay bir hareket, bumun dönmesiyle çok az sürtünme kayıpları ile sağlanabilirdi.

Döner kren basit bir yapım şekli ile bir dairesel hareket yapılmaktadır. Diğer hareketlerin ilavesiyle dairesel hareket bir alan taramasına dönüştürülebilir. Bu bumun üzerine hareketli bir arabanın yerleştirilmesi, bumun çekilebilir veya salınım yapabilir şeklinde yapılması ile gerçekleşir. Döner sütunlu kren, üst kısmından duvara tespit edilmekte ve bu şekilde dairesel bir hareket elde edilmektedir. Binaya yapılan bağlantı ile yalnızca max 270°'lik bir salınım açısına ulaşır. Dönme yönünden bu tür bir sınırlama sabit sütunlu döner krenler ile ortaya çıkmamaktadır (Şekil 2.6 a ve b). Diğer taraftan sık olmasa da sabit sütunlu hareketli bir alt arabaya yerleştirilmiş olan tek raylı döner kren veya bisiklet kren olarak isimlendirileni de kullanılmaktadır. Zeminde bulunan bir ray üzerinde hareket eden krenin hareket yönünde stabil olması gerekir. Bu konuma dik durumda kren makaralarla çatı konstrüksiyonuna tespit edilmiş yatay bir hareket yoluna dayanmaktadır.



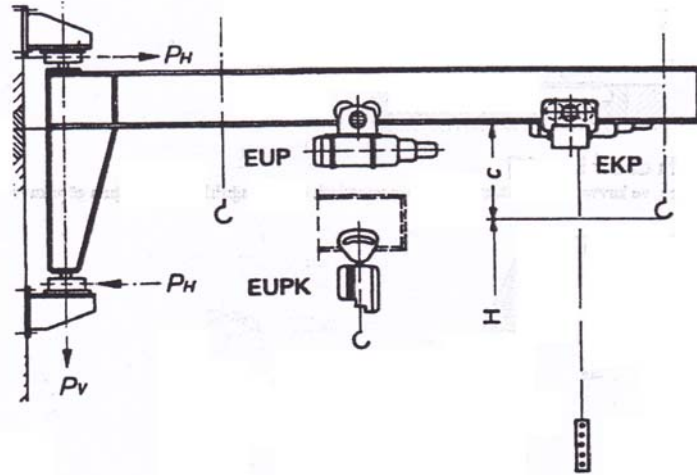
Şekil 2.6 : Yerel olarak sabit krenler.

a Sabit sütunlu döner kren, b sabit sütunlu, bum üzerinde kedili ve karşı ağırlıklı döner kren, c Döner sütunlu ve bum üzerinde kedili kren(duvar kren)

2.4.1 Döner duvar krenleri

Bu duvar krenleri depolarda, limanlarda, istasyonlarda ve atölyede takım tezgahlarına hizmet işlerinde kullanılmaktadırlar.

Taşıma kapasiteleri (1 ila 3 t) ve açıklıkları genellikle düşüktür. Bina duvarının yüklenmesi nedeniyle yük momenti genellikle 10 tm'nin üzerine çıkmamaktadır. Özel olarak 10t taşıma kapasitesine ve 40 ila 50 tm yük momentlerine kadar da kullanılabilir. Dönme açısı çok kere 180° dir; bina köşelerinde 270° ye ulaşılabilir.



Şekil 2.7 : Döner duvar kreni.

Küçük ve orta taşıma kapasitelerinde kaldırma işlemi elle yapılırken, büyük kapasitelerde ve sık kullanma durumlarında kaldırma işlemi için en azından elektrikle tahrik tavsiye edilir. En basit yapım şeklinde döner duvar kreni döner bir

sütundan, üstte enine bir yataktan , alt kısımda enine ve boyuna yataktan ve sütuna bağlanan çubuklardan oluşmaktadır.

2.4.2 Sütunlu döner krenler (Sabit sütunlu döner krenler)

Bir duvar kenarına yerleştirilen, döner duvar krenlerin dönme açısı sınırlı olduğundan sabit sütunlu döner krenler ile sınırsız bir dönme imkanına ulaşılabilmektedir. Sütun zemine veya kren arabasına oturtularak, döner kısım üstten bir eksenel ve radyal yatak, alttan ise bir radyal yatak ile yönlendirilmektedir. Kaldırma ve döndürme sistemleri döndürülen kısım üzerine oturtulmakta ve sütun tarafından karşılanması gereken momentleri mümkün oldukça küçük tutabilmek için çok kere bir karşı ağırlık kullanılmaktadır.

Yerel olarak sabit krenler, çok kere tren istasyonlarında, limanlarda, gemilerde yükleme işlemlerinde, fabrikalarda takım tezgahlarında ve dökümhanelerde derecelerin kaldırılması gibi hizmet işlerinde v.s gibi hafif ve çok sık olmayan işlerde kullanılırlar. Kaldırma kapasitesi 8t'a kadar, açıklık 10m'ye kadar, max yük momenti 300 k Nm 'ye kadar olmaktadır. Standart kren olarak sabit sütunlu kren oldukça ucuzdur.

2.4.3 Konsollu döner kren

Konsollu döner kren bir duvar kreni olup bu krenin hareket eden çerçevesine konsollu bir kren yerleştirilmiştir (Şekil 2.8) (Demirsoy, 2005). Sabit bumlu krenlere karşılık bu konsollu döner krenlerin faydalı yönü, dönme esnasında bum üzerinde çalışan gezer kren yükü ile meydana gelebilecek bir çarpışmadan kolayca kurtulabilir. Bumun bu hareketi ile dikdörtgen bir çalışma alanına hizmet götürülebilir ve bunun için bumun ucunda sabit bir makara yeterli olabilmektedir. Bu nedenle bum üzerinde hareketli bir kediye gereksinme yoktur. Hareket çerçevesi duvara üst üste yerleştirilmiş iki kren rayı üzerinde yürümektedir. Kaide olarak üstte iki yatay ve altta iki yatay, iki dikey tekerlek öngörülmüştür. Bunlar yatay ve dik kuvvetleri karşılamaktadır.

Bumun hareket çerçevesinin altına yerleştirilmesi durumunda tam bir dönme hareketi (360°) mümkündür, aksi halde dönme hareketi 180°dir.

Hareket eden çerçeve kaldırma, döndürme ve kren hareket sistemini taşımaktadır. Tekerlek kuvvetleri bumun her durumuna göre çok kuvvetli bir şekilde değiştiğinden, çok kere iki dik tekerlek için bir tahrik sistemine gereksinme vardır.

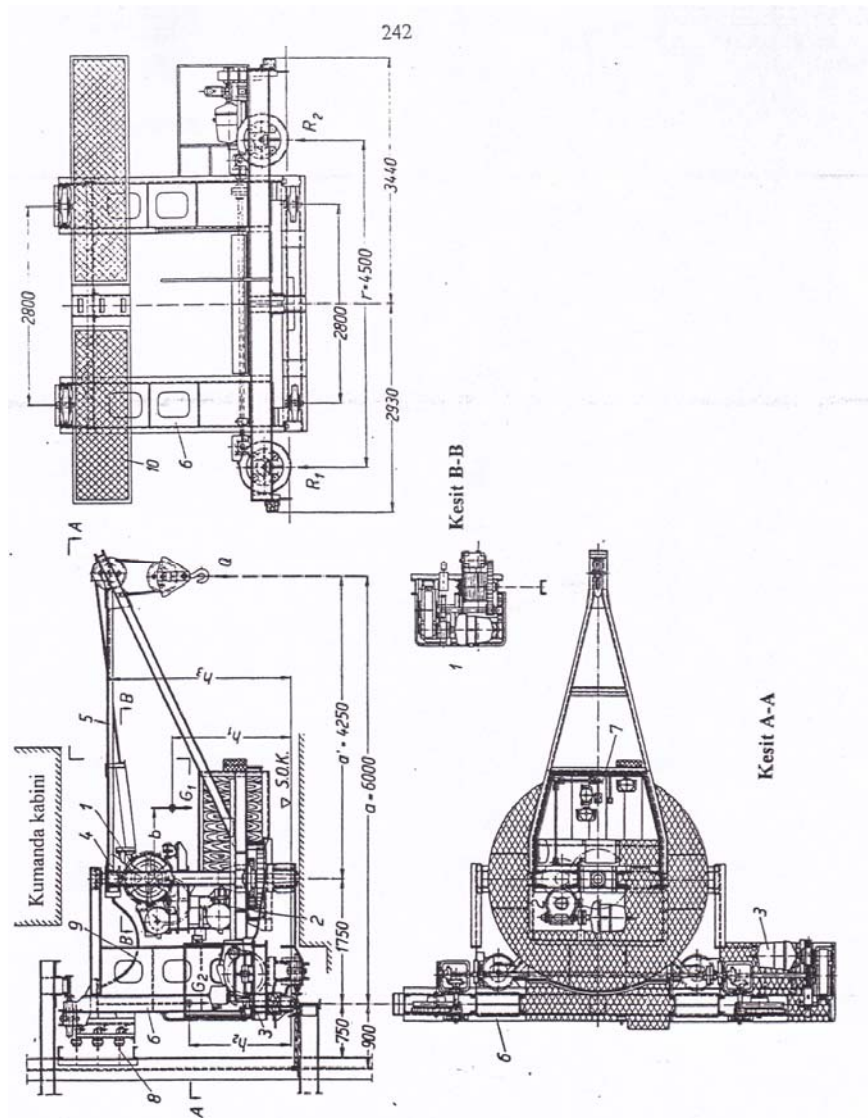
Taşıma yükü 2.....20t

Açıklık 4.....12,5m

Kren hareketi 20.....125m\dak

Kaldırma hızı için elektrikli ceraskallara bakınız.

Bumun iletim yoluna dik durması yatay tekerleklere ve bumun iletim yoluna paralel olması durumunda ise dik tekerleklere max tekerlek kuvvetleri tesir etmektedir.



Şekil 2.8 : Konsollu döner kren.

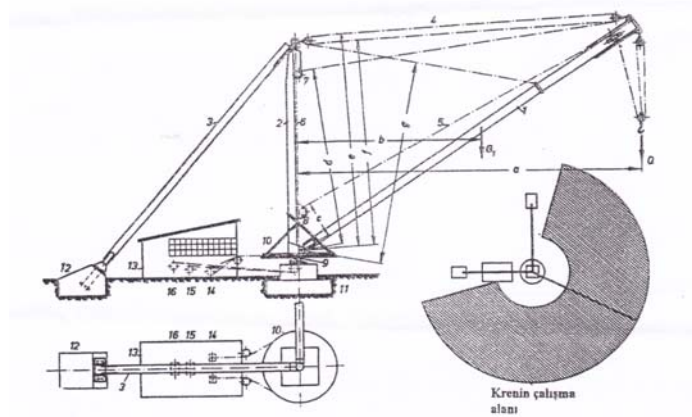
1 Kaldırma sistemi, 2 Döndürme sistemi, 3 Kren hareket sistemi, tahrik her iki dik tekerlekten, 4 Döner sütun, 5 Döner bum, 6 Hareket çerçevesi, 7 Kumanda yeri, 8 Ana akım telleri, 9 Akım ileten kıvrılabilir kablo, 10 koruyucu kafes

Krenin hareketi esnasında pozitif ivmelendirme ve fren kuvvetlerinin dikkate alınması halinde $DE \geq 1,3$ olmalıdır. Dik tekerleklerin hepsinin frenlemesi halinde atalet kuvvetleri kütleleri 1/7 kadar kabul edilebilir.

2.4.4 Derrik kren (Direkli Kren)

Derrik krenler inşaat ve montaj krenleri olarak ve çok kere taş ocaklarında kullanılırlar. Dönen sütunun (direğin) üst yatağı üç ayaklı destek burada sütun bu desteğin üçüncü ayağını oluşturmaktadır veya bir çok halat tarafından tutulurken alt yatak zemine veya kren platformuna oturtulur (Şekil 2.9) (Demirsoy, 2005). Destekler dönme açısını yaklaşık 250° ile 270° de sınırlarken halatlarla bağlantı 360° dönebilme olanağını mümkün kılabilmektedir. Bugün kullanılan derrik krenlerin taşıma kapasileri 20 tona (300 t) ve açıklıkları 50m'ye kadar olmaktadır.

Orta direk ile beraber direk ayağındaki bir küresel başlığa dönebilir şekilde yataklanmıştır. Dönme hareketi büyük krenlerde elektrikle direk ayağındaki çembere halatların sürtünmesi ile veya direk ayağındaki bir dişlinin bir dişli kutusu üzerinden tahrik edilmesiyle gerçekleşir. Çeşitli hareketler nedeniyle çok kademeli kalkışı mümkün kılabilmek için alternatif akım bilezikli asenkron motorlar kullanılır. Derrik krenin bütün tahrik sistemi direğin alt kısmı ile irtibatlı olarak bir kabinin içine yerleştirilmiştir. Bu krenlerin yapımında önemli olan inşaat yerinde diğerine kolayca nakledilip, hızlı bir şekilde krenin monte edilip parçalara ayrılabilmesidir.



Şekil 2.9 : Tahtadan yapılmış derrik kren.

1 Çekilebilir bum, 2 Döner direk, 3 Desteğin eğik bacağı, 4 Palanga, 5 Kaldırma halatı, 6 Döner disk, 7 ve 8 Yön verici makaralar, 9 Direğin (2) yatakladığı küresel baş, 10 Direği döndüren halat disk, 11 ve 12 Temeller, 13 Tahrik sistemleri kabini, 14 Döndürme tamburu, 15 Çekme tamburu, 16 Kaldırma tamburu

Orta direk, bum ve destek direkleri dolu gövdeli veya kafes kiriş sisteminde yapılır. Dolu gövdeli (çelik borulardan) yapım şekli çok kere küçük taşıma kapasitelerinde ve ölçülerinde ön planda tutulur. Mümkün olabilecek yer değiştirmeleri nedeniyle hafif yapım şekli, kolay ayrılabilir ve basit bir şekilde tekrar birleştirilebilir ve hatta nakliyeğe uygun konstrüksiyona özellikle önem verilmelidir.

Krenin dönme hareketi bir çıkırık ile sağlanır. Döner sütunun alt kısmına tespit edilen çember şeklindeki köşebent üzerinden yönlendirilen ve uçlarına bağlanan gerdirme civataları ile ve ayarlanabilen iki halat ile yapılır.

Halatın her iki ucu tamburlara sarılmış olup krenin döndürülmesi esnasında halatın bir ucu sarılırken, diğer ucu aynı anda serbest bırakılır.

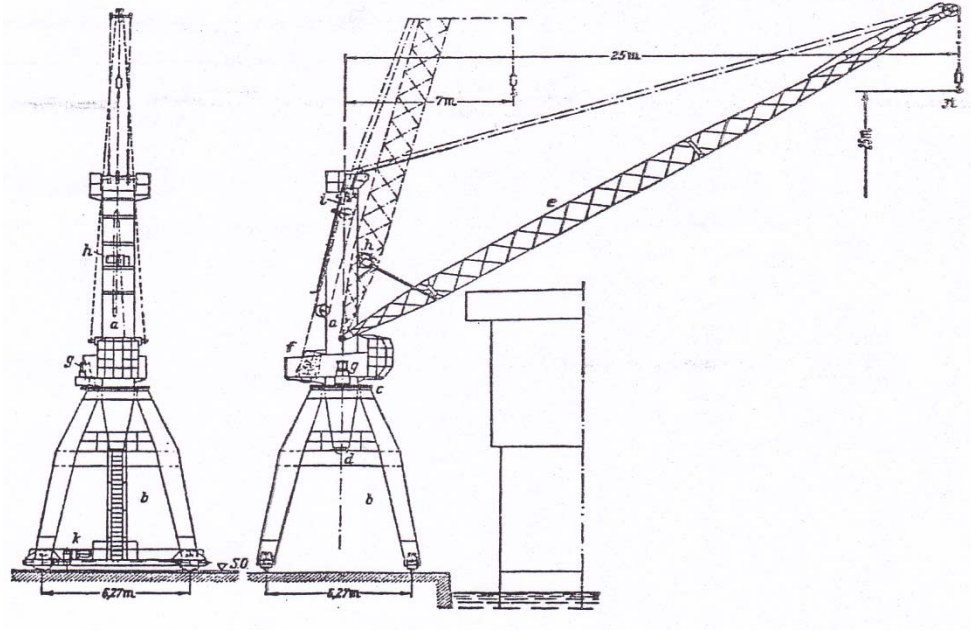
Krenin her hareketi-kaldırma, çekme, döndürme-duruma göre bir dişli kutusu üzerinden elektrikli veya içten yanmalı bir motor ile yapılır.

2.4.5 Ayaklı döner krenler (Blok sütunlu krenler)

Bu tür krenler genellikle büyük depolama alanlarında ve limanlarda kullanılmaktadır. Kren, raylar üzerinde hareket eden ayaklar üzerine oturtulmuş olup ayaklar arası açıklık prensip olarak tek veya çift kren rayları üzerinde köprü oluşturacak şekildedir. Küçük krenlerde üç ayak, fakat genellikle dört kullanımı söz konusudur. Ayakları bağladığı gövde, dolu gövdeli yapım şekilde yapılır. Burada mümkün olduğunca narin yapım şekli ve ayaklar arasında büyük bir serbest alanın bırakılmasına dikkat edilmelidir (Şekil 2.10) (Demirsoy, 2005).

Tamburdaki halat çekme kuvveti, halat makaranın verimi ($\eta=0,959$) nedeniyle daha büyüktür. Bumun çekilmesi durumunda manivela kolu durumları değiştiğinden, aynı yükte halat çekme kuvveti S azalır. Bu nedenle küçük bum açıklığında daha büyük bir taşıma kapasitesine müsaade edilir

Krenin dönme hareketi bir tahrik sistemi ile sağlanır. Döner sütunun alt kısmına yerleştirilen tahrik mekanizması ile sütunun dönmesi gerçekleştirilir.



Şekil 2.10 : Ayaklı döner kren.

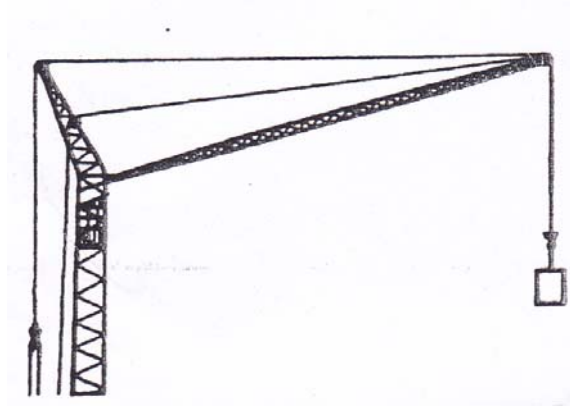
a Blok sütun, b Ayak, c Üst boyun yatağı, gövde üzerine oturan çember ile sütun için makaralar, d Alt boyun ve destek yatağı, e Salınım hareketi bum, yatay yük yolu, f Kaldırma sistemi, g Döndürme sistemi, h Kremayerli salınım mekanizması, i Karşı kütle, k Hareket sistemi

2.5 Döner Kule Krenleri

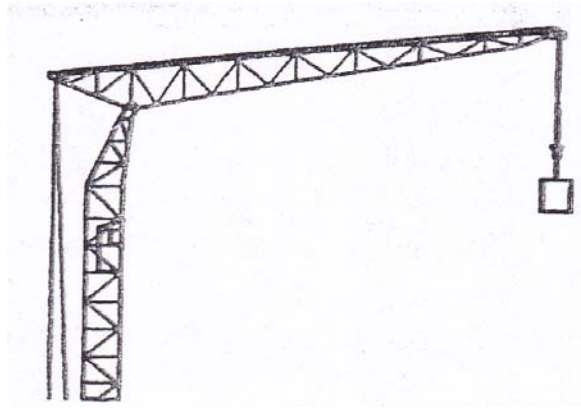
Döner kule krenlerinde karakteristik olan özellik, onun kule şeklindeki duran direği ile büyük açıklıkta ve yüksekteki bumu'dur. Faydalı yönleri: küçük oturma alanı, büyük kaldırma yüksekliği, büyük bir yükleme açıklığı ve yükün hassas bir şekilde hareketidir. Döner kule krenlerde bum çekilebilir, salım hareketi yapabilir veya sabit yapılarak üzerinde kedi hareket ettirilebilir.

Çekilebilir bum (Şekil 2.11) (Demirsoy, 2005), kule ucunun alt kısmında dönebilir şekilde yataklanmış olup makaralar üzerinde hareket eden tutma halatı aşağı ve yukarı doğru salınım hareketi yapmaktadır.

Salınım kirişli bum (Şekil 2.12) (Demirsoy, 2005) kule ucuna yerleştirilmiştir. Bumun hareketi kirişin kısa ucuna tesir eden bir halatla veya kaldırma halatı ile gerçekleşir.



Şekil 2.11 : Çekilebilir bum.



Şekil 2.12 Salınım kirişli bum.

Kedili bum kule ucunun altına yatay olarak asılmış ve kule ile beraber 360° döndürülebilir. Kulesi sabit olan döner kule krenlerde çan tipi yatak kullanılır. Kulenin dönme hareketi yapması halinde ise sütunlu bir yatak kullanılır. İyi bir görüş sağlanabilmesi için kumanda kabini kulenin üst kısmına yerleştirilir.

Kısmen büyük yapım yükseklikleri ve bum açıklıkları ve aynı zamanda ağırlık tasarrufu nedeniyle kren kafes kiriş sisteminde yapılmaktadır. Yeterli derecede bir durma emniyetinin sağlanabilmesi için alt arabaya veya kulenin alt kısmına karşı kütle öngörülür.

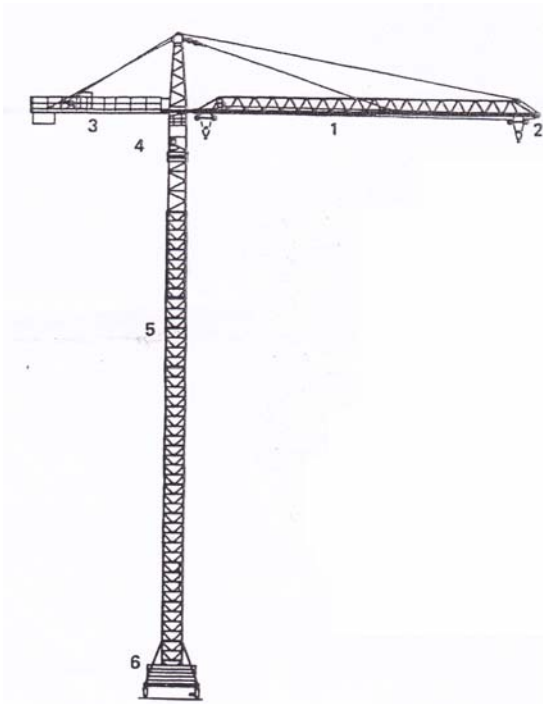
Konstrüksiyonda aşağıdaki hususlara özellikle dikkat edilmelidir:

- Hareket sistemi küçük eğrisel hareketlere göre tasarlanmalı(Tekerlek oturakları uygun şekilde tasarlanmalı),
- Sistemin toplam ağırlık merkezi alt karşı kütle (çakıl, beton blokları v.s) ile mümkün mertebe aşağıya çekilmeli,
- Yavaş bir şekilde artan inşaat yüksekliklerine ulaşabilmek için kule ara parçaları kolay monte edilebilmeli,

- Kren inşaat yerinde kolayca dikleştirilebilmeli ve yatırılabilmesi,
- Kolay sökülebilmeli ve çok kere genel yollardaki nakliye nedeniyle parçalar ağır olmamalı (Şekil 2.12) (Demirsoy, 2005).
- Büyük kaldırma yüksekliklerin gerektirdiği uzun tamburlar nedeniyle, halatlar iki sıra halinde sarılabilmektedir.

2.5.1 Kulesi sabit döner kule kreni

Kule alt araba ile sabit bir şekilde bağlanmıştır. Bum, kulenin üst kısmında sabit bir sütun veya bir döner çember üzerinde dönebilir şekilde yataklanmıştır. Halatla çekilen bir kedi (araba) ile donatılmış olan ve yataya paralel olan bum, uzantısına yerleştirilen karşı kütle ile dengelenmektedir. Kaldırma ve kedinin hareket sistemleri karşı bm üzerinde, döndürme sistemi ise döndürülen kısmın üst yatağında oturmaktadır. Bu şekilde işletme esnasında yalnızca kren hareket sistemine kolayca ulaşılabilmektedir. Durma emniyet için kulenin alt kısmında merkezi karşı bir kütle bulunmaktadır (Şekil 2.13) (Demirsoy, 2005).



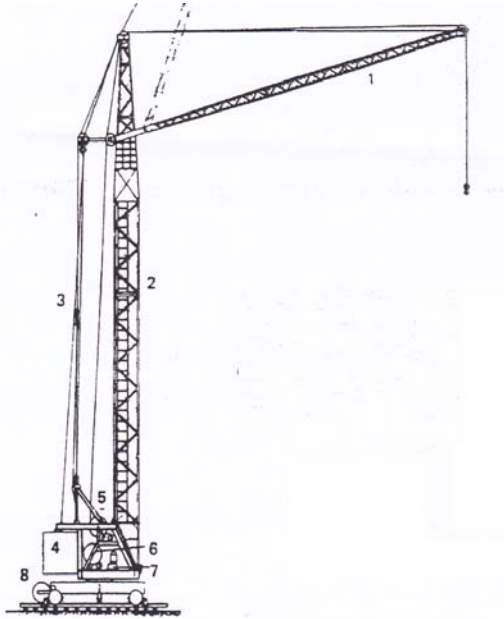
Şekil 2.13 : Kulesi sabit döner kule kreni.

- 1 Karşı bumlu sabit bum ve üst karşı kütle
- 2 Tel halatla hareket eden kedi
- 3 Kedinin kaldırma ve hareket sistemi
- 4 Döndürme sistemi
- 5 Merkezi alt karşı kütleli sabit kütle
- 6 Hareket sistemli alt araba

2.5.2 Kulesi dönebilen döner kule kreni

Bu yapım şeklinde kuleler alt arabaya yerleştirilen döner çember üzerinde yataklanmıştır. Küçük yapım şekillerinde dolu gövdeli konstrüksiyonlar da (kule bum borulardan) kullanılmaktadır. Kule ucunun altına veya kulenin ucuna sabit olarak yerleştirilmiş basıya veya burkulmaya zorlanan eğilmeye karşı katı olan bir bumun kullanımı söz konusudur. Basıya veya burkulmaya zorlanan bum toplam yükün azalmasına tesir etmektedir. Kaldırma ve salıncak halatları kuleye paralel olarak bumun karşı tarafından alt araba üzerinde monte edilmiş olan çıkırık mekanizmasına iletilerek üst kısımdaki, karşı kütle devreden çıkarılmış olur. Bumun karşı tarafında bulunan alttaki karşı kütle bir manivela kolu ile desteklendiğinden rölatif olarak küçük tutulmalıdır.

Döner kule krenleri inşaat işlerinde kullanıldıklarından çok kere sökölüp, birleştirilmeleri, kaldırma kapasiteleri, kaldırma yükseklikleri ve açıklık yönünden inşaat yerinin gereksinmelerine uymaları gerekmektedir. Bu nedenlerle bunlar standartlaştırılarak ve gereksinmelere uygun şekilde kolay monte edilebilecek gruplardan oluşturulmuşlardır (Şekil 2.14) (Demirsoy, 2005).



Şekil 2.14 : Kulesi dönebilen döner kule kreni.

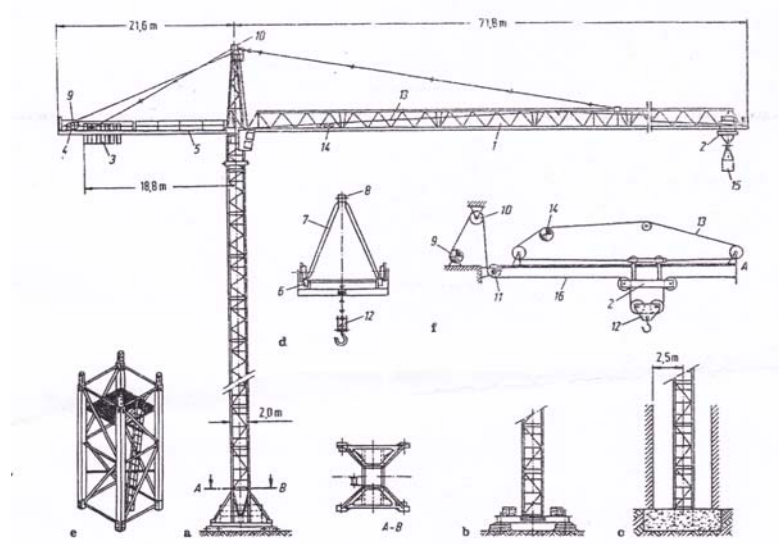
- 1 Salıncak bum
- 2 Döner kule
- 3 Gerdirme halatı
- 4 Alt karşı halat
- 5 Kaldırma sistemi
- 6 Salıncak sistemi
- 7 Döndürme sistemi
- 8 Alt araba tahrik sistemi ile bilyalı döndürme

Kulesi dönebilen döner kule kreninin, sabit kuleli yapım şekline göre esas faydaları şunlardır:

Aşırı yüklemeye karşı emniyet sistemleri, müsaade edilen yük momentinin aşılması durumunda kaldırma hareketini durdurmaktadır. Taşıma elementleri dört köşe boru profillerinden veya açık hadde profillerinden oluşan hafif kafes kiriş konstrüksiyonlarıdır (Şekil 2.15 e). Döner kule krenleri inşa edilecek bir binanın yanında sabit bir temel üzerine oturtulabilir (Şekil 2.15 c) veya raylar üzerinde (Şekil 2.15 a) hareket edebilir. Viraj hareketi de mümkündür.

Döner kule krenleri bir tırmanma mekanizması ile donatılabilir ve bu şekilde bunların kule yüksekliği artan bina yüksekliği ile artabilir. Bugün, ucunda sabit bir halat makarası bulunan, kalkıp inebilen bum 1 veya yatay olarak sabit duran bum üzerinde 80m/dak ile hareket eden kedisi 2 bulunanlar tercih edilmektedir. (Şekil 2.15 a). Kedinin hareket yolu iki açık hadde profilinden veya dört köşe boru profilinden 6 oluşmakta ve bunlar diyagonaller 7 ve dört köşe boru profilleri ile bir üçgen kren kirişi olarak kaynak edilmektedirler (Şekil 2.15 d). Bum

üzerindeki kaldırma halatı tamburdan 9 iki sabit makara 10 ve 11 üzerinden kiriş 1 boyunca kedi 2 ve alt makara takımları 12 üzerinden kiriş ucundaki sabit noktaya A iletilir. (Şekil 2.15 f) Kedi kapalı bir halat sistemi 13 yardımıyla kedi hareket sistemi 14 tarafından hareket ettirilir. Kısmi yüklerde kaldırma hızı (125 m/dak'ya kadar) uzaktan kumanda edilen bir dişli kutusu (dört kademeli) ile artırılabilir. Kaldırma ve kedi hareketinin tahrik sistemleri için kutupları değiştirilebilen kısa devre rotorlu, bilezikli asenkron motorları girdap akımlı frenleri ile beraber, özel durumlarda ise kumanda edilebilen elektrikli motorları veya hidrostatik tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Döner kule krenleri zincirli paletler, küçük olanları lastik tekerleklerle yollarda hareket edebilecek çerçeveler üzerine oturtulabilir.



Şekil 2.15 : Döner kule kreni.

a Üst tarafı dönebilen, bum üzerinde kedisi hareketli ve döner kule kreni(kesit A-B) b Sabit çerçeve, c Kren sütunu beton zemine tespit edilmiş, d Kren bumunun 1 kesiti e Pimlerle birleştirilen kule elementi, f Kaldırma halatı 16 ve kedi hareket halatının 13 yönlendirilmesi.

2.6 Tırmanan Krenler

Artan inşaat yükseklikleri, açıklıkları ve kaldırma kapasiteleri nedeniyle, kule krenlerde yeni konstrüksiyonlara gidilmiştir. Bu tür büyük parametrelerinde krenler parçalara ayrılmadan bir yerden bir nakledilip kurulamazlar. Böyle durumlarda tırmanan krenler, kulelerini kendi mekanizmaları yardımıyla istenen kaldırma yüksekliğine yükseltebilirler.

Bu krenler prensipte üst kısma yerleştirilen sabit sütun etrafında döndürülürler. Bunların bumu çekilebilir (Şekil 2.11) veya üzerinde kedi hareket edebilecek şekilde donatılırlar.

Tırmanma için iki durum söz konusudur:

- Kule artan inşaat yüksekliği ile diğer kule elementlerinin yerleştirilmesiyle uzatılır (tırmanan kule kren)
- İnşaat yerinde(tercihen asansör boşluğu) bir tırmanma çerçevesi tespit edilir ve kule yukarıya doğru çekilir(katlara tırmanan kren)

2.6.1 Tırmanan kule kreni

Zemine tespit edilmiş olan kule üst kısmından uzatılabileceği gibi veya komple kule kaldırılarak kule elemanları alttan yerleştirilir. Her iki metodun iyi ve kötü yönleri

vardır. İlk metotta kule kalıcı sabit şekilde tespit edilmiş olup ikinci metotta ise montaj işlerinin yüksekte yapılmasına gerek kalmamaktadır. Kulenin üst kısmından yükseltilmesini Şekil 2.16 (Demirsoy, 2005) da göstermektedir. İnşaat zeminine tespit edilmiş olan sabit kulenin üzerindeki bir kule çanı artan inşaat yüksekliği ile tırmanmaktadır. Tırmanma, bumin her bir elemanın (1) bir makara yardımıyla üst kısma oluşturulmasıyla gerçekleşir.

Bu şekilde krenin üst parçası (çan) kule parçası (3) üzerinde tırmanır. Çan, kreni kendi kuvveti ile yukarı doğru çeker.

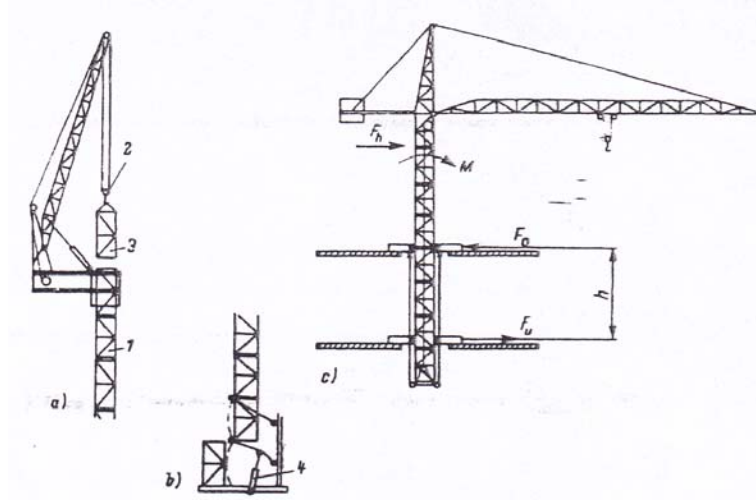
Alttan kulenin uzatılması özel bir tırmanma mekanizmasını gerektirir. Yukarıda çekme işlemi için makara takımları, gal zincirleri, mekanik veya hidrolik krikolar 4 kullanılır.

2.6.2 Katlara tırmanan kren

Bugün 100m'nin üzerine çıkmış olan yüksek inşaatlar için katlara tırmanan kren kullanılır. Bu genel olarak binanın asansör boşluğuna yerleştirilmekte ve kendi kaldırma sistemi ile yukarı doğru yükseltilmektedir. Yalnız, binanın kren yatak kuvvetlerini karşılayabilmesi gerekir (Şekil 2.16 c) (Demirsoy, 2005).

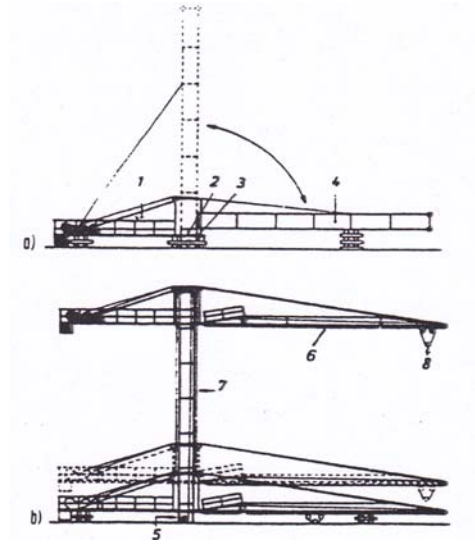
Tırmanan krende, krenin her iki ucuna tırmanma halatları yerleştirilmiştir. Krenin ayak ucuna yerleştirilmiş olan tırmandırma çıkırığı, makaralar üzerinden tırmandırma halatını çekmekte ve böylece makaraları yukarıya kaldırılmaktadır. Tırmandırma halatları kule ayağındaki dört makara ile bütün kreni diğer kata kadar yükseltmektedir.

Şekil 2.17 (Demirsoy, 2005) a ve b katlara tırmanan bir krenin montajının gelişimini göstermektedir. Tek taraftan açık olan kule çanı 2 ayak elementi 3 üzerine yerleştirilir. Karşı bumin 1 inşa edilmesi birleştirilmiş olan kuleye 4 yerleştirilir ve kule çanına 2 bağlanır. Bumin 6 montajdan sonra tırmanma çıkırığı 5, bu çıkırığın halatı 7 ve bütün bum çalışma konumuna 8 getirilir.



Şekil 2.16 : Tırmanma işlemi.

a) Kule elementinin üstten uzatılması, b) Kule elementinin alttan uzatılması, c) Katlara tırmanan krenin 1,3 Kule elementi, 2 Alt makara takımı, 4 Hidrolik krikol



Şekil 2.17 : Bir Tırmanan krenin montajı.

a) Hazırlanma, b) montaj şekli
1 Karşı bum, 2 Kule çanı, 3 Ayak parçası 4 Kule, 5 Tırmandırma çıkırığı, 6 Ana bum 7 Tırmandırma halatı, 8 Çalışma konumu

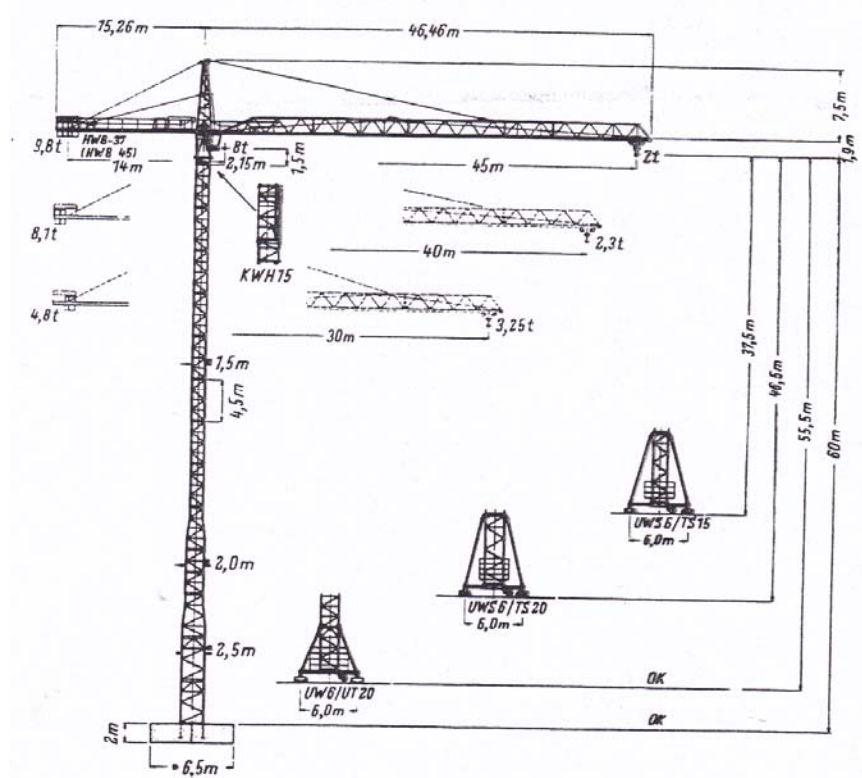
Krenin sökülmesi inşaatın bitimi ve krenin konumu ile ilgilidir. Çok kere kren gruplarını tekrar zemine indirmek için ilave kaldırma sistemine (örneğin derrik krenler) gerek vardır.

Tırmanan krenin hatalı yönü, genel olarak binanın uzunluğuna olan hareketlerinin olmamasıdır. Bu durumun daha büyük açıklarla (bum uzunlukları ile) dengelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle tırmanan krenlerin kullanma olanakları küçük alanlı ve fakat yüksek inşaatlara sınırlandırılmıştır.

2.6.3 Üniversal tırmanan kren

Tırmanan krenlerin mümkün oldukça çok yönlü kullanılabilmeleri için üniversal tırmanan krenler yapılmıştır. Örneğin, bir inşaatın dışında ve içinde sabit olarak veya binanın yanında raylar üzerinde hareket edebilecek şekilde kullanılabilirler. Bu krenlerin bumu kısmen kedi için kombine bum olarak ve yük altında değiştirilebilir veya yatay yük yollu salıncak bum şeklinde birleşik olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde kulesinin ve bumun montajında veya sökülmesinde bunların uzunlukları değiştirilebilir. 30 ila 50m'ye kadar olan açıklıklar artık nadir olmaktan çıkmıştır. Şekil 2.18 (Demirsoy, 2005) ile böyle bir üniversal tırmanan krenin teknik değerleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sabit krende kaldırma yüksekliği 60m iken hareketli krende 55m olmaktadır.

45m'lik max bir açıklıkta kaldırma kapasitesi 2t'dur. Krenin kulesi ile bumu borudan kafes kiriş sistemi olarak yapılmıştır. Bu krenin diğer teknik olanakları şöyledir: kaldırma sistemi için blok dişli kutusu, bilezikli asekron motoru, aka hasas hareket basamaklı girdap akımlı fren, çift papuçlu fren, alın dişli döndürme sistemi, bina dışında kule tırmanma mekanizması, bina içinde kullanma durumunda tırmanma mekanizması.



Şekil 2.18 : Üniversal tırmanan kreni.

Şekil 2.18 ile verilen üniversal krenin hareketli tipinin alt arabasını göstermektedir. Profil malzemeden kaynaklı olarak imal edilen alt arabanın toplam yüksekliği 9m'dir. Bu dört adet bası çubuğu, dört mafsallı ve dönebilir şekilde düzenlenen tekerlek oturakları, dişli kutuları izoleli iki tahrik sistemi (5,5 kW), turbo kavrama, disk fren, 110m hareket yolu için kablolu tambur ile donatılmıştır. Hareket hızı 20 veya 30m/dak'dır.

2.7 Araç Krenler

DIN 15001, yaprak 1(kasım 1973)'e göre kaldırma sistemleri ile donatılan araç krenleri yol veya ray üzerinde hareket etmekte olup döner buma sahiptirler. Bunların çok yönlü kullanılmaları nedeniyle yolda hareket eden araç krenleri, ray üzerinde hareket edenlerden genel olarak çok daha büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca mobil kren (pnömatik lastikli veya dolu lastikle donatılmış alt araba), oto kren (kamyon şasi özelliklerine sahip pnömatik lastikli alt araba) gibi araç krenleri kullanılmaktadır. Mobil kren ile oto kreni birbirinden ayırt etmek çok zordur.

Mobil kren sınıfına girenler:

1. 20km/h hızın altında yavaş hareket eden ve kren üst arabasında yalnız bir tahrik motoru ve kumanda kabini olan makinalar
2. 20km/h hızın üzerinde hareket eden çift akslı, tek motorlu (veya paletli) şasi ve üzerine kumanda kabini yerleştirilmiş krenler (oto kren karakterli mobil kren)

Oto kren sınıfına girenler:

1. 20 km/h hızın üzerinde hareket eden, iki enerji kaynaklı-biri şasi ve diğeri kren üst arabası üzerinde- ve iki kumanda kabinli- biri yol hareketi ve diğeri krenin çalıştırılması için- krenler
2. 20km/h hızın üzerinde hareket eden tek enerji kaynaklı iki veya çok akslı, fakat iki kabinli- biri yol hareketi ve diğeri krenin üst arabası üzerinde (bugün en çok kullanılan oto kren konstrüksiyonu)-krenler

Prensip olarak mobil krenler, oto krenlere göre daha kompakt ve hareket kabiliyeti fazla olup işyerleri ve depolar için uygun olmaktadır.

Tahrik sistemi olarak araç krenlerinin tamamına yakını Diesel motoru kullanmakta, yalnız çok küçük tesislerde bazen bataryalı elektrikle tahrik kullanılmaktadır. Diesel

motorun en büyük faydası ekonomik ve elektrik şebesinden bağımsız olmasıdır. Hatalı yönü ise yük altında kalkış yapamaması ve zor ayar imkanını mümkün kılmasıdır. Burada unutulmaması gereken diğer bir husus egzoz gazı problemidir.

Kuvvet iletimi notmal olarak mekanik veya hidrolik ile yapılmakta ve hidrostatik sistem ağırlıktadır. Mekanik kuvvet iletimi basit olduğu gibi verimi de yüksektir. Hatalı yönü kullanmadaki zorluklar ve çok fazla aşınan parçalardan oluşmasıdır. Hidrolikle kuvvet iletiminde Diesel motoru bir hidrolik pompayı tahrik etmekte ve çalışma hareketleri basınçlı yağ (işletme basıncı dişli pompalarda 250-400 bar) ile yapılmaktadır. Bu kuvvet iletimi daha pahalı ve verimi daha düşüktür. Yalnız mekanik kuvvet iletimine göre daha az karışık ve çalışma hızları daha hassas ayarlanabilmektedir. Elektrikle kuvvet iletiminde Diesel motoru bir jeneratörü çalışmakta ve bu da gerekli kumanda sistemleri ile değişik makina takımlarını beslemektedir. Bu sistemin çalışma hızlarının kumandası daha kolay, basit ve daha hassastır. Kren çalışma yerini çok fazla değiştirilmesinde durumlarında, krenin kütlelerinin mümkün mertebe küçük olmasına dikkat edilmelidir. Arazide çalışma durumları için alt araba bütün tekerleklerden tahrik edilir. Aksi durumda tek akstan tahrik yeterlidir. Yumuşak zeminli arazide ise paletli tahrik sistemlerinin kullanımı yoluna gidilir.

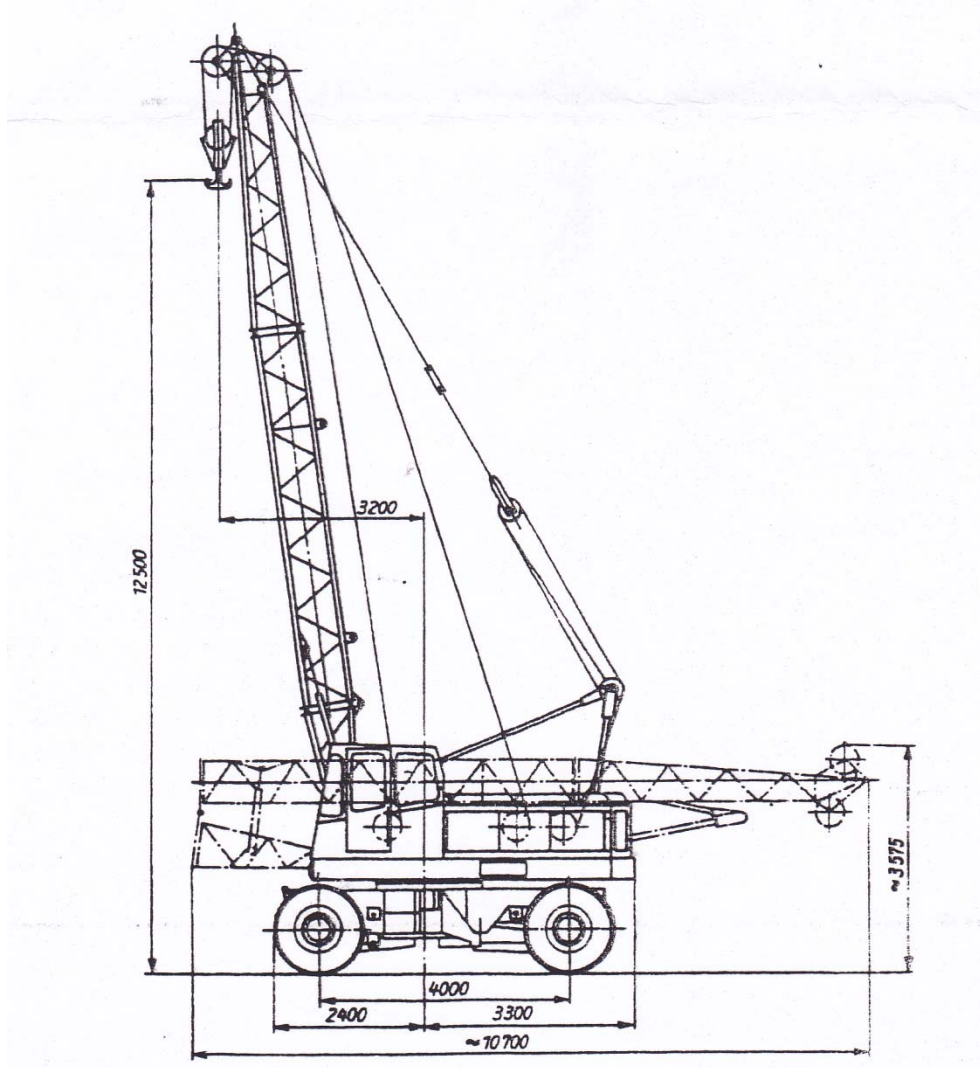
2.7.1 Mobil kren

Bu kren ağırlıklı olarak kısa mesafeler için öngörülmüş, orta araç hızlarına göre tasarlanmış ve oto krenlere göre kompakt bir yapım şekline sahiptir. Mobil krenin bumu 8 ila 10 m uzunluğundadır. 2 ila 3m uzunluğunda ara elemanlarla bum uzatılabilir. bir mobil krenin güç kapasitesinin kriterleri bum mekanizmasının yükseltilmesi ve sökülmesi zamanıdır. Çok kere uzun bumlar sökülmeden yatırılır veya bükülür. Yalnız nakliyat esnasında köprülerin altından geçebilmesi için kren yüksekliğinin 4m'yi geçmemesi gerekir.

Hareket halinde veya destekler üzerinde oturan krenin yana doğru kaldırma işlemlerinde, kaldırma kapasitesi maksimum kapasitenin yaklaşık %40 'ı kadardır. Alt ve üst arabanın bağlantısı, devrilmeye karşı emniyetli çift sıra bilyalı bağlantı ile sağlanmaktadır. İki akslı ve aks aralıkları küçük ve göbek serbestliği büyük olan mobil kren arazide oldukça hareketlidir. İki ve dört akslı hareket sistemi pnömatik lastiklerle donatılmıştır. Fren ve direksiyon sistemleri çok kere servo takviteli olup

diğer önemli parçalar araçlardan alınmıştır. Düşük araç hızları nedeniyle amortisörler yerine lastik takozlar kullanılmıştır.

Şekil 2.19 (Demirsoy, 2005) iki akslı, kancalı bir mobil kreni göstermektedir. Bu kren 3.2m açıklıkta, kaldırma kapasitesi 12,5t ve deteklenmesi durumunda ise 20t olmaktadır. Şekil 2.19 bu krenin açıklığı ve bum uzunluğuna göre verilmiştir.



Şekil 2.19 : Mobil kren.

Büyük kaldırma yüksekliğinde kütle merkezinin kaymasını ve büyük rüzgar yüklerini göz önünde bulundurarak kaldırma yükünün azaltılmasına dikkat edilmelidir. Böyle bir durumda kaldırma yüklerindeki azalma imalatçı firmanın diyagramlarında ve tablolarından alınabilir. Alt yapı ve döner üst kısım dolu gövdeli kiriş olarak sac ve hadde profilinden kaynaklı konstrüksiyon olarak imal edilir.

Mobil krenlerin teknik değeri yaklaşık aşağıda verilen değerler arasındadır:

Kaldırma kapasitesi:	1.....16 t
Max açıklık:	4.....16 m (sabit yük momentinde)
Hareket hızı:	10.....20 (40)km/h
Üst kısmın hareket hızı:	1.....6 m/dak

2.7.2 Oto krenleri

Oto krenlerinde normal olarak iki tahrik motoru bulunmaktadır. Şasi üzerinde oturan yüksek güçlü motor araç hareketini ve küçük güçlü olanı ise dönen üst kısım ile kren hareketini sağlamaktadır. Bunun en önemli özelliği yollarda yüksek hızlarda hareket edebilme imkanıdır. Bu nedenle araçlar için öngörölmüş olan max genişlik ve yükseklik, aks yükleri, ışılandırma gibi konstruktif özelliklerin dikkate alınması gerekir. Bunların kullanılma alanları özellikle köprüler, termik santraller gibi yüksek inşaatlardaki yapı ve montaj işleridir. Oto krenlerin yüksek hareket hızları nedeniyle çok sık yer değıştirebilmesi özellikle uygun olmaktadır.

Mobil kren ile oto kren arasındaki farklı sınırlandırmak hemen hemen mümkün değildir. Bugün artık gerek mobil krenler ve gerekse oto krenler yüksek araç hızlarında yalnızca bir tek tahrik motoru ile yapılmaktadır.

Yalnız mobil krenlerin yapım şeklinden farklı olarak oto krenin alt kısmı ve döner üst kısmı ayrı yapı grupları olarak yapılır. Büyük hareket hızları nedeniyle alt kısım için kuvvetlendirilmiş kamyon şasi ve alt takımları kullanılır. Krenin dönen üst kısmı salıncak tipi bumu ile beraber alt kısım üzerine yataklanır.

2.7.2.1 Teleskop oto kren

Büyük kaldırma yüksekliğinde bum, hafif olması ve rüzgar yükü nedeniyle kafes giriş sisteminde yapılır. Genel olarak ise çok parçalı teleskop bum dolu gövdeli imal edilir. Teleskop bum kısa bir donatım zamanını ve kolay hizmeti mümkün kılmaktadır. Makaralar üzerinde hareket ettirilen teleskop bumun her bir parçası mekanik kilit sistemi ile şekilsel birbirleriyle bağlanmaktadır. Yoldaki hareket için iç içe geçirilmiş bum destek için sürücü kabininin üzerine oturtulur.

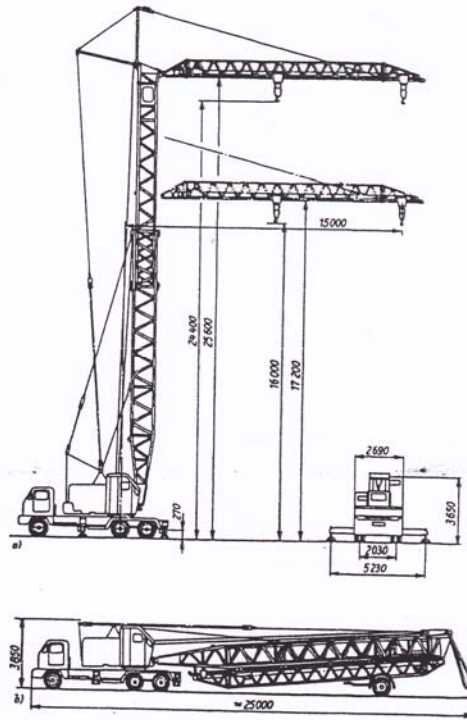
Paletli oto krenler arazideki çalışmalar için söz konusu olmaktadır. Çok ağır olmaları nedeniyle, hareketleri oldukça yavaştır ve ilave desteklerden kaçınılır.

Taşıma kapasiteleri:	8.....40 (200)t, sabit yük momentinde
Max. açıklık:	8.....20 (60) m
Kaldırma yüksekliği:	8.....40 (100) m
Hareket hızı:	50.....80 km/h
Üst kısmın devir sayısı:	1.....3 m/dak

2.7.2.2 Kafes kirişli oto kren

Kafes kirişli oto krenler ekonomik, emniyetli ve universal kullanılabilir olmalıdır. Oto krenin ekonomikliği ulaşılabilen taşıma kapasitesiyle doğrudan ilgilidir. Kısa açıklıklardaki maksimum değerlerden ziyade orta ve büyük açıklıklardakiler oldukça önemlidir. Bu krenlerin esas kullanıma alanları daha çok buralardır. Kafes kirişli oto krenler 20t'dan 1400t'a kadar taşıma kapasitelerinde yapılmaktadırlar.

Kafes kirişli oto krenin bumu büyük yük momentlerini iletebilecek ve bum değişik durumlara uyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek alaşımlı kaliteli çeliklerin kullanılmasıyla bum uzunluğu 100m'ye ulaşabilmektedir. Şekil 2.20 (Demirsoy, 2005) ile inşaat işlerinde kullanılan dik duran ana kule ve yatay bumu ile 8t taşıma kapasiteli döner kulali oto kren gösterilmiştir.

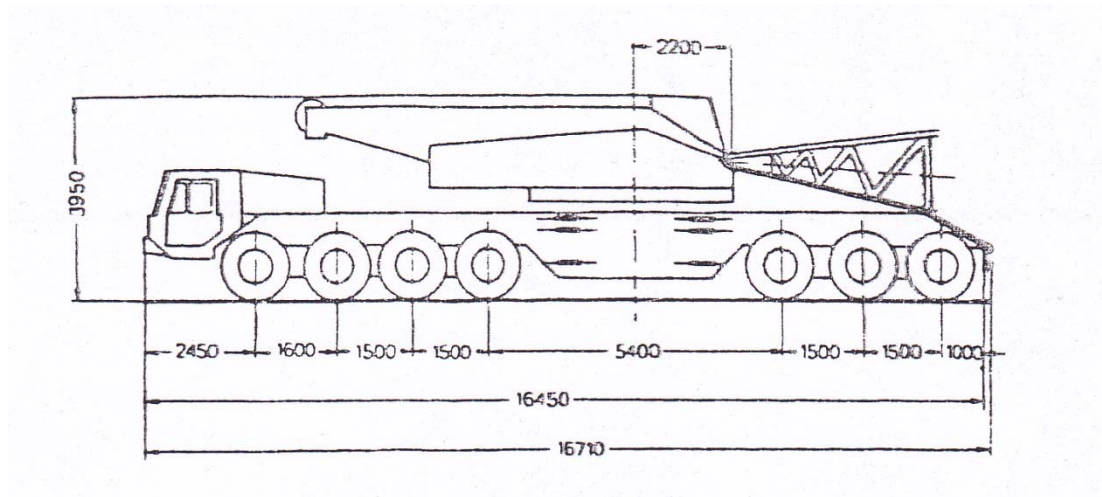


Şekil 2.20 : Döner kuleli oto kren.

a) Çalışma konumu, b) Hareket konumu

Araç şasisinin, üst arabadan gelen kuvvetleri ve momentleri karşılayabilecek durumda olması gerekir. Bu gaye için kren, kapanabilen veya teleskop şeklindeki desteklerle donatılır. Kaide olarak hidrolik ile çalışırlar. Küçük ve orta büyüklükteki krenlerin açılabilir destekleri vardır. 150t taşıma kapasitesinin üzerindeki krenlerde bu konstrüksiyon ağır olduğundan ve yeteri derecede mukavemetli olmadığından çanak konstrüksiyon kullanılmaktadır. Kuvvetler merkezi bir çanak tarafından diyagonal veya yıldız şeklinde (altı noktalı destek) düzenlenmiş olan desteklere iletilir.

En önemli problem oto krenin bir inşaattan diğerine naklidir. yapılanle ana sistem mümkün olduğunca hafif konstrükte edilmelidir, yani araç yollardaki hareket için trafik kanununun müsaade ettiği şartlara uygun, mümkün mertebe çok az aks sayısında ve aks yüklerinde olmalıdır. Taşıma kapasitesi 1000 t, yük momenti 70 000 kNm, dönme açısı 360°, ana ve uç bum uzunluğu 202m, Diesel motorun toplam gücü 576 kW, yol hızı 60,5 km/h, yol hareket kütlesi 118t, aracın toplam uzunluğu 23m, aracın toplam genişliği 3,25m aracın yüksekliği 4m, max döndürme hızı 0,42m/dak, halat hızları: 220k N halat yükünde max 58m/dak, hızlı çalışma durumunda 75k N halat yükünde max 58m/dak olan bir kren Şekil 2.21(Demirsoy, 2005) ile gösterilmiştir.



Şekil 2.21 250t Taşıma kapasiteli kafes kirişli oto kren.

2.7.3 Palet araç krenleri

Araç kreni olarak kafes kiriş bumlu paketli kren çok değişik bum konuları ile geniş bir yapım şekline sahiptir. Bum uzunlukları ara elemanlar yardımıyla değiştirilebilmektedir. Bu şekilde oluşan değişik kren çeşitleri, krenlerin hesaplanmasında ve yeni hesap yöntemlerini gerekli kılmaktadır.

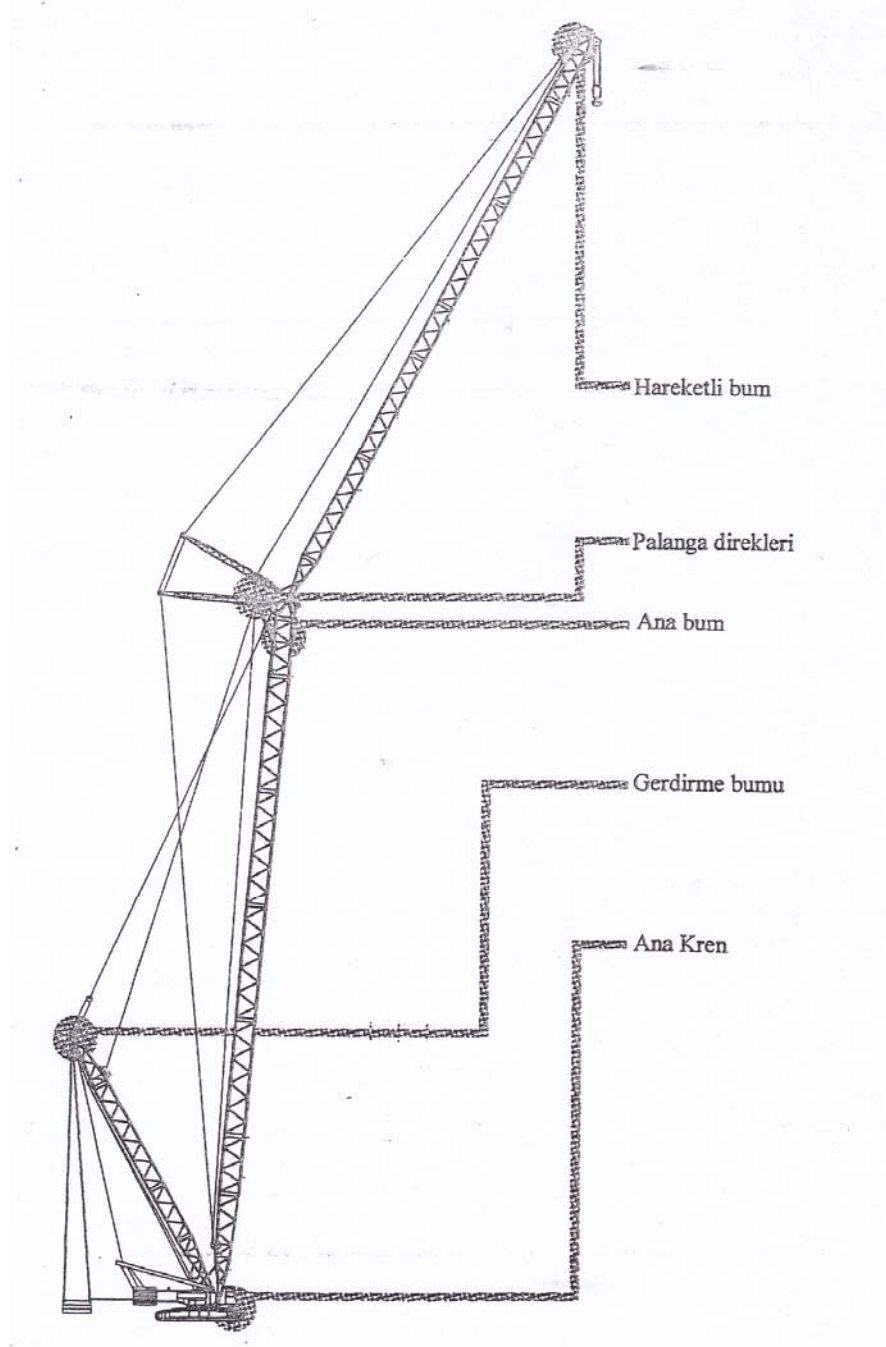
Kren sisteminin taşıma yönünden yapılan emniyet hesaplarında her bir çubuğun gerilme ve stabilite durumu tam olarak incelenmelidir. Bu hesaplar için yüksek kapasiteli bilgisayar kullanımı gerekli olmaktadır. Modern, yüksek kapasiteli bilgisayarın kullanılması ile son yıllarda kren yapısının hesaplanmasında büyük gelişmeler kaydedilmiştir.

2.7.3.1 Kafes kirişli bumlu paletli kren

Şekil 2.22 (Demirsoy, 2005), kafes kiriş bumlu paletli bir araç kreninin elemanlarını göstermektedir. Kafes kiriş bumlu paletli krenler şimdiye kadar 1000 t kaldırma kapasitesine ulaşabilmiştir.

Yüksek taşıma kapasiteleri ve kaldırma yüksekliğinin gerekli olduğu yerlerde kafes kiriş bumlu krenler kullanılmaktadır. Bunların kullanma alanları esas olarak büyük tesislerin, çelik inşaatları ile yüksek inşaatlardır. Özellikle bu sanayi tesislerinde ekonomik ve organizasyon nedenleri ile sisteme bağlanabilecek daima daha bileşenlerin ön montajına doğru gidilmektedir. Bu kullanımlar taşıma kapasitesi 3000t ve kaldırma yüksekliği 226 m olan kafes kiriş bumlu krenlerin geliştirilmesini ortaya çıkarmıştır.

Kafes kiriş bumlu paletli kren kaldırma işlemlerinin bütün avantajlarını sağlamaktadır. Krenin ekonomik olarak kullanımı garanti eden bu şekilde kurulabilme (montaj edilebilme) gelecek için önemli bir husustur. Bir iki işlemin dışında kren diğer donanımlara gereksinme duymadan operatörün yardımıyla çok çabuk monte edilebilme özelliğine sahiptir. Bu tür krenlerin çalışma alanına nakliyesi basit ve ekonomik olması için bütün bileşenleri optimum büyüklükte seçilmiştir. Böylece bir krenin taşıyıcısı ve araç gövdesi bir birim olarak nakledilmektedir. Bu özellik krenin montaj zamanını ve nakliye için gerekli alçak yükleyicilerin (low-loaders) sayısını minimize etmektedir.



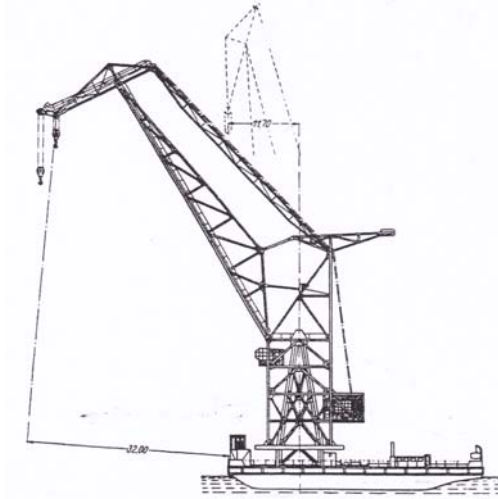
Şekil 2.22 : Kafes kirişli bumlu paletli araç kreni.

2.8 Yüzer Krenler

Yüzer krenler (Şekil 2.23) (Demirsoy, 2005) limanlarda malların aktarılmasında ve tersanelerde gemilerin donatılmasında ve tamir işlerinde kullanılırlar. Yüzer krenlerde hareket sistemi yerine kren bir duba üzerinde oturmaktadır. En basit şekilde böyle bir krende bum sabit veya hareketli olarak duba üzerindeki kaldırma sisteminden oluşturulmaktadır. Yüzer krenler iki gruba ayrılırlar; 16t'a kadar hızlı ve

büyük kaldırma kapasiteli yavaş hareket edenler, 50 ila 500t kaldırma kapasiteli (özel durumlarda 1200t'a kadar) malların limanlarda iletiminde kullanılan ağır krenler.

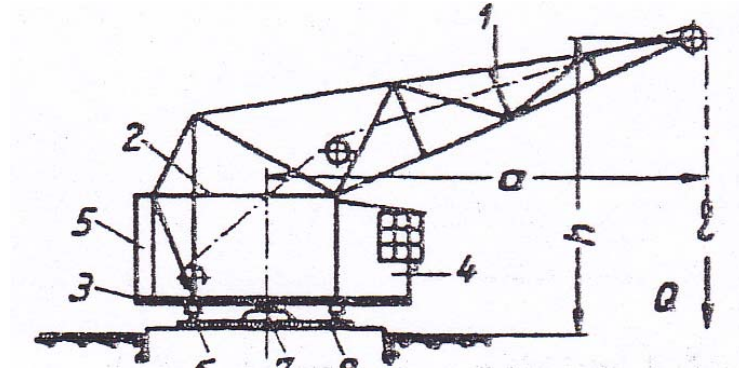
Dubanın durumu yük momentine ve krenin konumuna göre değişmektedir. En büyük duba eğimi yaklaşık 3 ila 5°dir. Öngörülen durma emniyet şartlarının yanında, yüzer krenlerin yüklü, ivme kuvvetleri ve rüzgar altında ($\approx 300\text{N/m}^2$) ve yüksüz olarak en kuvvetli rüzgar (≈ 800 ila 1300N/m^2) altında suya batması halinde 300 mm'lik bir serbest boyda kalabilmelidir.



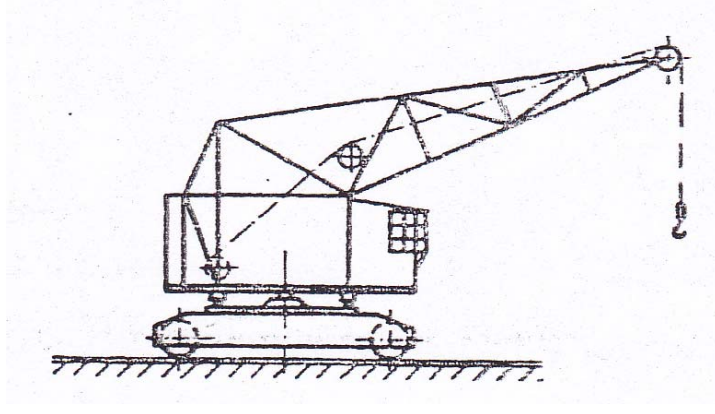
Şekil 2.23 : Çift yönvericili salıncak bumu olan yüzer kren.

2.9 Döner Diskli Krenler

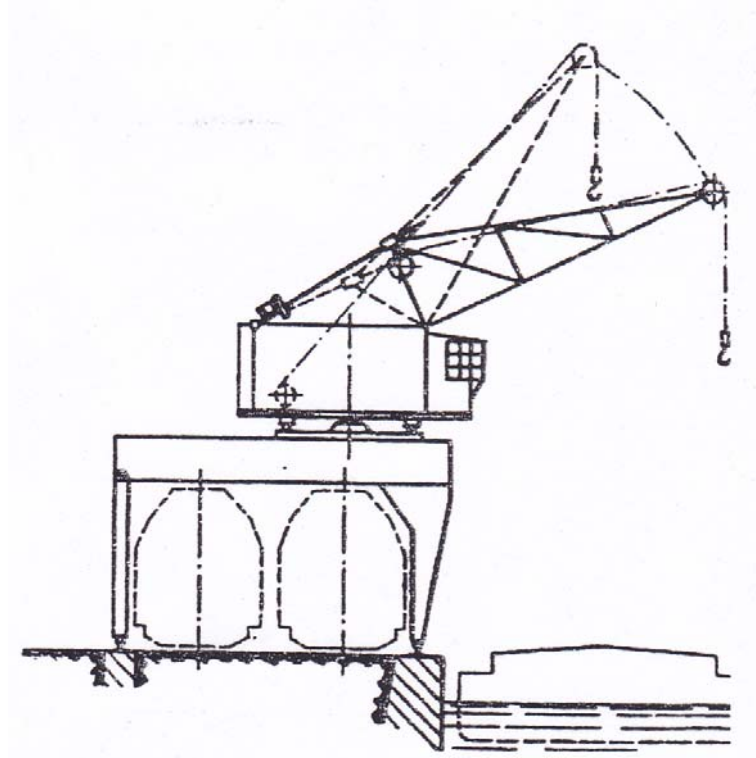
Bu krenlerde döner diske benzeyen dönen kısım dört veya daha fazla tekerlekle çember şeklindeki ray üzerinde oturmakta ve kral muylusu ile merkezlenmektedir. Kren, bundan 1 (Şekil 2.24) (Demirsoy, 2005), tahrik sistemlerinin korunduğu bir kumanda evinde 2, kaldırma ve döndürme sistemlerini taşıyan platformdan 3, kumanda organları bulunan kumanda kabininden 4, karşı kütlelerden 5, tekerleklerden 6, kral muylusundan ve çember raydan 8 oluşmaktadır.



Şekil 2.24 : Yerel olarak sabit döner diskli kren.



Şekil 2.25 Araba üzerinde oturan döner diskli kren.



Şekil 2.26 : Ayaklar üzerinde oturan bumu hareketli döner diskli kren.

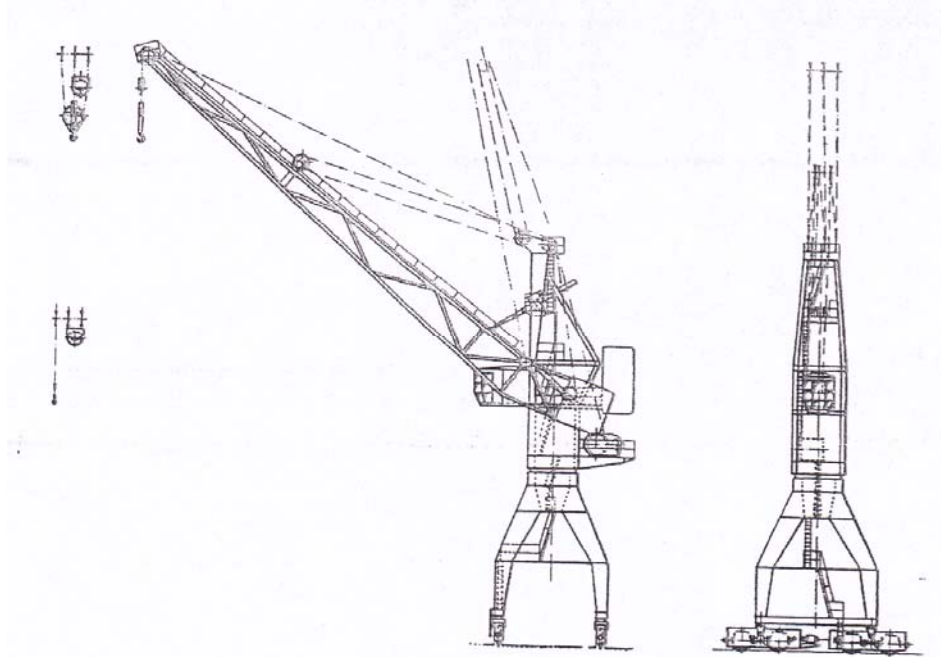
Çok değişik çalışma nedeniyle çok değişik yapım şekilleri geliştirilmiştir. Çok ender durumlarda döner diskli krenler Şekil 2.24’de gösterildiği şekilde yerel olarak sabit yapılır, çünkü böyle bir krenin taradığı çember çok kere yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu krenler daima bir alt araba (Şekil 2.25) (Demirsoy, 2005), ayaklar (Şekil 2.26) (Demirsoy, 2005) veya yarım ayaklarla hareketli yapılır.

Kaide olarak liman krenleri salınım hareketli krenlerdir. Salınım hareketli bumlu yük, bum çekilmesi esnasında yatay hareket eder. Salınım hareketinde kaldırma işi olmaması için bumun kütlesi dengelenir. Bu nedenle tam yükte salınım hareketi yüksek hızla gerçekleşir.

Çeşitli salınım sistemleri kullanılmaktadır ve bunlar üç ayrı grupta toplanmaktadır, şöyleki:

- a) Bum makarası bir çember üzerinde hareket eden krenler,
- b) Bum makarası yaklaşık olarak yatay hareket eden krenler,
- c) Bum makarası salınım esnasında diğer bir çeşit eğri üzerinde hareket eden krenler,

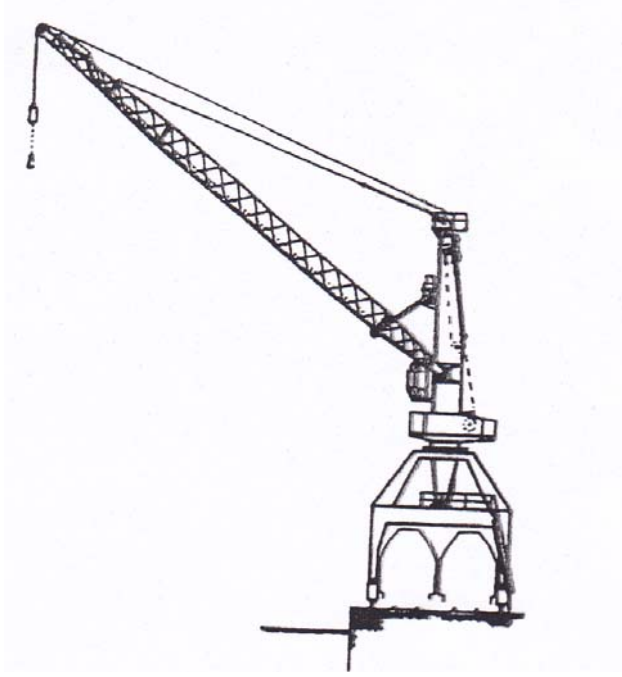
Çift yönverici kollu salıncak kren en çok kullanım alanı bulan krendir. Bum tahrik edilen bir ana yönverici 1(ana bum), baş yönverici 2 (yardımcı bum) ve yardımcı yönvericiden 3 (çeki bumu) oluşmaktadır. Salınım hareketi esnasında baş yönvericinin sonundaki gaga makarası yaklaşık olarak yatay bir yol çizmektedir. Halat uzunluğu sabit kalmaktadır. Bu şekilde ağır yükler için çok halatlı makara takımlarının kullanılması mümkün olmaktadır.



Şekil 2.27 : Parça mal iletiminde kullanılan tam ayaklı salıncak döner kren.

Şekil 2.27 (Demirsoy, 2005) ile parça mal iletiminde kullanılan tam ayaklı salıncak döner kren gösterilmiştir. Bu kren bir tek halat ve makara ile 8,3t, üç misli halat ve makara takımı ile 25t ağır mal iletilebilir. Bir geminin limandaki bekleme zamanı oldukça büyük masraflara neden olmaktadır. Bu nedenle liman krenleri mümkün olduğunca narin ve kısa bumla yapılarak çalışma esnasında birbirine mani olmaları önlenir. Parça mal ileten ayaklı krenlerin taşıma kapasitesi 2 ila 25 t ve max açıklıkları 20 ila 40 m arasında olmaktadır (Şekil 2.27). Krenlerin döndürülmesi için sütunlu veya bilyalı bağlantılar kullanılmaktadır.

Şekil 2.28 (Demirsoy, 2005). ile verilen tam ayaklı sütunlu döner kren, kafes kirişten hafif bir bum ile büyük açıklıklarda kendini kabul ettirmiştir. Ayaklar arasındaki büyük iz açıklığı nedeniyle karşı kütleden vazgeçilmiştir. Ayaklar 1 ila 3 demiryolu peronu üzerinde oturmakta ve kren 3 veya 4 ayaklı yapılmaktadır. Üç ayaklı kren daha az bir rıhtım yüzeyini kaplamakla beraber daha az emniyetlidir (Demirsoy, 2005).



Şekil 2.28 : Ayaklı sütunlu döner kren.

3. YÜKLEME HALLERİ VE MUKAVEMET DEĞERLERİ

Bir çelik konstrüksiyonda, dolayısıyla krende bir çelik konstrüksiyon olduğuna göre, ilk önce yükleme hallerini belirlemek gereklidir. Çelik konstrüksiyonda yükleme hallerini iki esasa göre tanımlayabiliriz.

1. DIN'e göre (Alman Standardı)
2. F. E. M'e göre (Avrupa Kaldırma Araçları İmalatçıları Birliği)

Bu iki esastan birinin seçimi konstrüktörün inisiyatifine bırakılmıştır.

3.1 DIN'e göre yükleme halleri ve mukavemet değerleri

3.1.1 DIN'e yükleme halleri :

- 1.Hal H hali
- 2.Hal HZ hali
- 3.Hal HS hali

Bu yükleme halleri şunu gösterirler.

3.1.1.1 Yüklemenin H-hali

Yüklemenin H-hali “ana yük” anlamına gelen almanca “Hauptlast” ifadesinin ilk harfi alınarak isimlendirilmiştir. Yani yapılan hesaplarda yalnızca ana (esas) yükten ileri gelen kuvvetler dikkate alınmış ve hesaplar buna göre yapılmış demektir. Genel olarak ana yük krene ait olan sabit ve hareketli parçalar ile yükten ileri gelen kütlelerdir. Bu kütle değerleri yerçekimi ivmesi ile çarpılarak, ayrıca Kaldırma yükü katsayısı ψ ve öz ağırlık katsayısı ψ ile çarpılarak büyütülür.

Ana yük deyince tam olarak ne anlaşılır?

- Krenin öz ağırlığının kuvveti, bu bütün kreni meydana getiren kısımların öz ağırlıkları demektir.Örneğin; kiriş, araba, çelik halatlar, kanca donanımı, traversler, kepçeler, magnetler, vb.
- “Kaldırma yükü kuvveti
- Tahrik ivmesinden ve frenlemesinden ileri gelen kütle kuvvetleri
- Yük darbelerinden ileri gelen kuvvet
- Platform öz ağırlığından ileri gelen kuvvet

3.1.1.2 Yüklemenin HZ-hali

Yüklemenin HZ-hali “ana ve ek” yükler anlamına gelen almanca “Haupt- und Zusatzlasten” ifadesinin ilk harfi alınarak isimlendirilmiştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında ek yükler de dikkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış demektir.

Ek yükler:

- Rüzgar kuvveti (DIN 1055 T4 den)
- Kasılmadan ve çarpık hareketlerden ileri gelen kuvvetler
- Isıdan ileri gelen kuvvetler
- Kar yükünden ileri gelen kuvvetler (DIN 1055 T5 den)
- Merdivenler, raflar ve korkulukların yük ağırlığından ileri gelen kuvvetler

İşletmede birim rüzgar kuvveti olarak genellikle $q_R = 250 \text{ N/ m}^2$ alınır.

Eğer krende bakım platformu varsa, bakım personeli ve takımlar veya yedek parçalar vb. için ek olarak, 3000 N yük kuvveti eklenir. Bu ilave yük kuvveti yalnız platform mukavemet hesabında kullanılır, kaldırma yükü ile yapılan hesaplarda kullanılmaz.

Kiriş hesaplarındaki varsayımlar şunlardır:

- Kren yolları istenilen şartlara uygun, yetişmiş bilgili elemanlar tarafından monte edilmiştir. Yani toleranslar (sapmalar) tamamen istenilen hassasiyettedir.
- Kuvvet tanımları en kötü şartlar için maksimum değer olarak alınmıştır.

Krenler işletmeye alınırken yapılacak işlemler DIN 15 030 dan alınmalıdır.

3.1.1.3 Yüklemenin HS-hali

Yüklemenin HS-hali “ana ve özel yükler” anlamına gelen almanca “Haupt-und Sonderlasten” ifadesinin ilk harflerinin alınmayla isimlendirilmiştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında özel yükler de dikkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış demektir.

Özel yükler:

- Kreni işletmeye alırken kullanılan kontrol yüklerinden ileri gelen kuvvetler (DIN 15 019 T2 ye göre)
- Tampon kuvvetleri
- İki araba veya iki kren beraberce bir rayda çalışıyorlarsa, bunların çarpışma kuvvet

3.1.2 Kren kirişi malzemesinin emniyetli mukavemet değeri “ σ_{EM} ”

Kren kirişinde hesaplanan σ_V karşılaştırma gerilmesi iki farklı durum için incelenir. Birinci karşılaştırma statik kontrol, ikinci karşılaştırma ise dinamik kontrol olarak yapılır. Bu karşılaştırmalara girmeden kren ve elik konstrüksiyondaki yükleme hallerine bir göz atmakta yarar vardır.

3.1.2.1 Statik kontrol için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri

Her ne kadar kontroller sürekli dinamik emniyet mukavemet değerine göre yapılacaksa da, karşılaştırma gerilmesinin hiçbir zaman malzemenin statik emniyetli mukavemet değerini aşmaması gerekir. Yükleme hali HS için H-halindeki değerler % 30 büyük alınır. Yani HS-Değeri = 1,3 x H-Değeri

Çizelge 3.1 : Statik gerilmeler ve stabilite için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri.

Malzeme cinsi		Yüklemeli hali	Emniyetli karşılaştırma mukavemeti değerleri	Emniyetli çekme mukavemeti değerleri	Emniyetli basma mukavemeti değerleri	Emniyetli kayma mukavemeti değerleri
Sembol	Normu		$\sigma_{\text{çEM}}$ N/mm ²		σ_{bEM} N/mm ²	τ_{em} N/mm ²
St 37	DIN 17 100	H	160		140	92
		HZ	180		160	104
St 52-3	DIN 17 100	H	240		210	138
		HZ	270		240	156

3.1.2.2 Dinamik kontrol için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri

Malzemenin sürekli dinamik emniyetli mukavemet değeri daha çok sınır değerler oranı κ ile çentik etkisine bağlıdır. Sınır değerler oranı κ (kapa) şu şekilde bulunur.

Gerilmeler kuvvet ile doğru orantılı olduğundan, gerilmeler oranı yerine kuvvet oranı yazmakta bir sakınca yoktur. Sınır değerler oranı κ 'nın hesaplanmasında kuvvetin değeri ve yönü göz önüne alınmalıdır. Bunu daha açık olarak belirtmek istersek:

$$K = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} \quad (3.1)$$

$$\text{Statik yüklemde} \quad F_{\min} = F_{\max} \quad (3.2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{ ise } \kappa = +1 \quad (3.3)$$

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

$$\text{Dalgalı dinamik yüklemde} \quad F_{\min} \geq 0 \text{ ve } F_{\max} > +1 \quad (3.4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{ ise } 0 \leq \kappa \leq +1 \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\min} \geq 0 \text{ ve } \sigma_{\max} > +1$$

$$\text{Özel hal} \quad \sigma_{\min} = 0 \quad \text{ise} \quad \kappa = 0 \quad (3.6)$$

$$\text{Değişken dinamik yüklemeye } F_{\min} < 0 \text{ ve } F_{\max} > 0 \quad (3.7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{ ise } -1 \leq \kappa \leq 0 \quad (3.8)$$

$$\sigma_{\min} < 0 \text{ ve } \sigma_{\max} > 0$$

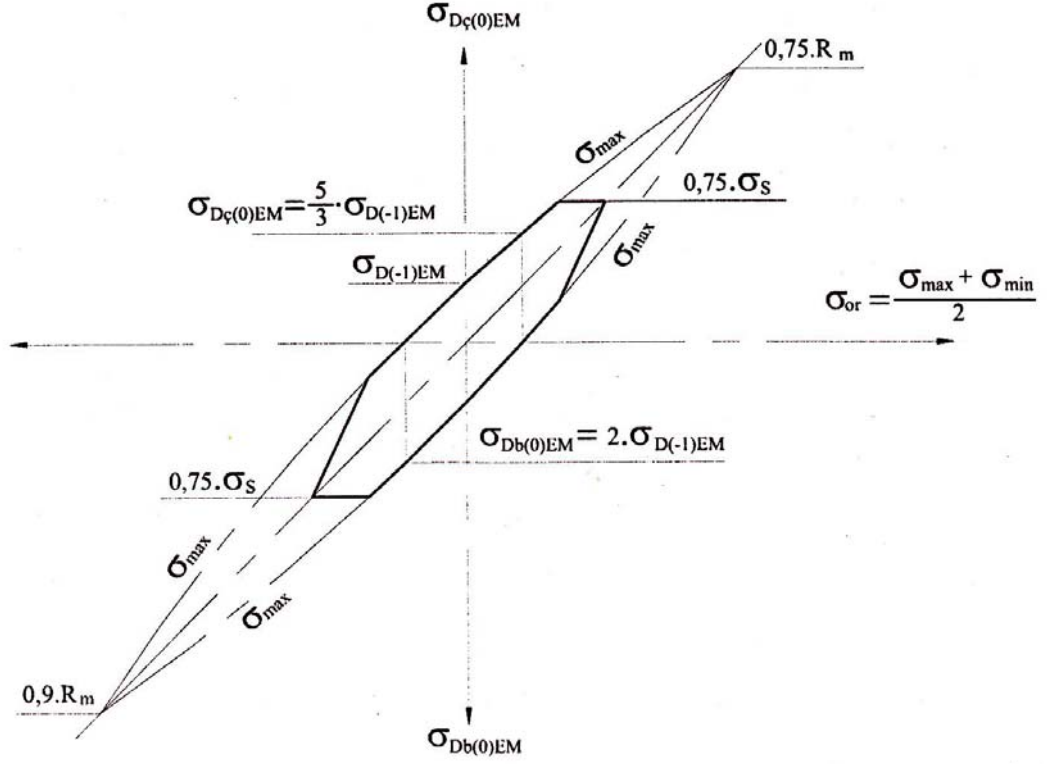
$$\text{Özel hal } |\sigma_{\min}| = |\sigma_{\max}| \text{ ise } \kappa = -1 \quad (3.9)$$

Bu yükleme durumlarının en kritik olanı tam değişken yükleme, yani $\kappa = -1$ halidir. Hesaplarda karşılaştırma mukavemet değeri bu yükleme durumunun etkisindeki çekme gerilmesi için seçilir. Çünkü pratikte görülmüştür ki, basma gerilmesi büyük olmasına rağmen çatlamlar ve bunun sonucunda meydana gelen kopmalar malzemenin çekme etkisi tarafında olmaktadır.

Aşağıda çizelge 3.2 de malzemenin emniyetli mukavemet değerleri “ $\sigma_{D(-1)EM}$ ” kren konstrüksiyonundaki çentik gruplarına göre verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Çentik etkisindeki malzemenin devamlı mukavemet değeri, $\kappa = -1$ için.

Malzemenin cinsi	St 37			St 52-3		
Mukavemet değerleri	$R_m = 340 \text{ N/mm}^2$ $R_e = 240 \text{ N/mm}^2$			$R_m = 490 \text{ N/mm}^2$ $R_e = 350 \text{ N/mm}^2$		
Çentik grubu	K2	K3	K4	K2	K3	K4
Yükleme grubu	$\kappa = -1$ için malzemenin emniyetli mukavemet değeri $\sigma_{D(-1)EM}$ N/mm^2					
B1	180	180	152	270	254	152
B2	180	180	108	252	180	108
B3	178	127	76	178	127	76
B4	126	90	54	126	90	54
B5	89	63	38	89	63	38
B6	63	45	27	63	45	27



Şekil 3.1 : $\sigma_{D(-1)EM}$ değerleri ile $\sigma_{D(K)EM}$ değerleri arasındaki diyagram.

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 deki değerlerden de görüldüğü gibi herhangi bir κ değeri için $\sigma_{D(\kappa)EM}$ malzeme mukavemet değeri bulunur.

Çizelge 3.3 : Malzemelerin κ bağlantılı çizelge 1.1 ve çizelge 1.2 verileriyle üst mukavemet değerleri

Değişken bölge $-1 < K < 0$	çekme	$\sigma_{Dc(K)EM} = \frac{5}{3-2.K} \cdot \sigma_{D(-1)EM}$
	basma	$\sigma_{Db(K)EM} = \frac{2}{1-K} \cdot \sigma_{D(-1)EM}$
Dalgalı bölge $0 < K < +1$	çekme	$\sigma_{Dc(K)EM} = \frac{\sigma_{Dc(0)EM}}{(1 - \frac{\sigma_{Dc(0)EM}}{0,75 \cdot R_m}) \cdot K}$
	basma	$\sigma_{Db(K)EM} = \frac{\sigma_{Db(0)EM}}{(1 - \frac{\sigma_{Db(0)EM}}{0,90 \cdot R_m}) \cdot K}$

Krenlerde, özellikle köprülÜ krenlerde, $\kappa < 0$ olamaz. Bu demektir ki K negatif değEr alamaz. Bu nedenle yalnız dalgalı yüklenme, yani sınır değErler oranı $0 \leq \kappa \leq +1$ olan gerekli formÜller verilmiştir (formÜller DIN 15 018 den aktarılmıştır).

SÜrekli dinamik emniyetli çekme gerilmesi:

$$\sigma_{D\check{c}(K)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{1 - (1 - \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{0,75 \cdot R_m}) \cdot K} \quad (3.10)$$

SÜrekli dinamik emniyetli basma gerilmesi:

$$\sigma_{Db(K)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{1 - (1 - \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{0,90 \cdot R_m}) \cdot K} \quad (3.11)$$

Böylelikle hesap konusu kirişteki çentik etkisi ve kirişteki dalgalı gerilme, sınır değErler oranı κ ' ya göre sürekli dinamik emniyet gerilmeleri belirlenmiş olur.

Hesaplanan kirişteki maksimum gerilme σ_{max} dolayısıyla karşılaştırma gerilmesi σ_v malzemenin emniyetli devamlı mukavemet değErinden $\sigma_{D\check{c}(K)EM}$ küçük veya eşit olması gerekmekle beraber;

$$\sigma_v \leq \sigma_{D\check{c}(K)EM} \quad (3.12)$$

σ_{max} dolayısıyla σ_v karşılaştırma gerilmesi daha önce Çizelge 3.1 de verilen emniyetli statik sınır gerilmesini aşmamalıdır.

$$\sigma_v \leq \sigma_{\check{c}EM} \quad (3.13)$$

$$\frac{\sigma_{\check{c}EM}}{\sigma_v} \geq 1 \quad (3.14)$$

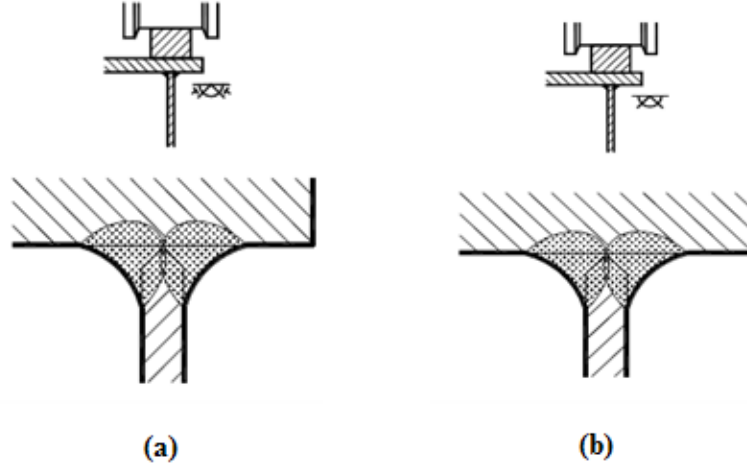
Gerilme karşılaştırmaları çekme değErleri ile yapılır. Çünkü uygulamada görÜldÜğÜ gibi, çatlaklar sonucu kopma çekme tarafından başlar.

Yukarıdaki malzemenin emniyetli mukavemet değErlerini verirken bir taraftan çentik grubu diğEr taraftan yükleme grubu diye tanımlar koyuldu. Krenin yükleme grubunu daha önce belirlenmişti. Kren kirişindeki çentik durumunun incelenmesi gerekir.

3.1.3 Kren kirişindeki çentik grubu

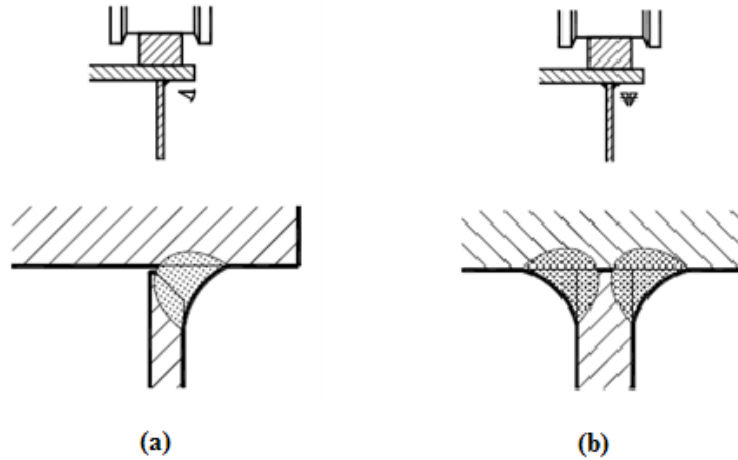
Kren kirişindeki çentik grubu, kiriş raylarının altındaki yan levha kaynak bağlantısının şekliyle belirlenir. Şöyleki :

K2-Grubu Şekil 3.2a da görüldüğü gibi, burada kaynak dikişi, malzemeye özel kaynak ağzı açılarak özel kalitede K-dikişi olarak yapılmıştır. K3-Grubu Şekil 3.3b de görüldüğü gibi, burada kaynak dikişi, malzemeye kaynak ağzı açılarak normal kalitede K-dikişi olarak yapılmıştır.



Şekil 3.2 : (a) K2 grubu (b) K3 grubu.

K4-Grubu kaynak dikişi şekil 3.43a de görüldüğü gibi, malzemeye kaynak ağzı açılarak normal kalitede yarım V-dikişi ve şekil 3.3b de görüldüğü gibi normal kalitede çift taraflı köşe dikişi yapılmıştır.



Şekil 3.3 : (a) K4 grubu, yarım V dikişi (b) K4 grubu, çift köşe dikişi.

Burada verilen kiriş raylarının altındaki yan levha kaynak bağlantısına göre çentik grubu seçilir. Çentik grubunun seçimine göre kirişin ağırlığı yani boyutları değiştiğinden ne gereksiz yere K2-grubunu seçip çok hassas bir imalata girişmek, ne de K4-grubu seçip kirişi ağırlaştırmak amaç olmalıdır. Bunun için K3-grubunu seçmek ve kiriş imalatını bu şartlara göre yapmak gereklidir. Fakat yükleme grubu B4 ve daha yüksek ise, çentik grubunun K2 seçilmesi daha uygundur.

3.2 “F.E.M” e göre Yükleme Halleri ve Mukavemet Değerleri

3.2.1 “F.E.M” e göre yükleme halleri

Avrupa Kaldırma Araçları İmalatçıları Birliği (F.E.M)’ e göre krenlerde çelik konstrüksiyon hesapları yapılırken üç işletme halinin bulunduğu kabul edilir:

1. Hal. Rüzgar kuvveti olmayan normal işletmeler
2. Hal. Şiddetli rüzgar kuvvetinin bulunduğu işletmeler
3. Hal. Çok özel etkiler altında çalışan işletmeler

Genelde atölye vinçleri için “1. Hal” geçerlidir. Burada verilen detaylı açıklamalar, portal ve liman krenlerinde de uygulanır.

3.2.1.1 I.Hal: Rüzgar kuvveti olmayan normal işletmeler

Bu işletme hali rüzgar etkisinde olmayan krenlerin hesaplanmasında kullanılır. Daha çok kapalı yerlerde yani atölye, depo ve benzeri yerlerde çalışan krenlerde şu gerilmeler hesaplanır:

Statik yüklerden oluşan gerilmeler. Bunlar krenin çelik konstrüksiyonunun, arabanın vb. öz ağırlıklarından ve araba kasılmasından oluşan σ_1 , σ_2 ve σ_5 diye adlandırılan gerilmelerdir.

Statik yüke çevrilmiş dinamik yükten oluşan gerilmeler. Bunlar kaldırma yükü katsayısı ψ ile büyütülmüş kaldırma yükünden ve atalet kuvvetlerinden oluşan σ_3 ve σ_4 gerilmeleridir.

Böylece tanımlanan bu gerilmeler, bilinenlerin tam olamaması veya akla gelmeyen herhangi bir etkiyi de hesaba katmış olmak için yükleme grubuna göre, k_b faktörü (katsayısı) ile çarpılarak konstrüksiyondaki gerilme büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{top1} = k_b \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \psi \cdot \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) \quad (3.15)$$

3.2.1.2 II.Hal: Şiddetli rüzgar kuvvetinin bulunduğu kabul edilen işletmeler

Burada I. Hal deki hesaba rüzgardan oluşan gerilme de eklenir.

$$\sigma_{top2} = \sigma_{top1} + \sigma_{Rü} \quad (3.16)$$

Dikkat edilmesi gereken bir nokta, rüzgar etkisi altında hareket ve frenleme zamanlarının daha uzun olmasından ötürü, ivme ve fren kuvvetlerinin 1.Hal den daha büyük olmalarıdır.

3.2.1.3 III.Hal: Çok özel etkiler altında çalışan işletmeler

Çok özel etkileri şu şekilde sıralayabiliriz:

- İşletmenin çalışmadığı (paydoslarda) rüzgar (fırtına) etkisindeki krenler
- İşletmede hızla tamponlara çarpan krenler
- Teslimat esnasında, dinamik veya statik yüklemelerde %10 veya daha fazla yükle denenecek krenler

3.2.1.3.1 Krenin “B” yükleme grubu ve “H” kaldırma sınıfı

Kren elemanlarının dolayısıyla krenin yükleme grubunun ayırımı çeşitli değerlere göre yapılır. Bu değerleri şu şekilde sıralayabiliriz: Gerilmelerin zamana göre dağılımı, Krenin çalışma ömrü boyunca yükleme sayısı

Kren yükleme grubu B1 ile B6 arası altı gruba ayrılmıştır. Tecrübesi olan veya olmayan kişiler kolay ve çabuk hesap yapabilmek için kren yükleme grubu ile kaldırma sınıfını saptamak için Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 den yararlanabilirler.

Çizelge 3.4 : Kren yükleme grupları ve kaldırma sınıfları.

No	Kren tanımı	İşletme şekli	Kaldırma sınıfı	Yükleme grubu
1	El ile tahrik edilen krenler		H1	B1, B2
2	Montaj krenleri		H1, H2	B1, B2
3	Santralde makine binasındaki krenler		H1	B2, B3
4	Depo krenleri, Traversli krenler,	Aralıklı işletme	H2	B4
5	Hurda deposu krenleri	Devamlı işletme	H3, H4	B5, B6
6	Atölye krenleri		H2, H3	B3, B4
7	Köprülü krenler, Demir hurda depo krenleri	Kepçeli,magnetli	H3, H4	B5, B6
8	Döküm ve dökümhane krenleri		H2, H3	B5, B6
9	Ocak krenleri		H3, H4	B6
10	Döküm ve çelik ocak krenleri		H4	B6
11	Dövme ve dövme işlerinde kullanılan krenler		H4	B5, B6
12	Liman, portal, yarıportal arabalı veya döner krenler	Kancalı işletme	H2	B4, B5
13		Kepçeli,magnetli	H3, H4	B5, B6
14	Hareketli veya sabir band krenleri		H1	B3, B4
15	Dok krenleri	Kancalı	H2	B3, B4
16		Kancalı	H2	B4, B5
17	Liman,döner, yüzer krenler	Kepçeli, magnetli	H3, H4	B5, B6
18	Ağır yük ve yüzer krenler		H1	B2, B3
19		Kancalı	H2	B3, B4
20	Gemi krenleri	Kepçeli,magnetli	H3, H4	B4, B5
21	İnşaat kule krenleri		H1	B3
22	Montaj ve dikme krenleri	Kancalı	H1, H2	B2, B3
23		Kancalı	H2	B3, B4
24	Raylı döner krenler	Kepçeli,magnetli	H3, H4	B4, B5
25	Demiryolu krenleri		H2	B4
26		Kancalı	H2	B3, B4
27	Mobil ve oto krenler	Kepçeli,magnetli	H3, H4	B4, B5
28	Ağır yük mobil ve oto krenler		H1	B1, B2

Çizelge 3.5 : Pratikte önerilen kren kaldırma sınıfları ve yükleme grupları.

Nr	Krenin tanımı		kf-katsayısı	Kaldırma sınıfı	Yükleme grubu
1	Elektrik santralı makine dairesi kreni		1 000	H1	B2
2	Montaj kreni	seyrek çalışan	1 000	H1	B2
3		devamlı çalışan	1 000	H2	B2
4	Depo kreni	seyrek çalışan	1 350	H2	B4
5		devamlı çalışan	1 500	H3	B5
6	Atölye kreni	seyrek çalışan	1 350	H2	B3
7		devamlı çalışan	1 500	H3	B4
8	Döküm ve dökümhane kreni	seyrek çalışan	1 500	H2	B5
9		devamlı çalışan	1 500	H3	B6

3.2.1.3.2 Yükleme grubunun saptanması

Kren elemanlarının dolayısıyla krenin yükleme grubunun saptanması için Çizelge 3.6 dan yararlanılır.

Çizelge 3.6 : Kren elemanlarının ve kren Yükleme grubunun saptanması.

Yükleme sayısı sınıfı	N1	N2	N3	N4
Krenin ömrü boyunca gerilme yineleme sayısı N_G	$2.10^4 < N_G < 2.10^5$ Arasıra kullanma ve çok uzun molalar	$2.10^5 < N_G < 2.10^6$ Devamlı fakat molalı kullanma	$6.10^5 < N_G < 2.10^6$ Devamlı ve molasız kullanma	$N_G > 2.10^6$ Molasız ve ağır şartlarla kullanma
Gerilme durumu	Kren veya elemanlarının yükleme durumu			
S_0 çok hafif	B1	B2	B3	B4
S_1 hafif	B2	B3	B4	B5
S_2 orta	B3	B4	B5	B6
S_3 ağır	B4	B5	B6	B6

Formüllerde ve tablolarda geçen katsayıların, deyimlerin vb. tanımlanması gerekmektedir.

3.2.1.3.3 Yükleme ve iş sayıları

Yükleme sayısı, dört grup halinde sınıflandırılmıştır. Bu gruplama “yükleme sayısı” N_G ile belirlenir. Yükleme sayısı, taşınan yükün yalnız kaldırılıp indirilme sayısıdır. Örneğin: N1 grubu, yükleme sayısının $2.10^4 < N_G < 2.10^5$ büyüklüğü ile sınırlanmıştır.

İş sayısı;

Krenlerde ayrıca “iş sayısı” tanımı da vardır. Krende iş sayısı, yükü bir yerden alıp (kaldırıp) araba ve/veya köprü ile gideceği yere götürmek, yükü bırakmak ve tekrar yükün alındığı yere krenin boş olarak dönmesi demektir. Burada anlatılan yük, kollektif gerilmelerdeki en küçük üst gerilmeyi doğuran yüküdür. Bu da gayet kaba olarak yalnız taşınan yük olarak tanımlanır.

3.2.1.3.4 Kollektif gerilme

Kollektif gerilmeyi basit olarak günlük hesaplar için Tablo 1.7 den belirleyebiliriz. Kollektif gerilmeyi tam olarak hesaplamak için DIN 15018 standardından yararlanılabilir.

Çizelge 3.7 : Kollektif gerilme için öneriler.

S-Sınıfı	Tanımlama
S ₀	Uzun çalışma molası veren, çalıştığında çok küçük yüklerle çalışan, çok ender olarak maksimum yükle çalışan krenler Örneğin: Santral veya türbin dairesi krenleri vb.
S ₁	Kısa molalarla çalışan, fakat ortalama kapasitesinin yani maksimum yükün 1/3 civarında yük taşıyan, çok ender olarak maksimum yükle çalışan krenler Örneğin: Depo, atölye, hurda deposu kancalı krenleri, liman krenleri vb.
S ₂	Oldukça sık çalışan ve kapasitesinin yani maksimum yükün 1/3 ile 2/3 ü civarında yük taşıyan ve maksimum yükle oldukça sık çalışan krenler Örneğin: Depo, atölye, hurda deposu krenleri, liman ve dökümhane krenleri vb.
S ₃	Devamlı maksimum veya maksimum yüke yakın yükle çalışan krenler Örneğin: Kepçeli, potalı veya magnetli hurda deposu, liman ve dökümhane krenleri vb.

3.2.1.3.5 Krenin yükleme grubu katsayısı “k_B” nin saptanması

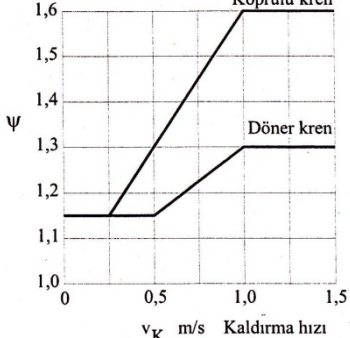
Hesaplanan normal gerilmeler krenin çalışma şekline göre ayarlanır. Bunun için de krenin yükleme grubu seçildikten sonra yükleme grubu katsayısı k_B Tablo 1.8 deki değerlere göre saptanır.

Çizelge 3.8 : Yükleme grubuna göre k_B -katsayıları.

	Yüklenme grubu					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6
k_B -katsayısı	1, 00	1, 02	1, 05	1, 08	1, 11... 1, 14	1, 17... 1.20

3.2.1.3.6 Kaldırma yükü katsayısı “ ψ ”

Çizelge 3.9 : Kaldırma yükü katsayısı “ ψ ”.

	Kaldırma Sınıfı	Kaldırma yükü katsayısı ψ kaldırma hızı v_H m/dak olarak köprülü	
		$v_H \leq 90$	$v_H > 90$
H1		$1,1 + 0,0022 \cdot v_H$	1,3
H2		$1,2 + 0,0044 \cdot v_H$	1,6
H3		$1,3 + 0,0066 \cdot v_H$	1,9
H4		$1,4 + 0,0088 \cdot v_H$	2,2

“ ψ ” kaldırma yükü katsayısı, kaldırma sınıfı ve kaldırma hızına bağlıdır. Büyüklüğü Çizelge 3.9 da verilen ifadelerden bulunur (Kurt, Kutay, Aslan, 2008).

3.2.1.3.7 Özağırlık katsayısı “ ϕ ”

“ ϕ ” Özağırlık katsayısı, krenin hareket hızı “ v_F ” ye bağlıdır. Çizelge 3.10 dan seçilir.

Çizelge 3.10 Özağırlık katsayısı “ ϕ ”.

Hareket hızı v_F m / dak olarak		Öz ağırlık katsayısı
Hareket yolu		
Yürüyüş darbeli, ray engebeli veya araları boşluklu	Yürüyüş darbesiz, ray düzgün veya ray araları kaynatılmış ve işlenmiş ise	
$v_F \leq 60$	$v_F \leq 90$	φ
$60 < v_F \leq 200$	$90 < v_F \leq 300$	1.1
$200 \geq v_F$	$300 \geq v_F$	1.2
		≥ 1.2

4. KATI MODELLEME

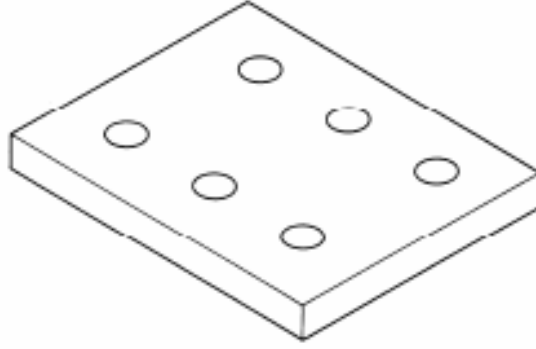
Katı modellerin konstrüksiyon ve imalatı kullanımı, gelişen bilgisayar teknolojisi ile hızla artmaktadır. Katı modelleme konstrüksiyon ve imalatın otomasyonu ve integrasyonu için teknolojik bir çözüm olarak bilinmektedir. Parçaya ait geometrik ve topolojik tanımlar CIM (computer integrated manufacturing-bilgisayar destekli imalat) için anahtar kabul edilebilir.

4.1 Genel Bilgiler

Katı modelleme teknikleri tamamiyle 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.

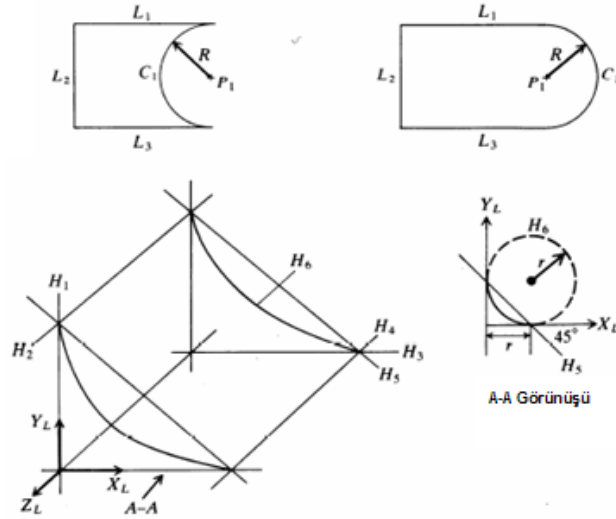


Şekil 4.1 : Basit bir katı model.

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.

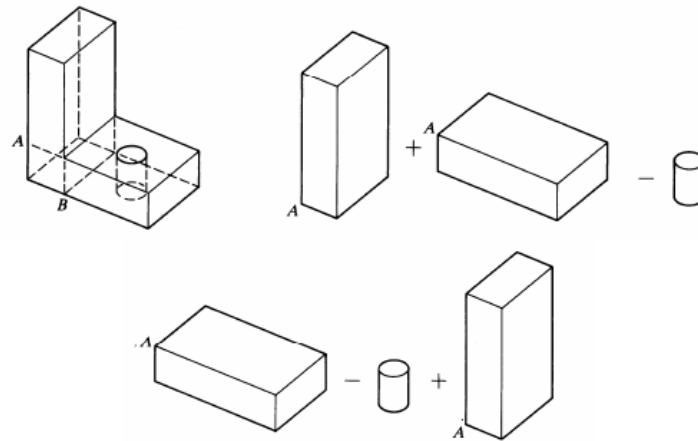
Katı modelleme ile bir nesnenin tanımlanması eğri, yüzey ve katı gibi tekniklerin kullanılması ile çok kolay olarak yapılabilir. Bazı durumlarda katı modeller tel kafes veya yüzey modellemeye daha basit ve kolay olmaktadır.

Şekil 4.1’de basit bir katı model görülmektedir. Burada bir bloktan silindirlerin çıkarılması ile model elde edilmiştir. Şekil 4.2’de katı modelde topolojik ve geometrik bilgilerin birbirinden farklılıkları gösterilmiştir. Burada ne topoloji ne de geometri nesneyi tek başına tamamiyle belirleyemez. Tel kafes ve yüzey modeller nesnenin sadece geometrik bilgileri ile ilgilenmekte bu yüzden tamamlanmamış ve belirsiz kabul edilmektedirler. Katı model veri tabanında geometrik bilgileri görsel, topolojik bilgileri ise de grafik olmayan ilişkisel bilgiler olarak saklamaktadır. Fakat bu bilgiler kullanıcı tarafından görünür tipte veriler değildirler.



Şekil 4.2 : Bir nesneye ait topoloji ve geometri arasındaki fark.

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 teredütsüz olmalarına rağmen tek bir çözüm yoktur. Bir nesne çeşitli yollarla yapılandırılabilir. Şekil 4.3’de çeşitli primitiflerin toplama ve çıkarma işlemleri yardımıyla modelleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Katı modelin farklı şekillerde oluşturulması.

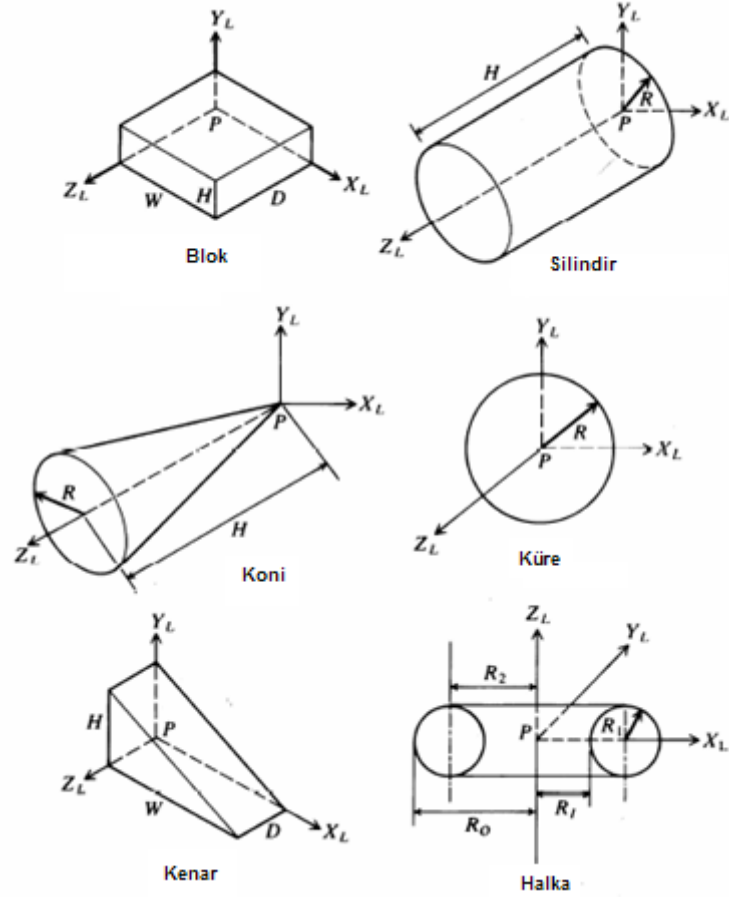
Çoğu ticari katı modelleme paketleri CSG uyumludur. Kullanıcının blok yapılarının (primitifler diye adlandırılır) kullanılmasına imkan sağlar. Primitifler basit temel şekiller olup matematiksel boolean işlemleriyle bir araya getirilmeleri ile kompleks katı modeller oluşturulabilir.

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. Şekil 4.4 de 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. R1 (simitin yarıçapı), R2 (simit gövdesinin yarıçapı) ile tanımlar. Simitin iç yapı R1 ve dış çap R0 dır.

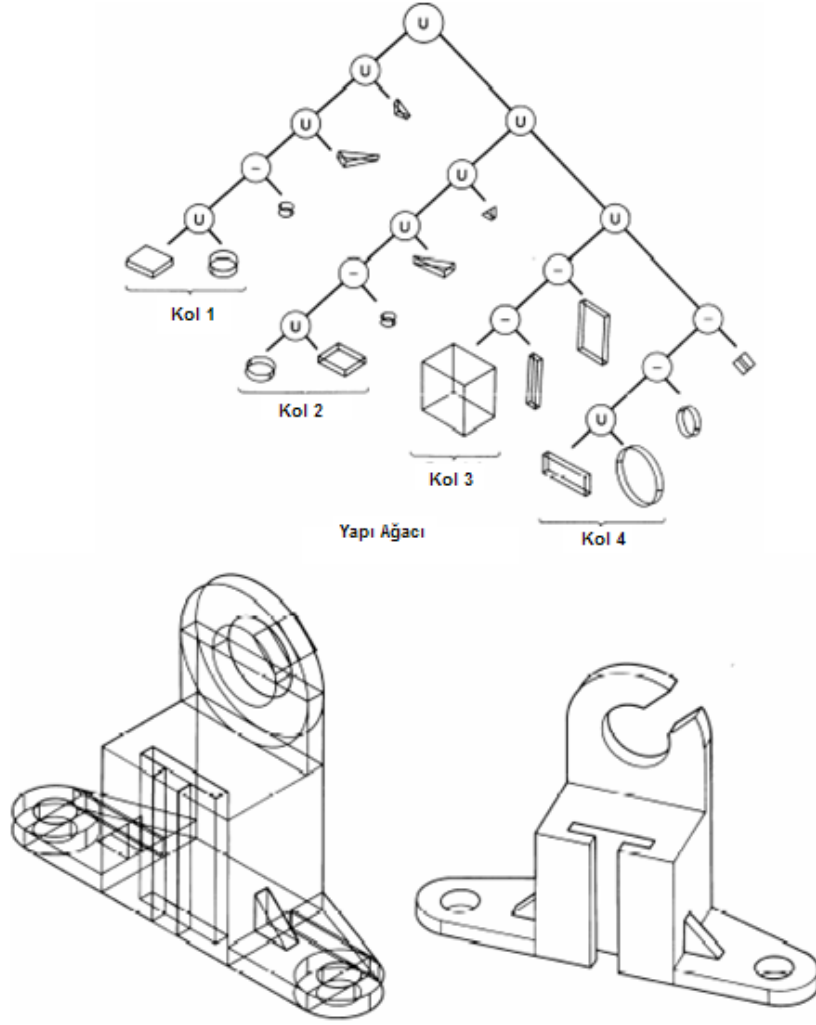


Şekil 4.4 : En yaygın primitifler.

İki ya da daha çok primitifi bir araya getirilerek istenen katı oluşturulabilir. Sonuç katının geçerliliği boolean işlemleri ile sağlanır. Birleştirme ($\cup$ veya +), kesişim ($\cap$ veya $\cap$) ve fark ($-$) işlemleri boolean işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Birleştirme operatörü iki nesne yada primitifi bir araya getirmek için kullanılır. 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.

4.2 Katı Gösterimi

Bir nesnenin katı gösterimi teoride de olsa konstrüksiyon ve imalat uygulamalarında otomatik olarak kullanılabilmesini sağlar. Böyle bir gösterim n boyutlu uzayı E^n , iki bölgeye ayırır. Bu bölgeler nesnenin sınırlarıyla ayrılmış iç bölge ve dış bölgedir. E^n uzayı söz konusu nesnenin kapalı yüzeyi tarafından bu iki bölgeye ayrılır.



Şekil 4.5 : Nesneye ait CSG yapısı ve primitiflerin yerleştirilmesi.

Bir katı model matematiksel olarak üç boyutlu Euclid uzayında bir nokta kümesi ile (S) ifade edilir.

İç bölge ve sınır kümesi için sırasıyla iS ve bS tanımlamaları yapılırsa

$$S = iS \cup bS \quad (4.1)$$

ve dış bölgeyi cS (S'nin tamamlayıcı) ile tanımlanırsa

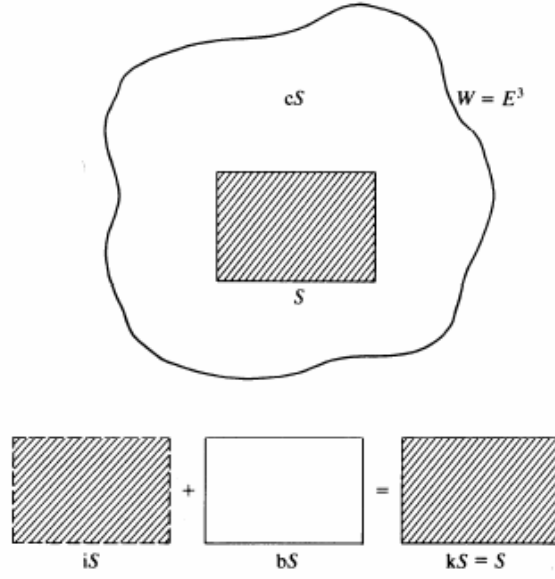
$$W = iS \cup bS \cup cS \quad (4.2)$$

elde edilir. Burada W universal kümedir, E^3 uzayında olası bütün üç boyutlu noktaları kapsar.

Denklem 4.1 ile sınırları ile kapanmış iç bölge kavramı ortaya çıkmaktadır. Denklem 4.1 bu sebeple

$$S = kS \quad (4.3)$$

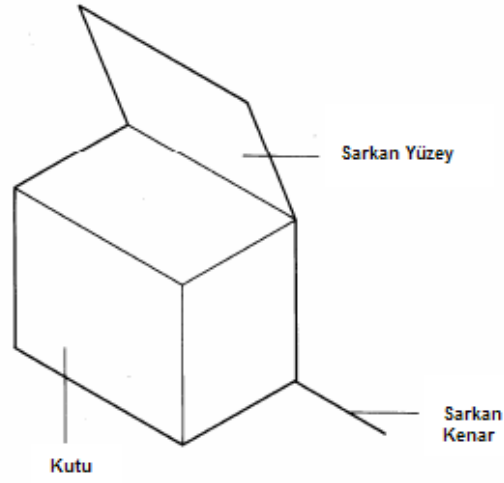
şeklinde yazılabilir. $kS = iS \cup bS$ olduğu görülür.



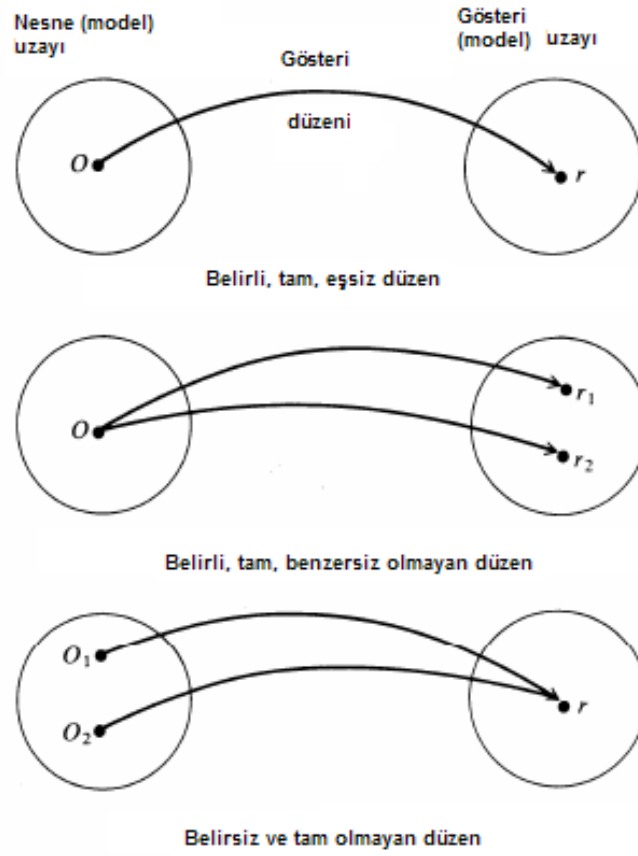
Şekil 4.6 : Katı ve geometrik tamamlayıcı tanımları.

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. Şekil 4.7'deki gibi 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 manipulasyonlar yapmak veya boolean operasyonları ile yeni geçerli nesneler yaratılabilmeli.
5. Sınır belirleme. Katının sınırları katıyı içermeli ve katının iç bölgesini belirleyebilmelidir.



Şekil 4.7 : Sarkan sınırlar için örnekler.



Şekil 4.8 : Gösterim şemalarının sınıflandırması.

Bu özelliklerin matematiksel uygulaması geçerli bir modelin sınırlı, kapalı, düzgün ve E^3 uzayının yarı analitik altkümeleri olmasını gerektirir. Bu alt kümeler r-kümeleri(regularized sets) diye adlandırılır. r-kümeleri düzgün davranışlı eğri polihedralardır. Denklem 4.1’de verilen S nokta kümesiyle tanımlanan katı model daima r-kümedir. Kapalı düzgün küme ise, Şekil 4.7’ de gösterildiği gibi sarkan elemanı olmayan kapalı kümedir. Yarı analitik küme de ise küme içinde sonsuz hızda osilasyon meydana gelmemektedir. Buna örnek olarak $\sin(x)<0$ eşitsizliği ile tanımlanan küme yarı analitiktir fakat $\sin(1/x)<0$ ile tanımlanan küme ise x sıfıra yaklaşırken osilasyona sebep olacağından yarı analitik değildir. Yani katının tanımlanmasında kullanılacak yarı analitik olmayan bir küme limitlerde oluşacak olan osilasyon sebebi ile anlamsız ve yanlış bir modelin elde edilmesine sebep olacaktır. Gösterim şemaları Şekil 4.8’de sınıflandırılmıştır ve geçerli bir modelin geçerli nokta kümesi ile eşlenmesi olarak tanımlanabilir. Örnek olarak CSG şeması geçerli primitifleri boolean işlemleri ile geçerli katılara çevirir. Gösterim şeması, tereddütsüz veya tam ve tek ise, bu şema yalnız ve yalnız bir nesneyi gösterir. Yani birebir eşleme vardır. Eğer şema tereddütsüz veya tam ama tek değil ise söz konusu nesneyi birden fazla model gösterir. Diğer taraftan şema belirsiz veya tam değil ise tel kafes modeller de olduğu gibi bir model birden fazla nesneyi ifade edebilir. Başlıca gösterim şemaları olarak yarım uzaylar, sınır gösterimi (B-rep), konstrüktif katı geometrisi (CSG), süpürme(sweep), analitik katı modelleme (ASM) verilebilir. En popüler şemalar ise B-rep, CSG ve süpürmedir.

4.2.1 Yarım uzaylar

Yarım uzaylar sınırlanmış katılar için temel bir gösterimdir. Yarım uzayların küme işlemleri ile biraraya getirilmesi ile çeşitli katılar yapılandırılabilir. Yarım uzaylar genellikle sınırlandırılmamış geometrik varlıklardır. Herbiri gösterim uzayını iki sonlu parçaya ayırır. Bunlardan biri malzeme ile dolu diğeri ise boştur. Yüzeyler yarım uzayların sınırı olarak kabul edilebilir.

Yarım uzay, E^3 deki düzgün noktalar kümesi olarak tanımlanabilir.

$$H=\{P:P \in E^3 \text{ and } f(p)<0\} \quad (4.4)$$

Burada P, E^3 uzayında bir nokta ve $f(P)=0$ yarım uzayının sınırını tanımlayan yüzey denklemdir. Karmaşık nesneler yaratmak için yarım uzaylar küme işlemleri ile

biraraya getirilebilir. En çok kullanılan yarım uzaylar (sınırlandırılmamış) düzlemsel, silindirik, küresel, konik ve toroidal yarım uzaylarıdır.

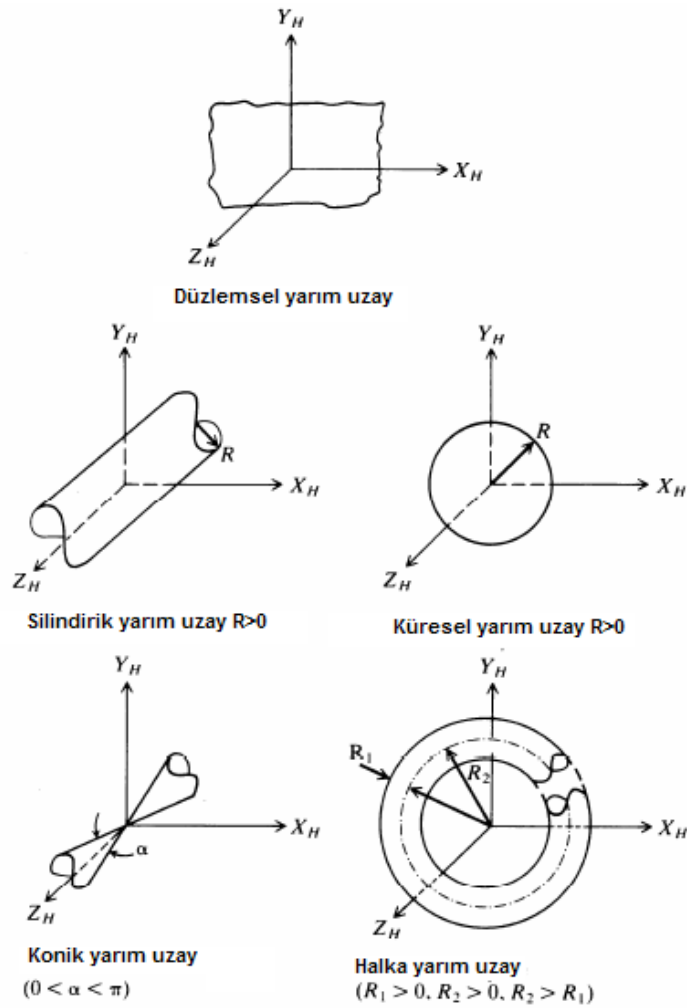
$$\text{Düzlemsel yarım uzay: } H = \{(x,y,z): z < 0\} \quad (4.5)$$

$$\text{Silindirik yarım uzay: } H = \{(x,y,z): X^2 + Y^2 < R^2\} \quad (4.6)$$

$$\text{Küresel yarım uzay: } H = \{(x,y,z): X^2 + Y^2 + Z^2 < R^2\} \quad (4.7)$$

$$\text{Konik yarım uzay: } H = \{(x,y,z): X^2 + Y^2 < [(\tan \alpha/2)z]^2\} \quad (4.8)$$

$$\text{Toroid yarım uzay: } H = \{(x,y,z): (X^2 + Y^2 + Z^2 - R_1^2)^2 < 4R_2^2(R_1^2 - Z^2)\} \quad (4.9)$$



Şekil 4.9 : Sınırlanmış yarım uzaylar.

Bunlar (4.5....4.9) kapalı denklemlerdir. Her yarım uzayın genel koordinat sistemi XH,YH ve ZH eksenleri ile ifade edilmektedir. Kapalı form, yüzey kesişimlerinin bulunmasında etkilidir. Herbir yarım uzaya tekabül eden yüzey, denklemin her iki tarafında birbirine eşit olduğu durumda bulunabilir. Düzlemsel yarım uzaylar için (4.5 denklemi) $z=0$ dikey düzlemi temel alınmıştır. Şekil 4.9’da çeşitli yarım

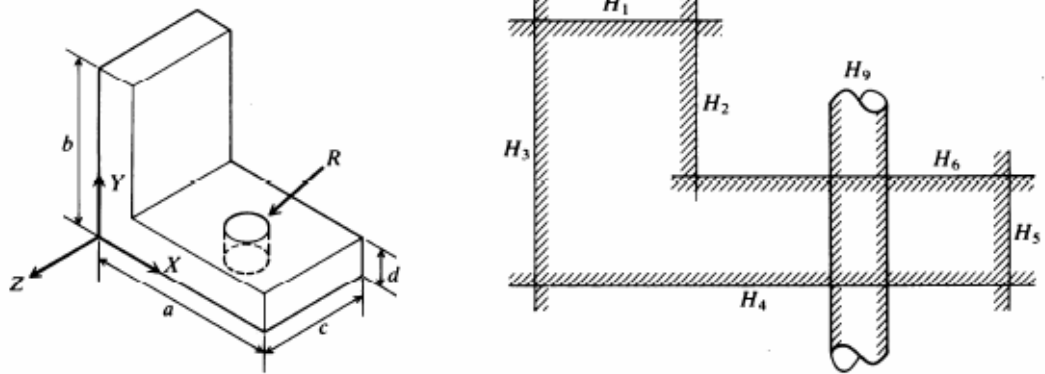
uzaylar, yerel koordinat sistemlerinde ve konfigürasyon parametreleri limitlerde gösterilmiştir.

Karmaşık nesneler, küme işlemleri ile, yarım uzayların bir araya getirilmesi ile oluşturulabilir. Düzenlenmiş küme işlemleri uygulanır.

Şekil 4.10'da gösterilen S katısını yarım uzaylarla ifade edelim. Katıya ait parametreler şekilde gösterilmiştir. Delik üst yüzeyde merkezlenmiştir. MCS şekilde verildiği gibi seçilmiştir. Şekil 4.10b'de dokuz yarım uzay ile (sekiz düzlem bir silindir) S ifade edilmektedir. H7 ve H8 yarım uzayları modelin ön ve arka yüzleri ifade etmekte olup şekilde karşılıklı önlemek için gösterilmemiştir. Bu yarım uzaylar kesiştirilip boolean işlemleri ile biraraya getirilir. H1 den H8 kadar birleştirme ve H9 ile çıkarma işlemi yapılır.

4.2.2 B-rep gösterimi (Sınır gösterimi)

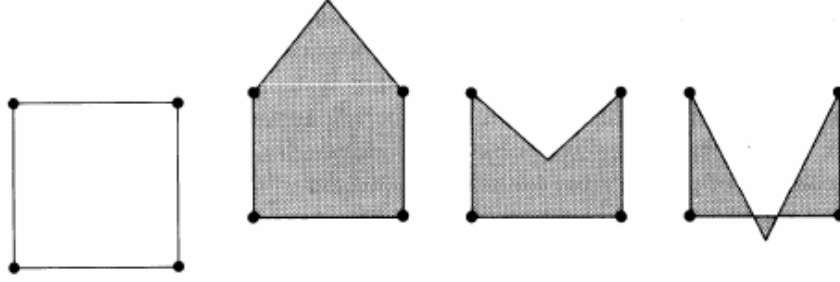
B-rep model veya sınır model, bir yüzey kümesi ile sınırlı fiziksel bir nesnenin topolojik ifadesidir. Bu yüzeyler bölgeler veya kapalı yüzeyler alt kümesidir. Kapalı bir yüzey kırılmalar olmayan sürekli yüzeydir. Sınır modeli ile bir nesnenin yüz, kenar ve köşelerinin bir araya getirilmesi ile topolojik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



Şekil 4.10 : 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. Şekil 4.11'de görülen karenin üst kenarı bölünerek yeni bir köşe elde edilir. Bu köşe yeni bir konuma getirilirse topoloji hala geçerli olmasına rağmen geometrik olarak saçma bir şekil elde edilmiş olabilir.



Şekil 4.11 : Sınır modellerde topoloji ve geometrinin etkileri.

Sınır modellerin geçerliliğinin sağlanabilmesi ek olarak Euler operatörleri, konstrüktörün çizim fonksiyonelliği artırır. Bir katı modelin grafik olarak yaratılması, köşe, kenar, ve yüzlerin ardışık olarak biraraya getirilmesiyle (bunlar daima Euler kurallarına uymalıdır) mümkün olmaktadır. Yüzleri, kenarları ve köşeleri biraraya getirerek B-rep modellerin oluşturulmasında kullanılan Euler işlemleri, boolean işlemlerinden daha düşük seviyedeki işlemlerdir.

Boolean işlemlerinin etkileri CSG modellerinde, basitçe söylemek gerekirse ağaç yapısına ekleme olarak ortaya çıkar. Bununla birlikte B-rep sistemleri katının sınırlarının expilisit gösterimini gerektirmektedir. İşlemler sonunda oluşacak yeni sınırlar daha sonraki uygulanmalarda değerlendirilir.

B-rep sistemler katıların sadece sınır yüzeylerini saklamasına rağmen kütle özellikleri gibi (yapı içinde düzgün dağılım kabulü ile) hacimsel özelliklerin hesaplanması Gauss diverjans teoremi ile (yüzeye göre hacim integrali ile) mümkün olmaktadır. Hesaplama hızı ve doğruluğu modelde kullanılan yüzey tiplerine bağlı olarak değişmektedir.

B-rep şemanın modelleme alanı potansiyel olarak geniş ve primitiflere (düzlemsel, eğrisel ve oyma-sculptured-) bağlı olmaktadır. Söz konusu şemanın modelleme alanı yarım uzaylarla belirleniyorsa, B-rep şema aynı alanla, yarım uzayın sınır yüzeyleri primitif yüzeylermiş gibi düşünülerek tasarlanabilir.

Eğer katı modelleme sistemi tasarlanacak ise önce gösterim şemasının alanı

(modellenebilecek nesneler) tanımlanmalıdır. Temel elemanları (primitifler) içeren böyle bir alan tanımlanmalı ve kullanıcının uygun işlemlerle kompleks modelleri bu primitiflerden oluşturabilmesi sağlanmalıdır. Böylece sonuçta katı modele ait yeterli veri saklanabilmektedir.

Mühendislik uygulamalarında kullanılan nesneler polihedral veya eğrisel nesneler olarak sınıflandırılabilir. Polihedral nesne (düzlemsel yüzeyli polihedron) düzlemsel yüzeylerin doğrusal kenarlar oluşturacak şekilde biraraya gelmesi ile oluşur. Bunu için uygun bir örnek küptür. Eğrisel nesne, eğrisel yüzeylere sahip polihedral nesne olarak düşünülebilir. Küre veya silindir gibi kapalı yüzeylerde yüzey, kenar ve köşe tanımlamalarından dolayı biraz daha karmaşıktır. Daha basit olduğu için polihedral nesneler öncelikle incelenecektir.

Polihedral nesneler dört gruba ayrılabilir. Birinci grup şekil 4.12a'da gösterilen basit polihedralardır. Yapılarında delik ve kanal yoktur. Her yüzey tek bir kenar kümesi ile sınırlanmıştır. İkinci grup şekil 4.12b'de gösterildiği gibi yüzeyler birden fazla kenar kümesi ile sınırlanmış olabilir. Üçüncü grupta ise (şekil 4.12c) nesnenin içinden boydan boya geçmeyen deliklerin oluşturduğu yapılardan oluşmaktadır. Bu tip yapılara sınır delik adı verilir. Burada delik sınır yüzeye komşu olabilir yada nesnenin içinde olabilir. Eğer nesne içerde ise söz konusu nesnenin sınırlarında yeni yüzey sınırları oluşmaz. Dördüncü grupta ise (şekil 4.12d) nesneyi boydan boya geçen delik veya kanalların oluşturduğu yapılar söz konusudur.

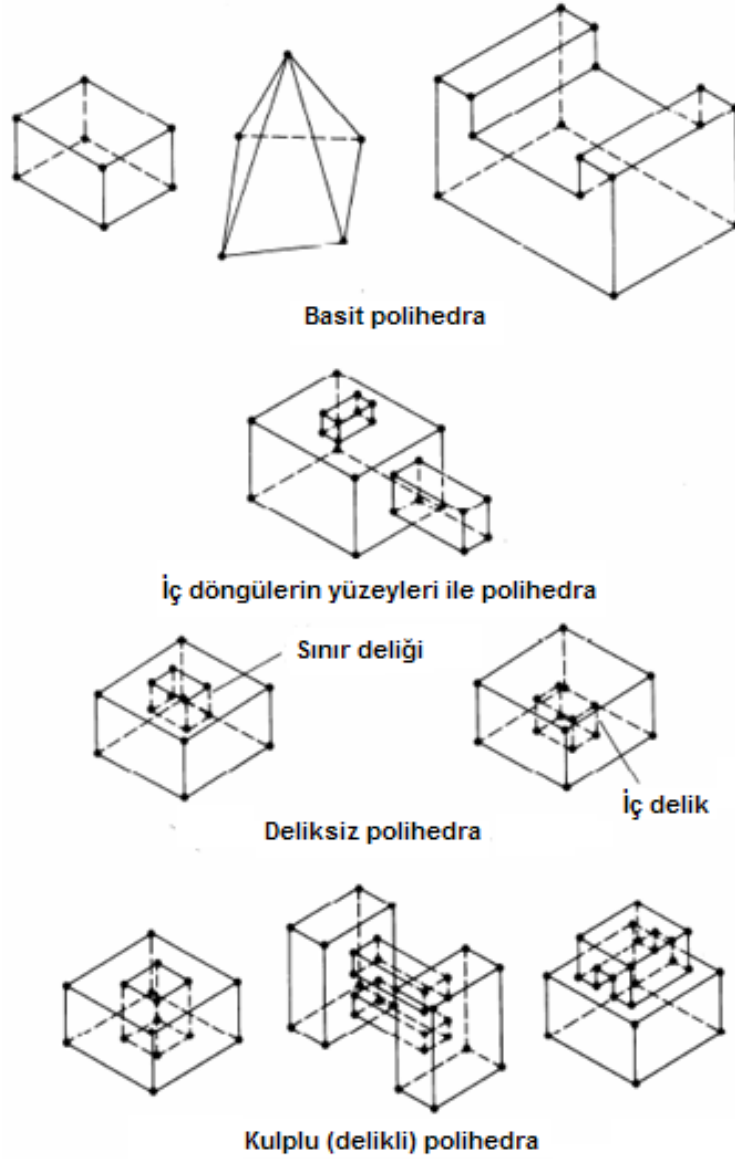
Yüzey gösterimi, hem yüzeyi hem de katının içinin gösterimini sağlamalıdır. Yüzeylerin normal doğrultusu ile modelin içine yada dışına olan doğrultuların belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Yüzey denklemi seçilen normal düzlemine uygun olmalıdır. Yüzeyler B-spline veya Bezier yüzeylerinden oluşuyor ise normal vektör $dP/dv \times dP/du$ veya $dP/du \times dP/dv$ olarak yüzeyin parametrelerinden seçilen normal düzlemine bağlı olarak tanımlanabilir. Pratikte BDK/BDİ sistemleri yüzey normallerini ve bunların işaretlerini yüzeyin bir verisi olarak saklamaktadırlar. Çünkü bunlar birçok uygulamada (ekranda görüntüleme yada NC işleme verilerinde) kullanılmaktadır.

İki primitif sınır modelleri le tanımlandıktan sonra topolojik olarak geçerli modellerin nasıl elde edilebileceğine bakılmalıdır. Yüz, kenar ve köşelere göre geçerli modellerin topolojik olarak da geçerli olabilmesi için denklem 4.10'a ihtiyaç vardır.

$$F-E+V-L=2(B-G)$$

(4.10)

Burada F,E,V,L,B ve G yüzlerin(F), kenarların(E), köşelerin(V), yüzey iççerimlerinin(L), gövdelerinin(B) ve özel vasıflarının(boydan boya delik veya kanallar-G) sayısıdır. Denklem 4.10 Euler veya Euler-Poincare yasası olarak bilinmektedir. Bu denklemin polihedraya uygulanmış basit formu $F-E+V=2$ olarak bulunur.

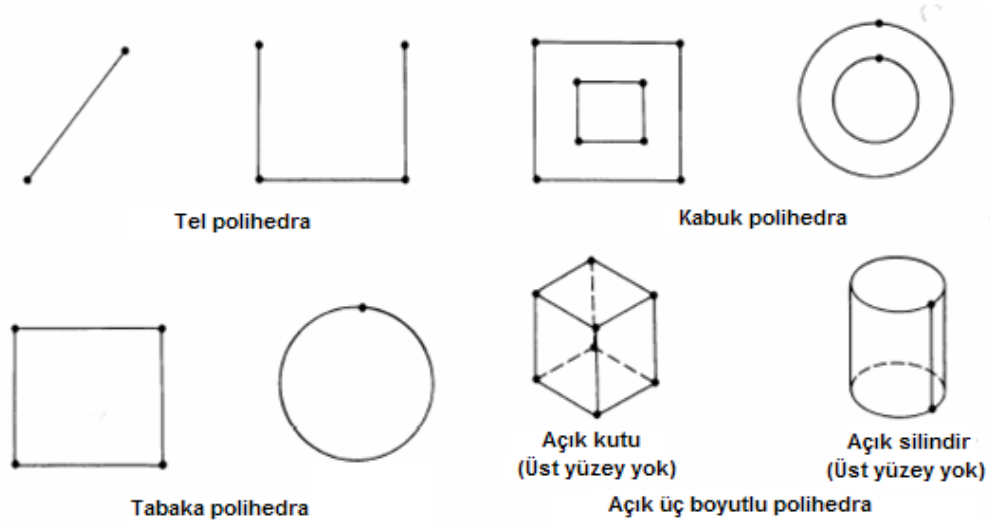


Şekil 4.12 : Polihedral nesnelerin tipleri.

Verilen bir nesnenin sınır modelini yaratmak için 4.10 denklemindeki değişkenler için uygun değerler verilerek modelin geçerliliği sağlanmalıdır. Bundan sonra sistem komutları (Euler işlemleri) ile model yaratılır. Aynı zamanda geçerliliği de sağlanmış olur.

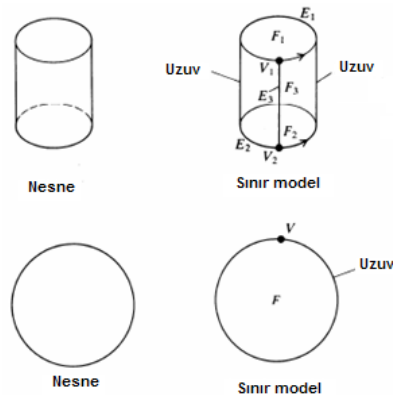
Denklem 4.10 ile verilen Euler kanunu sadece kapalı polihedral nesneler için uygulanabilir. Ama açık polihedral nesneler için denklem 4.10 yeterli değildir. Bu sınıftaki nesneler ve iki boyutlu poligonal nesnelerin yapılandırılması sırasında ortaya çıkabilir. Açık nesneler için aşağıdaki Euler denklemi yeterli olmaktadır.

$$F-E+V-L=B-G \quad (4.11)$$



Şekil 4.13 : Açık polihedral (çok yüzlü nesneler).

Şekil 4.13’de açık nesneler için örnekler verilmiştir. Denklem 4.11’deki B (tel, alan veya hacim) açık gövde eleman sayısını ifade etmektedir.

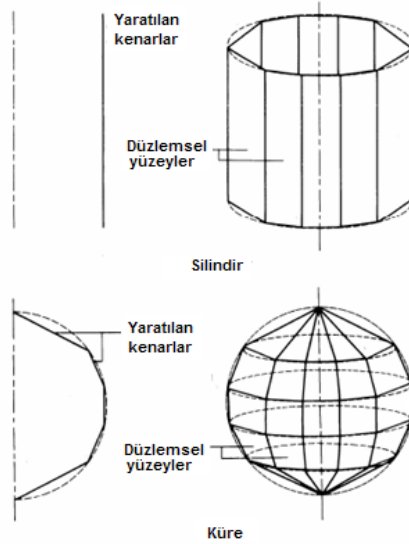


Şekil 4.14 : Silindir ve küreye ait B-rep gösterimi.

Silindirik ve küresel nesneler için aynı kurallar geçerlidir. En büyük fark kapalı eğri kenarlarının veya yüzeylerinin söz konusu olmasıdır. Şekil 4.14'deki silindir ve küreler buna örnek olarak verilebilir. Kapalı silindirik yüzeyin bir kenarı ve iki köşesi vardır. Kürede ise bir kenar(vertex) vardır ve köşe yoktur. Silindirin sınır modeli üç yüze göre (üst,alt ve silindirik yüz), iki köşeye ve bu köşelerde birbirine bağlı üç kenar ve iki köşe'ye sahiptir. Diğer kenarlar görsellik içindir. Bunlara silüet kenarlar denir. Kürenin sınır modeli bir yüz ve vertex'i vardır. Kenar yoktur. İki model de Euler kanununa uyar ve $F-E+V=2$ ile ifade edilebilir.

Eğrisel kenarların gösterimi, lineer kenarların gösteriminden daha kompleksdir. Direkt şemalarda kenar eğri denklemi ve istenen uç noktaları ile verilir. İndirekt şemalarda ise iki yüzeyin kesişimi ile gösterilir. Pratikte indirekt gösterim daha çok tercih edilmektedir çünkü bu durumda eğrisel kenarlar söz konusu olmaktadır.

Sınır modelin genel veri yapısı hem topolojik hem de geometrik bilgi ihtiva etmelidir. İlişkisel veritabanı modelleri, bu tip bu tip veri yapıları uygulamalarında çok etkindir. Gövdeler, yüzler, çevrimler, kenarlar ve köşeler için listeler üretilip tablolarda saklanır.

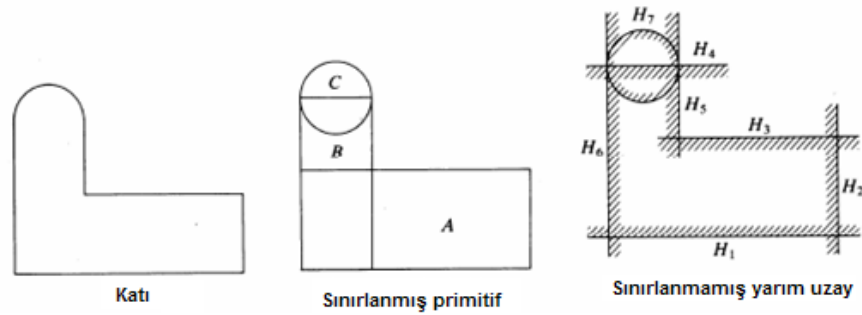


Şekil 4.15 : Silindir ve küreye ait B-rep yüzeylerinin gösterimi.

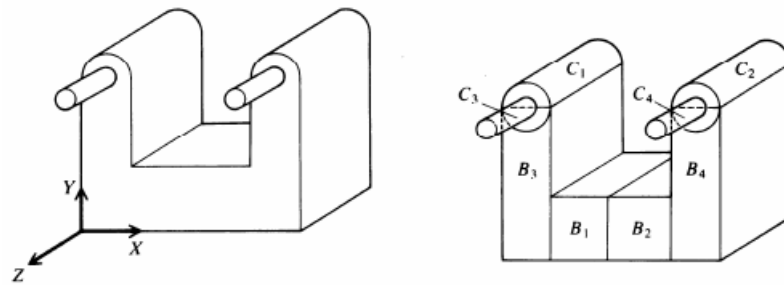
4.2.3 Konstrüktif katı geometrisi (CSG)

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 faydalananak bulunan yüzler, kenarlar ve köşelerin bir araya getirilmesinden oluşur. CSG modeller, B-rep prensip ve topolojik olarak farklıdır. Yüzler, kenarlar ve köşeler ekspilisit 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 4.16 : Sınırlanmış ve sınırlanmamış primitifler.

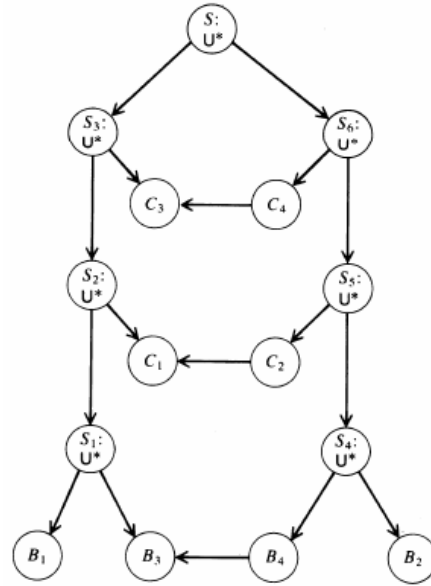


Şekil 4.17 : Tipik bir katı ve bu yapıyı oluşturan primitifler.

CSG modellerin veri tabanı, topolojik ve geometrik bilgileri B-rep'e benzer şekilde saklar. Topoloji, primitifleri bir araya getiren boolean işlemleri tarafından yaratılır. Bu sebeple sonuç nesnenin geçerliliğinin kontrolü, kullanılan primitiflerin

geçerliliğinin kontrolüne indirgenebilir. Sınırlanmış primitifler için bu kontroller oldukça basittir. CSG modelin veri tabanında saklanan geometrik bilgiler, o primitifin konfigürasyon parametrelerini, rijit hareket ve transformasyonunu içerir. Yüzlerin, kenarların ve köşelerin geometrisi saklanmaz fakat sınır değerlendirme işlemi ile hesaplanabilir. CSG gösterimi için veri yapısı grafik ve ağaç yapısı temeline dayanmaktadır.

Şekil 4.17 ve 4.18’de bir katı üzerinde uygulanan bir CSG modeli gösterilmektedir.

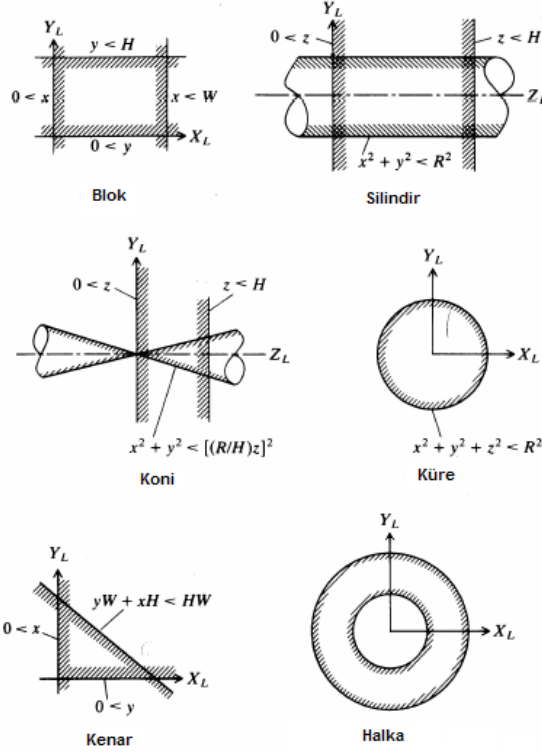


Şekil 4.18 : Katıya ait CSG şeması.

Sınırlanmış katı primitifler veya kısaca primitifler, bir modeli CSG şemalarından faydalanarak yapılandırırken temel elmanlar olarak kullanılır. Primitifler parametrik katılar olarak düşünülebilir. Bunlar iki geometrik veri kümesi ile tanımlanabilir. Birinci küme konfigürasyon parametreleri, ikinci küme de rijit hareket parametreleri adını alır. En yaygın kullanılan primitifler şekil 4.4’te gösterilmişti. Her primitif konfigürasyon ve rijit hareket parametreleri ile tanımlanır. Bir bloğun konfigürasyon parametreleri W, H, D boyutlarını ve rijit hareket ise referans koordinat sistemine göre verilen P orjininin konumudur.

Her bir primitif, parametrik nesne olarak görülebilir denilmişti. İki geometrik küme seçeneği, boyut ve rijit hareket parametrelerini, primitiflerin yerel koordinat sistemine göre bir denklemlerle tanımlanması temeline dayanır. Konfigürasyon parametreleri böyle bir denklemlerle tanımlanabilir. Rijit hareket parametreleri ve denklemlerden faydalanarak primitif bir başka koordinat sistemine dönüştürülebilir. Bu sebeple primitiflerin denklemleri, kesişimleri, sınırları ve diğer özellikleri genellikle

primitifin yerel koordinat sistemleri X_L , Y_L , Z_L 'e göre ifade edilmektedir. Matematiksel olarak, her primitif düzenli bir üçlü nokta kümesi ile tanımlanır. Şekil 4.19'daki primitifler için bu nokta kümeleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.19 : Sınırlanmış primitflere ait yarımlar.

$$\text{Blok: } \{(x, y, z): 0 < x < W, 0 < y < H, \text{ ve } 0 < z < D\} \quad (4.12)$$

$$\text{Silindirik: } \{(x, y, z): x^2 + y^2 < R^2 \text{ ve } 0 < z < H\} \quad (4.13)$$

$$\text{Koni: } \{(x, y, z): x^2 + y^2 < [(R/H)z]^2 \text{ ve } 0 < z < H\} \quad (4.14)$$

$$\text{Küre: } \{(x, y, z): x^2 + y^2 + z^2 < R^2\} \quad (4.15)$$

$$\text{Üçgen Blok: } \{(x, y, z): 0 < x < W, 0 < y < H, 0 < z < D \text{ ve } yW + xH < HW\} \quad (4.16)$$

$$\text{Simit(torus): } \{(x, y, z): (x^2 + y^2 + z^2 - R_2^2 - R_1^2)^2 < 4R_2^2(R_1^2 - z^2)\} \quad (4.17)$$

Denklem 4.12 ve 4.17 arasındaki denklemler, yarımların denklemleri ile (4.5 ... 4.9 denklemleri ile tanımlanmış) karşılaştırılacak olursa, sınırlanmış primitiflerin sonlu sayıda yarımların bir araya getirilmesi ile oluştuğu açıkça görülmektedir.

Bir blok, altı yarımların kesişiminin düzgün bir şekilde bir araya getirilmesi ile oluşur. Herbir yarımlar Denklem 4.12'de görülen üç eşitsizlikle sınırlanmıştır.

Şekil 4.19'da, şekil 4.4'deki herbir primitif için yarımların iki boyutlu ifadesi gösterilmektedir.

Primitiflerin gösterimi için birçok alternatif vardır. Bazı gösterimler çok az veya öz

verilerle ifade edilebilir. Kullanıcı tarafından verilecek bilgilerle primitifler kolayca yaratılır. Hesaplamalar açısından da oldukça verimlidir. Bunlara iç gösterim denir. Şekil 4.4'deki simitin (torus) yaratılması için kullanıcı tarafından R1 ve R0 veya R1 ve R'nin verilmesi yeterli olmaktadır.

$$\text{Düzlemsel yüzey: } H = \{(x,y,z): z=0\} \quad (4.18)$$

$$\text{Silindirik yüzey: } H = \{(x,y,z): X^2+Y^2=R^2\} \quad (4.19)$$

$$\text{Küresel yüzey: } H = \{(x,y,z): X^2+Y^2+z^2=R^2\} \quad (4.20)$$

$$\text{Konik yüzey: } H = \{(x,y,z): X^2+Y^2=[(R/H)z]^2\} \quad (4.21)$$

$$\text{Toroid yüzey: } H = \{(x,y,z): (X^2+Y^2+z^2-R_2^2-R_1^2)^2 = 4R_2^2(R_1^2-z^2)\} \quad (4.22)$$

Bunlar sonsuz yüzeyler olup keşimleri sonsuz eğrilerdir. Primitif yüzeyleri için denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Düzlemsel P yüzü: } \{(x, y, z): 0 < x < W, 0 < y < H, \text{ ve } z=0\} \quad (4.23)$$

$$\text{Üçlü düzlem P yüzü: } \{(x, y, z): 0 < x < W, 0 < y < H, \text{ ve } yW+xH < HW\} \quad (4.24)$$

$$\text{Disk P yüzü: } \{(x, y, z): x^2+y^2 < R^2 \text{ ve } z=0\} \quad (4.25)$$

$$\text{Silindirik Pyüzü: } \{(x, y, z): x^2+y^2 = R^2 \text{ ve } 0 < z < H\} \quad (4.26)$$

$$\text{Küre P yüzü: } \{(x, y, z): x^2+y^2+z^2 = R^2\} \quad (4.27)$$

$$\text{Konik P yüzü: } \{(x, y, z): X^2-Y^2 = [(R/H)z]^2\} \text{ ve } 0 < z < H \quad (4.28)$$

$$\text{Simit(torus) Pyüzü: } \{(x, y, z): x^2+y^2+z^2-R_2^2-R_1^2)^2 = 4R_2^2(R_1^2-z^2)\} \quad (4.29)$$

Primitif yüzeylerin herhangi biri kendi yüzeyinin bir altkümesidir. $F \subset P$ ile gösterilebilir. Düzlemsel primitif yüzü, düzlemsel yüzeyin (denklem 4.18) bir alt kümesidir. Altküme x ve y doğrultularında sınırlandırılmıştır. Silindirik primitif yüzü için de benzer şekilde $z=0$ ve H arasındaki bölgede sınırlandırıldığı söylenebilir.

Primitif yüzler için söylenenler, primitif kenarlar için de söylenebilir. (Yüzü sınırlayan kenarlar). Sonlu sayıdaki kenarlar uzayda uygun şekilde konumlanarak herhangi bir primitif yüzü sınırlarlar. Her kenar söz konusu eğrinin sonlu veya sınırlı bölgesidir.

Denklem 4.18 ile 4.22 arası denklemler aşağıdaki gibi polinom formunda yazılabilir.

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Dxy + 2Eyz + 2Fxz + 2Gx + 2Hy + 2Jz + K = 0 \quad (4.30)$$

Burada A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K keyfi sabitlerdir. Denklem ikinci dereceden formda ise ;

$$F(x,y,z)=V^T [Q]V=0 \quad (4.31)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V yüzey üstündeki bir noktanın homojen koordinat vektörüdür ve $[x \ y \ z \ 1]^T$ ile verilmiştir. $[Q]$ katsayı matrisidir. Bu matris simetrik ve

Yüzey normalleri katı primitiflerin gösteriminde çok kullanışlı fakat iç yapıya ait elemanlardır. Gösterim sırasında bunlar doğrudan istenmez. Yüzey normali ile yüzün birim normal vektörünün doğrultusu belirlenebilir. Böylece katının iç ve dış bölgeleri açık şekilde belirlenebilir. Yüzey normalleri çeşitli şekillerde hesaplanabilir. CSG şemalarındaki ana yapılandırma işlemleri, küme işlemleri ile daha özellikli olan düzgünleştirilmiş işlemlerle [birleşim($\cup$), kesişim($\cap$) ve fark ($-$) işlemleri] ile yapılır.

Küme işlemleri, boolean işlemleri olarak da bilinir. Çünkü bunlar birbirine çok yakındır. Küme işlemlerindeki birleşim, kesişim ve fark boolean işlemlerindeki VEYA, VE ve VE DEĞİL'le denktir. Bu sebeple CSG modelleri bazen küme teorisi bazen boolean cebri bazen de her ikisinin kombinasyonu ile oluşturulur. Katı modelleyici yazılımların en temel en hassas bileşenleri küme işlemleri algoritmalarıdır.

Euler işlemlerinden farklı olarak küme işlemleri verilen bir konuma veya denkleme dayanmaktadır. Küme teorisi bu işlemlerin kaynağıdır. Euler işlemlerinden daha yüksek seviyeli işlemler olarak kabul edilebilirler. Küme işlemleri için geçerlilik kontrolü, sınırlanmış primitifler için genellikle basittir. Eğer primitifler geçerli ise ve küme işlemleri düzenlenmiş ise, sonuç katının da topolojisi de geçerlidir.

Bazı katı modelleyiciler küme işlemlerinden daha az formal yapılandırma işlemlerini kullanılmasına imkan sağlar. ASSAMBLE ve GLUE en popülerlerinden ikisidir. İkisi de tüm katı üzerinde işlem yapar fakat genellikle katıları birleştirmezler. Bunlar yalnızca kurulmuş veya yapıştırılmıştır. İki katı da kullanıcı tarafından tek olarak algılanır. Bunun için iki katı uygun şekilde konumlanmış olmalıdır.

Son zamanlardaki katı modelleyicilerin çoğu kullanıcıya boolean işlemlerini kullanma imkanı vermektedir. Boolean işlemleri, katı modelin tanımlanmasında, katı primitiflerinin uygun şekilde bir araya getirilmesini sağlar. Modelleme ve imalat işleminde (delme, freze vs), uzayda konumlanmış katı nesnelerin, uzaysal etkileşimlerinin ve ihtilafın belirlenmesinde kullanılırlar. Genelde, mühendislik

işlemleri hacimsel ve uzaysal ilişkiler içermektedir ve boolean işlemlerinin kullanımını gerektirmektedir.

$A \langle OP \rangle B$ küme işlemi tanımlanırsa burada A ve B primitifleri, $\langle OP \rangle$ de işlemi göstermektedir. A ve B'nin gösterimi, bunların sınırlarının gösterimini içermelidir. Gösterim şemalarının farklılığı ortaya çıkmaktadır. B-rep'de yüzlerin, kenarların ve köşelerin sınırları açık olarak saklanmıştır. CSG'de primitif sınırları primitifin yüz ve kenarları (köşeler yok) olmaktadır. Açık olarak saklanmazlar ve temel yüzeyler/yarım uzaylardan hesaplanmalıdır.

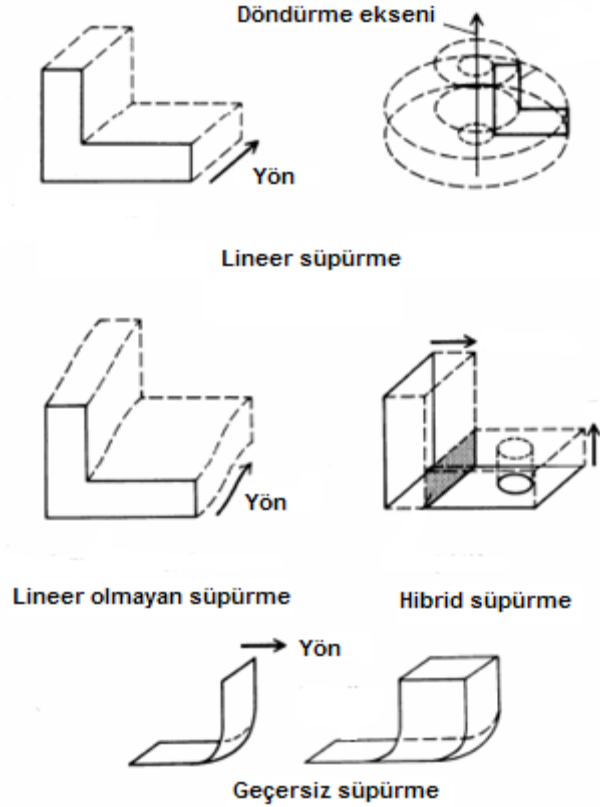
Küme işlemleri B-rep'de sınır ekleme olarak adlandırılırken CSG'de sınır değerlendirme olarak adlandırılır. CSG'de artımsal olmayan veya artımsal sınır değerlendirmeleri mümkündür. Artımsal olmayan değerlendiricide sonuç katı S değerlendirilir. Alt katılar göz önüne alınmaz. Artımsal değerlendirici de ise artımsal alt katıların sınırları, CSG ağaç yapısının çaprazlama ile sonuç katının sınırlarını üreterek değerlendirilir. En son söylenen değerlendirici B-rep şemalarında kullanılabenzer sınır ekleme prosedürüdür. CSG şemaları çok güçlü bir gösterim şemasıdır. Primitiflerin oluşturulması boolean işlemlerinin uygulaması kolaydır. Katı tanımlamalarının saklanması için minimum yer işgal edilmektedir. CSG grafiğinden faydalanarak sınırlar yapılandırıldığından biraz yavaşlamaktadır. CSG, tel kafes yapılarının üretilmesinde bu yüzden yavaş kalmaktadır. CSG, B-rep'e dönüştürülerek, modelin ekranda görüntülenmesi ekranda çizgisel olarak görüntülenebilir.

CSG şemalarında temel alan uygulama algoritmaları, B-rep şemalarına göre daha gerçekçi ve daha başarılıdır. Fakat CSG'nin en büyük dezavantajı oyma (sculptured) yüzeyler ve yarım uzayları ifadedeki yetersizliğidir. Bu araştırma için aktif bir alandır. Zamanla bu sınırlamanın ortadan kaldırılabilceği düşünülmektedir.

4.2.4 Süpürme (sweep) gösterimi

Süpürme gösterimi şemaları ikibuçuk boyutlu katı nesnelerin yaratılmasında çok kullanışlıdır. İkibuçuk boyutlu nesneler sınıfı, verilen doğrultuda uniform 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.



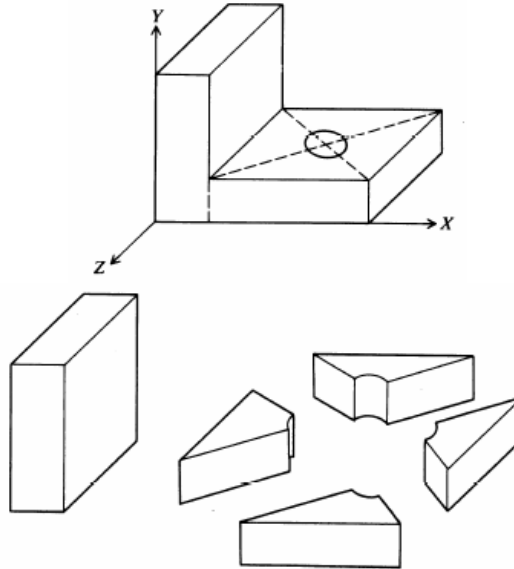
Şekil 4.20 : Süpürme çeşitleri.

Lineer süpürme öteleme ve dönel süpürme olarak ikiye ayrılabilir. (Şekil 4.20.a).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. Şekil 4.20.a . Nonlinear süpürmede ise vektör yerine bir eğri kullanılır. Şekil 4.20.b. Karma süpürmede küme işlemlerinden faydalanılır. Şekil 4.20.c. Şekil 4.20.a'da görülen nesne karma süpürme ile oluşturulan iki farklı katı birbirine yapıştırılması ile elde edilmiştir. Geçersiz katılar veya düzensiz kümeler, süpürme doğrultusunun uygun seçilmemesinden

kaynaklanabilir. Şekil 4.20.d

Hem analitik hem sentetik tel kafes eğriler geçerli elemanlardır. Primitifler iki boyutlu kesitlerin süpürme işlemleri ile yaratılmasında kullanılabilirler. Katı modelleyiciler kullanıcıya tüm tel kafes varlıklarını kullanmaya izin vermeyebilir. Süpürme işlemleri B-rep'e dönüştürülürse, tel kafes varlıklar, B-rep'in desteklediği temel eğrinin kenarlarının aynısıdır. Eğer bunlar CSG'ye dönüştürülürse söz konusu varlıklar desteklenen yarım uzayların oluşturduğu yüzeyleri (sınırları)dir. Doğrular, yaylar, çemberler ve B-splinelar en yaygın kullanılan süpürme işlemi varlıklarıdır. Lineer ve nonlinear süpürme modellerinin yapılandırma işlemleri basittir. Sınırı oluştur ve onu süpür mantığına dayanır. Eğer karma süpürme söz konusu ise boolean işlemleri devreye girer. Veri yapısı sadece süpürme gösterimi için tasarlandıysa, daha önce bahsedilen B-rep ve CSG'den farklı olarak boolean işlemlerinin uygulanması söz konusudur. Pratikte ise süpürme işlemleri kullanıcı tarafından kullanılıyor ise CSG veri yapısına göre Boolean işlemleri yapılmaktadır.

Sadece lineer süpürme B-rep veya CSG'ye göre dönüştürülebilir. Öteleme süpürmede, her varlık, süpürülen sınırdaki bir kenarı, her köşe noktası, söz konusu nesnenin vertex'i'ni gösterir. Modelin yüz sayısı $(N+2)$ dir. Burada N varlıkların sayısıdır. İki sayısı ön ve arka yüzler içindir. Şekil 4.20.a . Kenar sayısı $(2N+M)$ dir.



Şekil 4.21 : Bir katıya ait ASM modeli.

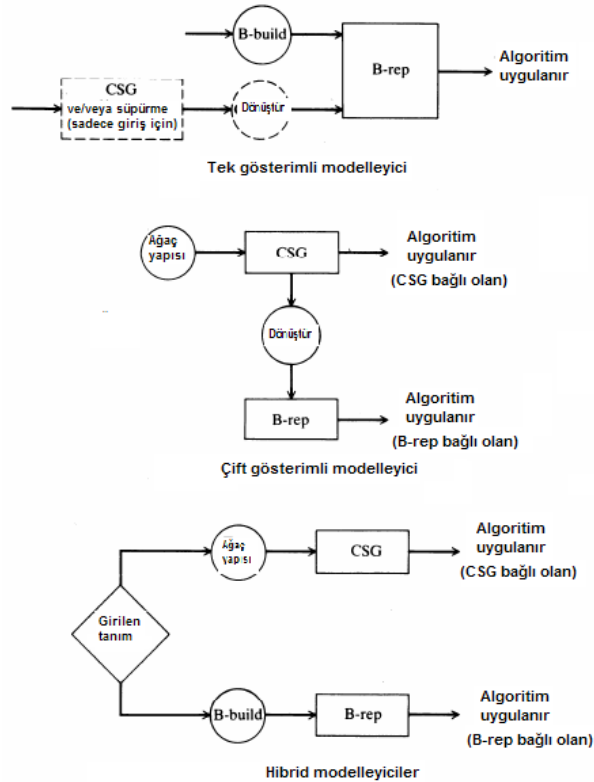
4.2.5 Analitik katı modelleme (ASM)

ASM sonlu eleman modellemeye çok yakındır. ASM, sonlu eleman analizi (FEA)

için sekizden yirmiye kadar nodlara sahip hexahedral elemanların üç boyutlu parametrik isoparametrik formülasyonun matematiksel temelini izler. ASM üretim maksadından çok gösterim şeması için kullanılmaktadır. B-rep veya CSG'nin sahip olduğu oryante yüzeyleri içermezler.

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

ASM, tensör çarpımı metodunun çok iyi bir uygulamasıdır. Parametrik uzayda u , v ve w parametreleri ile tanımlanan yüzey gösteriminin genişletilmiş halidir. Polinomların sadece çarpanlarını içerdiğinden katılardaki çok boyutluluktan kaynaklanan zorluklar söz konusu değildir. Üç boyutlu parametrik uzaydaki Bezier, B-spline katı gösterimlerinden iki boyutlu parametrik uzaya geçiş çok kolay olmaktadır. Aynı şekilde iki boyutlu parametrik uzaydan (u,v) tek boyutlu parametrik uzaya (u) geçiş de mümkün olmaktadır. Üç boyutlu parametrik uzaydaki tensör çarpımı formülasyonu, katıya ait kübik parametrik alanın u,v ve w değerlerinin kartezyen koordinattaki x , y ve z 'ye eşlenmesi ile tanımlanır. Bir katı parçasına ait eşleme şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : Katı modelleyicilerin tipleri.

4.3 Katı Modelleyicilerin Organizasyonu

Herbir katı modelleyici gösteriminin dezavantajları ve avantajlarından bahsedilmiştir. Bazılarının diğerlerine nazaran belirli uygulamalar için daha uygun olduğu görülmüştür. Bu ise katı modelleyicilerin birden fazla iç gösterimin geliştirilmesi gereğini ortaya koyar. Katı modelleyicilerin mimarisi çoğu BDK/BDİ sistemi için önemlidir. Katı modelleyici dört ana gruba ayrılabilir. Giriş sistemi kullanıcı bağlantısı ve bunla ilgili komutları içerir. Kullanıcı yeni bir nesnenin tanımlanması için gerekli komutları (sembol yapıları diye adlandırılır) veya kütle özelliklerinin hesaplanması gibi uygulama algoritmalarının gerçekleştirilebilmesi için uygulama komutlarını girebilir. GMS (geometrik modelleme sistemleri) katı modelleyicilerin kalbidir.. Uygulama sistemi çeşitli uygulama algoritmalarını içerir. Her algoritma, modelleyicinin iç gösterimine uygulanarak, ihtiyaç duyulan analiz için uygun geometrik formlar elde edilir. Sonlu elemanlar modellemede ağ algoritması ile nesne nod noktaları ve elemanları elde edilir.

Katı modelleyiciler GMS temel alınarak üç şekilde katagorize edilebilir.

1. Tek Gösterimli Modelleyiciler. Bu tip modelleyiciler tek bir iç gösterimi saklarlar. B-rep böyle bir gösterimdir. Bu modelleyiciler genellikle CSG benzeri girişleri ve süpürme işlemlerini destekleyerek kullanıcı girişini kolaylaştırırlar. Bu uygulamalar girildiği şekilde saklanmazlar. Bunlar B-rep'e dönüştürülerek saklanır. Şekil 4.22'de GMS'nin tek gösterimini göstermektedir.
2. Çift Gösterimli Modelleyiciler. Modelleyiciler arasında en popüler olup biricil gösterim şemaları CSG dir. Modelleyici hem B-rep hem CGS gösterime sahiptir. Modelleyiciler genelde B-rep saklamazlar. Sadece CSG grafiği (ve ağaç yapısı) saklanır ve B-rep buradan elde edilir. CSG'nin B-rep dönüştürme ihtiyacı bu bağlamda doğaldır ve aynı zamanda ekranda görüntüleme ve grafik maksatlar için kullanılmaktadır. Yapılandırmaları genellikle tek gösterimden karmaşık olup çok geniş alandaki uygulamalar için destek verirler. Şekil 4.22b böyle bir GMS yapısını göstermektedir.
3. Karma modelleyiciler. Bu tip modelleyiciler hem Brep hem CSG gösterimi içerirler. Bunlar birbirinden bağımsızdır. Şekil 4.22c. GMSOLID gerçek bir karma modelleyicidir. Kullanıcı her iki gösterimden birini ihtiyacına göre kullanabilir. Örnek olarak oyma (sculptured) yüzeyler çift gösterimli sistemlerde modellenemezken karma modelleyicide B-rep ile modellenenebilir (Zeid, 1991).

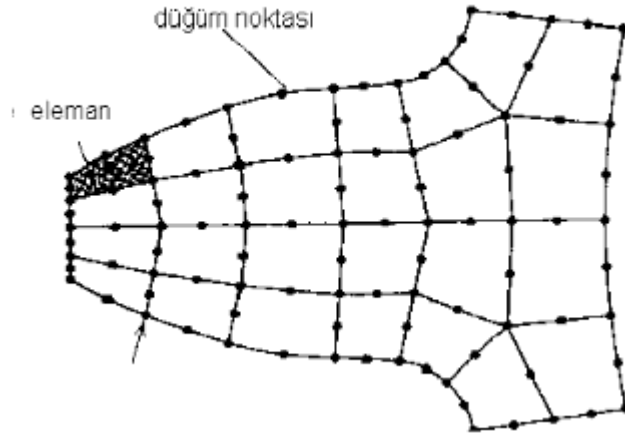
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Yöntem ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanın almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme haizdir [Engin ve ark.2000].

Sonlu elemanlar yönteminde yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen düğüm noktalarında tekrar birleştirilirler (Şekil 5.1). Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler düğüm noktalarındaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın düğüm noktalarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar yönteminde bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler düğüm noktalarındaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının düğüm noktalarındaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir.



Şekil 5.1 : Bir sonlu eleman modelinde düğüm noktaları ve elemanlar.

5.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihsel Gelişimi

Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz yöntemleridir. Argyis ve Kelsey (1960) virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım yöntemi geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telâffuz edilmiştir. Yöntemin üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir.

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

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü 1960 'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin, Zienkiewicz ve Cheung (1965) sonlu elemanlar yöntemi ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise yöntemi potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar yöntemi geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer bir çok alana uygulanmaktadır.

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı.

5.3 Yöntemin Adımları

Ele alınan problemin sonlu eleman yöntemi ile analizinde takip edilen adımlar aşağıdadır.

5.3.1 Problem geometrisinin elemanlara ayrılması

İlk adım problemi sonlu sayıda basit geometrik şekilli bölgelere (sonlu elemanlar) ayırmaktır. Sonlu eleman, uzaydaki konumları global eksen takımına bağlı koordinatlarca verilen, düğüm noktalarına sahiptir. Her bir sonlu elemanın geometrik şekli interpolasyon fonksiyonlarıyla düğüm noktalarının koordinatları cinsinden tanımlanır.

Sayısal modelleme problemin, sınırlarının, sınır şartlarının ve malzeme özelliklerinin matematiksel olarak ifade edilmesinin gerektirmektedir. Analiz edilecek bir problemin karmaşık geometrisinin tam tanımı, yüzeyindeki sonsuz sayıda noktanın konumunun belirlenmesiyle sağlanır. Bu da sonsuz sayıda denklemin çözülmesini gerektirir. Bu nedenle geometri yaklaşık olarak makul sayıda elemanla ele alınır. Elemanların geometrik şekli düğüm noktalarının koordinatları cinsinden interpolasyon fonksiyonu ile tayin edilmektedir (Beer and Watson, 1994).

5.3.2 Alan değişkeninin tayini

Alan değişkeni, yapıdaki incelen birincil değişkendir. Gerilme analiz probleminde bu yer değiştirir. Bundan sonra yapılacak kabul, yer değiştirmenin eleman boyunca değişiminin basit bir fonksiyon olduğudur. İnterpolasyon fonksiyonu yer değiştirmenin her bir elemanda değişimini düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edilmesini sağlar. Bu fonksiyonlar elemanların geometrik şeklini tayin eden

interpolasyon fonksiyonları ile aynı olabilir. Bu durumda eleman izoparametrik olarak adlandırılır.

5.3.3 Elemanların davranış matrislerinin hesaplanması

Her bir eleman için elemanın fiziksel davranışını tanımlayan katsayı matrisi tanımlanır. Katı cisim mekanikinden rijitlik matrisi hesaplanır. Bu hesap için kullanılan yöntemlerin çoğu toplam potansiyel enerjinin minimize edilmesine dayanır.

5.3.4 Eleman matrislerinin birleştirilmesi

Eleman ağı ile temsil edilen sistemin özelliklerini bulmak için eleman özelliklerinin birleştirilmesi gerekmektedir. Diğer bir anlatımla, her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri birleştirilerek tüm çözüm bölgesinin özelliklerini ifade eden matris denklemler elde edilir. Sistemin matris denklemleri tek bir elemanın matris denklemleri ile aynı formda olmasına karşın tüm düğüm noktalarını ihtiva ettiğinden daha fazla sayıda terime sahiptir.

Elemanların birbirlerine bağlandığı yerde (düğüm noktalarında) alan değişkeninin değeri bu noktayı paylaşan her elemanda aynıdır. Eleman denklemlerinin birleştirilmesi ile çözüme gidilir.

5.3.5 Sistem denklemlerinin çözümü

Birleştirme prosesi neticesinde alan değişkeninin bilinmeyen düğüm noktası değerlerini elde etmek için çözülmesi gereken simültane denklem seti elde edilir. Eğer denklemler lineer ise standart çözüm teknikleri kullanılabilir.

Denklemlerin çözümü neticesinde birincil bilinmeyenlerin (alan değişkeni) değerleri bulunur. Elastik gerilmedeformasyon analizinde birincil bilinmeyen yer değiştirmelerdir. Birim şekil değiştirmeler elastisite teorisindeki bağıntıları kullanarak elde edilir. Gerilmeler de Hook Kanunu yardımıyla birim şekil değiştirmelerden hesaplanır.

Düğüm noktası değerleri ve interpolasyon fonksiyonlarını kullanarak, eleman içinde birim şekil değiştirme ve gerilmeler hesaplanabilir.

5.3.6 Eleman rijitlik matrisi

Sonlu elemanlar yönteminde, incelenen yapı birbirlerine düğüm noktalarından bağlanan elemanlar topluluğu (eleman ağı) ile modellenir. Çözüm, temel gerilme-birim şekil değiştirme (strain) ifadelerini ve komşu elemanlardan düğüm noktaları üzerinden aktarılan kuvvetler sistemini kullanarak her bir elemandaki çökmelerin hesaplanmasıyla elde edilir. Birim şekil değiştirme, düğüm noktalarının çökmelerinden elde edilir. Gerilmeler birim şekil değiştirmelerinden elde edilir. Her düğüm noktasındaki kuvvet diğer düğüm noktalarındaki kuvvetlere bağlıdır. Elemanlar yay sistemine benzer davranır ve tüm kuvvetler dengede olana kadar şekil değiştirirler. Bu da aynı zamanda çözülmesi gereken lineer denklemler sistemini ifade eder.

Rijitlik matrisi tatbik edilen kuvvetler nedeniyle düğüm noktalarının ne kadar yer değiştirdiğini tanımlayan bir yay sabiti olarak düşünebilir. Matris formunda aşağıda ifade edilmiştir.

$$\{f\} = [k] \{u\} \quad (5.1)$$

Burada $\{f\}$ elemana etki eden kuvvetler vektörü, $[k]$ elemanın rijitlik matrisi ve $\{u\}$ elemanın düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörüdür. Rijitlik matrisi düğüm noktalarının koordinatları ve malzemenin elastik sabitlerinden oluşur.

Sistemi oluşturan bütün elemanlar için aşağıdaki matris ifade elde edilir.

$$\{F\} = [K] \{U\} \quad (5.2)$$

$\{F\}$ = Her bir düğüm noktasındaki dış kuvvetler $\{F\} = \sum \{f\}$

$[K]$ = Tüm elemanlardaki rijitlik matrislerinin birleştirilmesi ile oluşan sistemin rijitlik matrisi $[K] = \sum [k]$

$\{U\}$ = Yer değiştirme vektörü

Bu ifadede bilinmeyenler, yer değiştirmelerdir. Uygun matris işleminin tatbiki ile yer değiştirme vektörü eşitliğin bir tarafında yalnız bırakılır. Gauss eliminasyon yöntemi ile her bir düğüm noktasındaki yer değiştirmeler hesaplanır.

Yer değiştirmeler vektörü, $[B]$ gradyen matrisi ve $[D]$ elastik sabitler matrisi ile çarpıldığında her bir düğüm noktasındaki gerilmeler hesaplanır.

$$[U]=[K]^{-1}\{F\} \quad (5.3)$$

$$\{\sigma\}=[D][B]\{u\}^e \quad (5.4)$$

5.3.7 Rijitlik Matrisinin Türetilmesi

Eleman rijitlik matrisini elde etmek için virtüel işler prensibinden faydalanılabilir. Bu prensibe göre, tatbik edilen kuvvetler ile dengede olan bir yapının virtüel yer değiştirmesi halinde dış kuvvetlerin virtüel işi, yapıdaki iç gerilmelerin virtüel şekil değiştirme enerjisine eşittir.

$$\delta U_e = \delta W_e \quad (5.5)$$

δU_e : İç gerilmelerin virtüel şekil değiştirme enerjisi

δW_e : Dış kuvvetlerin virtüel işi

Yapıdaki gerilme ve birim şekil değiştirme dağılımlarını hesaplamak için öncelikle birim şekil değiştirmeler ile yer değiştirmeler arasındaki bağıntıyı tesis etmek gerekmektedir. Eleman içindeki herhangi bir noktanın yer değiştirmesi o noktanın koordinatlarının bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon düğüm noktalarının koordinatları cinsinden ifade edilebilir. Bu polinom ifadesi ile, düğüm noktalarındaki değerlerden eleman içindeki herhangi bir noktanın yer değiştirmesi tayin edilebilmektedir. Bu fonksiyon interpolasyon fonksiyonu olarak adlandırılır.

$$\{u\} = [N]\{u\}^e \quad (5.6)$$

$\{u\}$: yer değiştirme bileşenleri $u(x,y)$ ve $v(x,y)$

$[N]$: interpolasyon fonksiyonu

$\{u\}^e$: düğüm noktasındaki yer değiştirme bileşenleri

Birim şekil değiştirme yer değiştirme bağıntısı bu durumda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\{\epsilon\} = [\partial]\{u\} = [\partial][N]\{u\}^e = [B]\{u\}^e \quad (5.7)$$

$[B]$: Gradyen matrisi

$\{\epsilon\}$: birim şekil değiştirme sütun matrisi

$[\partial]$: diferansiyel operatör matrisi

Gradyen matrisi birim şekil değiştirme bileşenleri ile düğüm noktası yer değiştirme bileşenlerini birbirine bağlamaktadır.

Gerilme matrisi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$[\sigma] = [E][B]\{u\}^e \quad (5.8)$$

Virtüel düğüm noktası yer değiştirmeleri $\{\delta u\}^e$ için virtüel birim şekil değiştirme enerjisi,

$$\delta U_e = \int \{\delta \epsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (5.9)$$

dir. Dış kuvvetlerin virtüel işi,

$$\delta W_e = \{\delta U_e\}^T \{f\} \quad (5.10)$$

Virtüel işler prensibinden aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\int_V \{\delta \epsilon\}^T \{\sigma\} dV = \{\delta U_e\}^T \{f\} \quad (5.11)$$

Gerilme ve birim şekil değiştirme ifadeleri yerine eşitlikleri konursa,

$$\int_V \delta u^e \{B\}^T [E] [B] \{u^e\} dV = \{\delta u^e\}^T \{f\} \quad (5.12)$$

Virtüel ve gerçek yer değiştirmeler hacimsel integralden bağımsız olduğundan aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\{\delta u^e\}^T \left(\int_V [B]^T [E] [B] dV \right) \{u^e\} = \{\delta u^e\}^T \{f\} \quad (5.13)$$

Eşitliğin her iki tarafından $\{\delta u\}^T$ silinirse düğüm noktalarındaki yer değiştirmeleri tatbik edilen kuvvetlere bağlayan aşağıdaki ifade elde edilir.

$$[k] \{u\} = \{f\} \quad (5.14)$$

Bu ifadede eleman rijitlik matrisi

$$[k] = \int_V [B]^T [E] [B] dV \quad (5.15)$$

iki boyutlu problemde,

$$[k] = \int_V [B]^T [E] [B] t dA \quad (5.16)$$

t eleman kalınlığı, A ise eleman alanıdır.

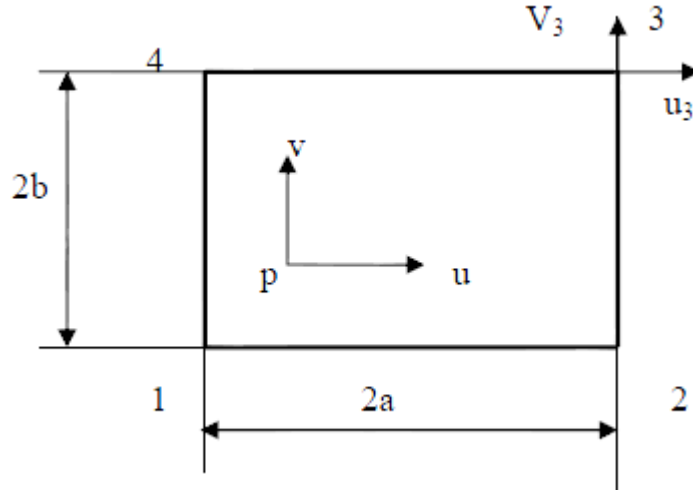
Bu şekilde kabul edilen yer değiştirme fonksiyonunu esas alan herhangi bir elemanın genel matematik ifadesi elde edilmiş oldu. Eleman rijitlik matrisi interpolasyon fonksiyonlarının formuna ve gradyen matrisini oluşturan turevlerine bağlıdır (Knight, 1993).

5.3.8 Yer değiştirme fonksiyonu

Eleman boyunca yer değiştirmeleri kartezyen koordinatların (düzlemsel problemde x ve y) sürekli fonksiyonları olarak ifade etmekle, sonlu elemanın fiziksel davranışının matematiksel ifadesini elde etmek için ilk adım atılmış olur.

Yer değiştirme fonksiyonları sonlu eleman içinde sürekli ve tüm elemanlarla uyumlu olacak şekilde seçilir. Polinom ifadeler sürekliliği sağlarlar. Uyumluluk şartı, yük altında deformasyon neticesinde komşu elemanların birbiri üstüne binmemesi veya arada süreksizlik olmamasıdır. Bu nedenle seçilen polinom ifadesinin derecesine karşılık gelen tüm terimleri ihtiva etmesi istenir.

Polinom ifadeler, üçgen ve dörtgen elemanların yer değiştirme fonksiyonları olarak kullanılırlar. Matematiksel olarak ele alınmaları kolaydır. Yakınsama için herhangi bir dereceden polinom kullanılabilir. şekil 5.2.' de lineer dikdörtgen eleman görölmektedir.



şekil 5.2 : Lineer dikdörtgen eleman.

Düzlem eleman içindeki herhangi bir noktanın yer değıştirmesi u fonksiyonu matris formda aşığıdaki şekilde yazılır.

$$\{u\} = [u(x, y) \ v(x, y)]^T \quad (5.17)$$

Değişim bir polinomla ifade edilebilir. Aşığıdaki polinom ifade lineer dikdörtgen elemanın yer değışimi fonksiyonu ifade etmektedir.

$$u = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \quad (5.18a)$$

$$v = a_5 + a_6x + a_7y + a_8xy \quad (5.18b)$$

Yer değıştirmenin düğüm noktalarındaki değeri ise aşığıdaki ifadelerden bulunur.

$$u(x_1, y_1) = a_1 + a_2x_1 + a_3y_1 + a_4x_1y_1 = u_1 \quad (5.19a)$$

$$u(x_2, y_2) = a_1 + a_2x_2 + a_3y_2 + a_4x_2y_2 = u_2 \quad (5.19b)$$

$$u(x_3, y_3) = a_1 + a_2x_3 + a_3y_3 + a_4x_3y_3 = u_3 \quad (5.19c)$$

$$u(x_4, y_4) = a_1 + a_2x_4 + a_3y_4 + a_4x_4y_4 = u_4 \quad (5.19d)$$

Benzer şekilde yer değıştirmenin v bileşeni için ifadeler yazılabilir.

Bundan sonra yapılacak iş yer değıştirme fonksiyonunu düğüm noktalarındaki değeri cinsinden ifade etmektir.

$$u = N_1u_1 + N_2u_2 + N_3u_3 + N_4u_4 \quad (5.20a)$$

$$v = N_1v_1 + N_2v_2 + N_3v_3 + N_4v_4 \quad (5.20b)$$

Neticede matris formda aşığıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{Bmatrix} \quad (5.21)$$

$$\{u\} = [N] \{u\}^e \quad (5.22)$$

N_i interpolasyon fonksiyonları aşağıdaki eşitlikte verilmiştir. N_i fonksiyonu numaralı düğüm noktasında 1 diğerlerinde 0 değerindedir. Buna göre şekilden aşağıdaki ifadeler çıkarılabilir.

$$N_1 = \frac{1}{4ab}(b-x)(a-y) \quad (5.23a)$$

$$N_2 = \frac{1}{4ab}(b+x)(a-y) \quad (5.23b)$$

$$N_3 = \frac{1}{4ab}(b+x)(a+y) \quad (5.23c)$$

$$N_4 = \frac{1}{4ab}(b-x)(a+y) \quad (5.23d)$$

N_i fonksiyonları iki adet birinci dereceden polinom ifadenin çarpımı olduğundan bu eleman iki doğrusal (bilinear) olarak adlandırılır (Noboru, 1986).

Birim şekil değiştirmeler ile yer değiştirmeler arasındaki ifade,

$$\{\varepsilon\} = [\partial]\{u\} = [\partial][N]\{u\}^e = [B]\{u\}^e \quad (5.24)$$

$$[\partial] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial y} & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \frac{\partial N_3}{\partial y} & \frac{\partial N_3}{\partial x} & \frac{\partial N_4}{\partial y} & \frac{\partial N_4}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

Bu matrislerin elde edilmesinden sonra eleman rijitlik matrisi virtüel işler prensibinin tatbiki ile elde edilmektedir.

Birim şekil değiştirme bileşenleri aşağıda verilmiştir.

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a_2 + a_4 y \\ a_6 + a_8 x \\ a_3 + a_4 x + a_6 + a_8 y \end{Bmatrix} \quad (5.27)$$

Birim şekil değiştirmeler eleman içinde x ve y' ye bağlı olarak değişmektedir. Gerilme birim şekil değiştirme bağları sabit olduğundan gerilme bileşenleri de eleman içinde şekil değiştirmelerle benzer değişecektir. Bu şekilde çözüme iyi bir yaklaşım sağlanır.

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{sabit} \\ \text{sabit} \\ \text{sabit} \end{Bmatrix} \quad (5.28)$$

Denklem (5.33)'de ise üç düğüm noktalı elemandaki şekil değişimini veren ifade verilmiştir. Eleman boyunca şekil değişimi bileşenleri sabit olduğundan performansı dörtgen elemandan düşüktür (Moaveni, 1999).

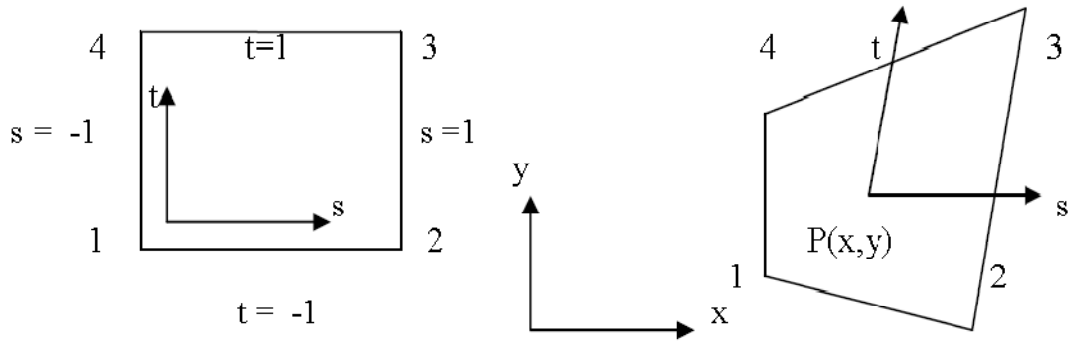
5.3.9 İzoparametrik dörtgen eleman

Karmaşık geometrilerin modellenmesinde iki doğrusal dikdörtgen eleman iyi bir performans göstermez. Genel dörtgen (quadrilateral) elemanlar karmaşık geometriyi daha iyi temsil eder (Moaveni, 1999). Bu eleman daha önce ele alınan iki doğrusal dikdörtgen eleman gibi formüle edilebilirse de gerekli integral işlemleri karmaşıktır. İntegral sınırlarının tanımlanmasında zorluk vardır. Kartezyen koordinatlarda koordinat interpolasyonu elemanın uzaydaki konumuna son derece hassastır. Elemanın bazı konumlarında ara matrisler hesaplanamaz veya system denklemleri kötü sonuç verecek şekilde tesis edilir. İzoparametrik (esparametrik) elemanların

kullanılması bu dezavantajları gidermektedir. İzoparametrik elemanlar doğal koordinatlarda kare elemanlar olarak formüle edilir ve fiziksel koordinatlara yer değiştirme interpolasyon fonksiyonlara benzeyen koordinat interpolasyon fonksiyonları yardımı ile eşlenir. Kullanılan izoparametrik elemanın tipine bağlı olarak elemanın fiziksel koordinatlardaki konfigürasyonu genel dörtgen ve eğri kenarlı olabilir. Koordinat interpolasyonu için kullanılan şekil fonksiyonları yer değiştirme interpolasyonu için kullanılanlara özdeş ise eleman izoparametrikdir. İzoparametrik elemanlar çok yönlü kullanılabildiklerinden ve daha güvenilir sayısal netice verdiklerinden sonlu eleman programlarının temel elemanlarıdır.

5.3.9.1 İzoparametrik eşleme

Şekil 5.3.' de dört düğüm noktalı dörtgen elemanın (s,t) doğal koordinatlarından (x,y) koordinat sistemine dönüştürülmesi görülmektedir. Doğal koordinatlarda eleman bir karedir ve koordinat sisteminin orijini merkezdedir. Kartezyen koordinatlarda eleman keyfi dörtgen şeklindedir. Şekil fonksiyonları ile, herhangi bir $P(x,y)$ noktasının koordinatları düğüm noktalarının (x,y) koordinatları cinsinden ifade edilebilir.



Şekil 5.3 : Elemanın fiziksel koordinatlara eşlenmesi.

$$u(s, t) = a_1 + a_2 s + a_3 t + a_4 st \quad (5.29a)$$

$$v(s, t) = b_1 + b_2 s + b_3 t + b_4 st \quad (5.29b)$$

$$x(s, t) = \sum_{i=1}^4 N_i(s, t) x_i \quad (5.30a)$$

$$y(s, t) = \sum_{i=1}^4 N_i(s, t) y_i \quad (5.30b)$$

$$\begin{Bmatrix} x(s, t) \\ y(s, t) \end{Bmatrix} = [N] \{x_i\} \quad (5.31)$$

$$\{x\} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix}^T \quad (5.32)$$

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (5.33)$$

$$N_1(s, t) = \frac{(1-s)(1-t)}{4} \quad (5.34a)$$

$$N_2(s, t) = \frac{(1+s)(1-t)}{4} \quad (5.34b)$$

$$N_3(s, t) = \frac{(1-s)(1+t)}{4} \quad (5.34c)$$

$$N_4(s, t) = \frac{(1+s)(1+t)}{4} \quad (5.34d)$$

5.3.9.2 Eleman rijitlik matrisi

(5.16) ifadesi izoparametrik lineer dörtgen eleman içinde kullanır. Koordinat dönüşümü neticesinde eleman rijitlik matrisi aşağıda ifade edilmiştir.

$$[K] = h \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] [B] J | \partial s \partial t \quad (5.35)$$

5.3.9.3 Sayısal integrasyon

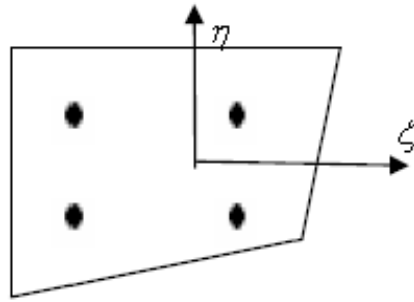
Sonlu elemanlar programlarında integral alma işlemleri sayısal olarak yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sayısal integrasyon yöntemi Gauss Kareleştirme (Quadrature) yöntemidir. Bu yöntemde diğerlerine nazaran daha az örnekleme

noktası ile istenen yaklaşım elde edilir. Bu yöntemde verilen bir $F(s,t)$ fonksiyonunun integral alma işlemi aşağıdaki forma dönüşür.

$$I = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 F(s,t) ds dt = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n w_k w_l F(s_k, s_l) \quad (5.36)$$

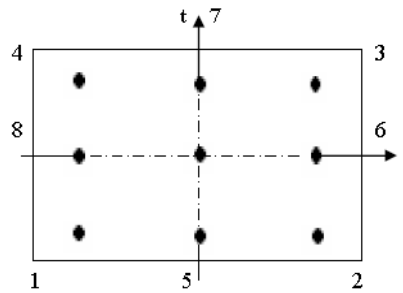
Bu ifadede m ve n s ve t yönündeki örnekleme noktaları sayılarıdır. s_k ve t_l , k ve l örnekleme noktalarının konumları, w_k ve w_l örnekleme noktalarında $F(s,t)$ ' ye tatbik edilen ağırlıklardır. Genelde $m=n$ dir (Knight, 1993).

Gauss Kareleştirme yöntemi ile elde edilen isabetli yaklaşım örnekleme noktalarının yerleri ve ağırlıklarının uygun seçimine bağlıdır. En iyisel örnekleme noktaları konumları ve ağırlıkları şekilde verilmiştir. Şekil 5.4.' de 4 örnekleme noktası vardır. Bu noktalar s ve t referans eksenlerine göre ± 0.577350269 konumlarındadır. Ağırlık faktörleri 1'dir.



Şekil 5.4 : Gauss kareleştirme için en iyisel örnekleme noktaları konumları.

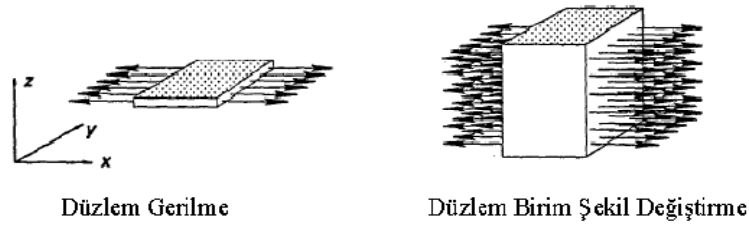
İkinci dereceden dörtgen eleman için örnekleme noktaları Şekil 5.5.' de görülmektedir.



Şekil 5.5 : Düğüm noktalı eleman için örnekleme noktaları.

5.4 İki Boyutlu Modelleme

Problem geometrisi bir düzlemde tanımlanabilir ve tatbik edilen yüklerde aynı düzlemde ise, bu durumda problem düzlemsel (2 boyutlu) olarak incelenebilir. İki boyutlu problemlerin iki genel hali vardır: Düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme. Düzlem gerilme, yapıların düzlemdeki boyutlarına nazaran küçük kalınlıkta olması durumunda söz konusudur (Şekil 5.6.). Bu durumda düzlem dışı koordinata bağlı gerilme bileşenlerinin tümü sıfırdır. Düzlem şekil değiştirme halinde düzlem dışı doğrultuda birim şekil değiştirmeler sıfırdır.



Şekil 5.6 : İki boyutlu katı geometrisi.

Teorik olarak düzlem gerilme halinde kalınlık sıfıra, düzlem şekil değiştirme halinde kalınlık sonsuza gider. Kalınlık sonlu değerde ve aşağı yukarı düzlemdeki boyutlarla aynı ise bu durumda üç boyutlu hal söz konusudur. Bununla birlikte pratikte sadece düzlem yükleri varsa, düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme yaklaşımları gerçek 3 boyutlu çözüme uygundur. Düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme çözümleri genelde benzer ve bazı durumlarda ise aynı neticeyi vermektedir (Knight, 1993).

İki boyutlu yapıda, düzlemde herhangi bir noktanın hareketini tanımlayan iki yer değiştirme bileşeni vardır. Bir cisim x,y koordinat sistemine yerleştirildiğinde x yönündeki yer değiştirme bileşeni $u(x,y)$ ve y yönündeki yer değiştirme bileşeni $v(x,y)$ dir. Düzlem çözümde birim şekil değiştirme bileşenleri ϵ_x , ϵ_y ve γ_{xy} ' dir.

Birim şekil değiştirmeyen yer değiştirme bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (5.37)$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (5.38)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (5.39)$$

Bu birim şekil değıştirmelerine karşılık gelen gerilmeler σ_x, σ_y ve τ_{xy} dir. Düzlem gerilmede σ_z, τ_{yz} ve τ_{zx} sıfırdır. Düzlem gerilme hali için;

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (5.40)$$

Bu ifade de σ_x ve σ_y normal gerilme bileşenleri τ_{xy} kayma gerilmesi E elastise modülü ve ν poisson oranıdır.

Düzlem şekil değıştirme durumunda, birim şekil değıştirme bileşenleri $\varepsilon_z, \gamma_{xz}$ ve γ_{yz} sıfırdır. Gerilme bileşenleri σ_x, τ_{xz} , ve τ_{yz} sıfırdan farklı ve σ_z belirgin bir değerde olabilir. $\sigma_z, \varepsilon_z=0$ şartının sağlanması durumunda düzlemdeki bileşenlerden doğrudan hesaplanabilir.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (5.41)$$

6. KONTEYNERLER

Çok değişik alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmakta olan kapalı kaplara genel olarak konteyner denilmekte olup, burada bahsedilen konteynerler Uluslararası Standartlara (ISO) göre üretilmiş ve eşya taşımakta kullanılan “Yük Konteynerleri”dir.

6.1 Konteynerin Tarihçesi

Konteynerizasyonun babası Amerikalı Malcolm McLean'dir. 1930'lu yılların sonlarına doğru McLean, Hoboken limanında parça yüklerin elleçlenmesi ve bir yerden başka bir yere nakilin (birden çok parçanın) bir defada yapılabilmesi düşüncesinden yola çıkarak önce yükleri araçlara (treylar) doldurup bu araçların gemilere bindirilmesiyle (traktör ile) işe başlamıştır. Literatürde bilinen ilk konteyner gemisi, 1956 yılında “Maxton” isimli tankerin 60 konteyner taşıyacak şekilde dizayn edilmiş hali olan “İdeal X” isimli şileptir. Bir limandan başka bir limana ilk konteyner nakli, bu gemi ile 20 Nisan 1956 tarihinde Houston limanına yapmış ve 58 konteyner taşınmıştır. Avrupa'nın ilk konteyner gemisi ile tanışması ise bundan yaklaşık 10 yıl sonra 6 Mayıs 1966 tarihinde olmuştur.

6.2 Konteyner Tipleri

Konteyner tipleri aşağıdaki sıralanmıştır. Bir konteynerin elemanları Ek A.7 de gösterilmektedir.

6.2.1 20' / 40' Dry container

Bazı ticari yazışmalarda bu tip konteynerlere "dry van" yada " standart" denilmesine rağmen, çoğunlukla " genel amaçlı " terimi daha uygundur. Uluslararası kullanıma uygun olarak uzunluk ve genişlik açısından dış ölçüleri sabit , yükseklikleri farklı olabilir. İki kapıları olup sadece bir tanesi dışa doğru açılabilir.Konteynerin

kapısı kapatıldığında su ve hava geçirmez özelliği vardır. Genellikle çelik ve alüminyum kullanılır. Çelik konteynerlerin yükleme kapasitesi daha azdır, çünkü çelik daha ağırdır. Maksimum Brüt ağırlık 20' için 30,480 kg, 40' için 32,500 kg dır.

6.2.2 20' Üstü açık / 40' Üstü açık

Tipik bir genel amaçlı konteynerin uzunluk ve genişlik ölçülerini taşıy tek bir farkla "sabit bir üstü " yoktur. Konteynere kapıdan sığmayacak kadar uzun/geniş olan yüklerin ancak vinç yada benzeri araçlarla üstten konabileceği durumlarda kullanılır. En çok makina, mermer levhalar, alüminyum profiller vs taşınır. Open top konteyner çoğu zaman üstten taşması olan yükler içinde kullanılır. Yükleme sonrası bir branda ile sıkıca örtülür. Tabanı, ağır yükleri taşımasından dolayı biraz daha kalındır ve özel ekipman sınıfına girdiğinden navluna genellikle surcharge (ilave masraf) eklenir.

6.2.3 20' Flat rack / 40' Flat rack / 40' Kapanabilir flat rack

Bazen kısaca "flat" olarak da adlandırılır. Bu tip konteynerin iki kenarı ve üstü yoktur. Bazen her iki baş kısmıda yerinden çıkarılabilir. Flat konteyner her iki yandan ve üstten taşmalı malların yüklenmesine uygunluğu nedeniyle navluna oldukça fazla surcharge eklenebilir. Konteynerin tabanı çok kalındır.

6.2.4 40' High cube / 45' High cube

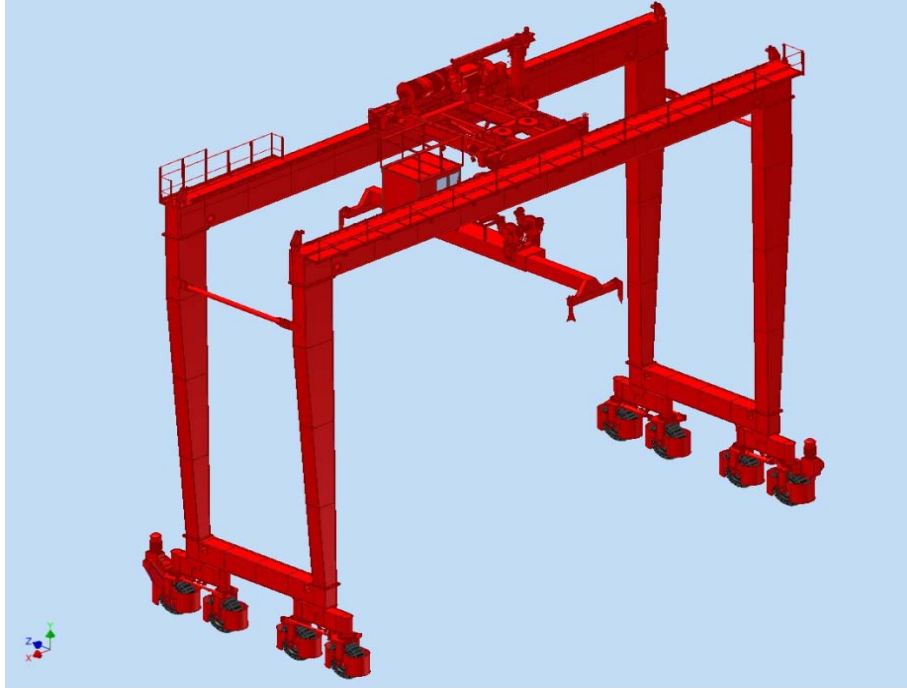
Bu tip konteynerler nispeten hafif fakat volümü yüksek malların taşınmasında kullanılır. Yükseklikleri normal 40' konteyner oranla 30 cm daha fazladır.

6.2.5 Reefer / 40' High cube reefer / 45' High cube reefer

Konteynere takılan ve elektrik ya da diesel motor ile çalıştırılan bir soğutma ünitesi ile, genellikle gıda ürünleri başta olmak üzere, diğer yüklerinde soğutma kontrollü olarak taşınmasında kullanılır (Url-2).

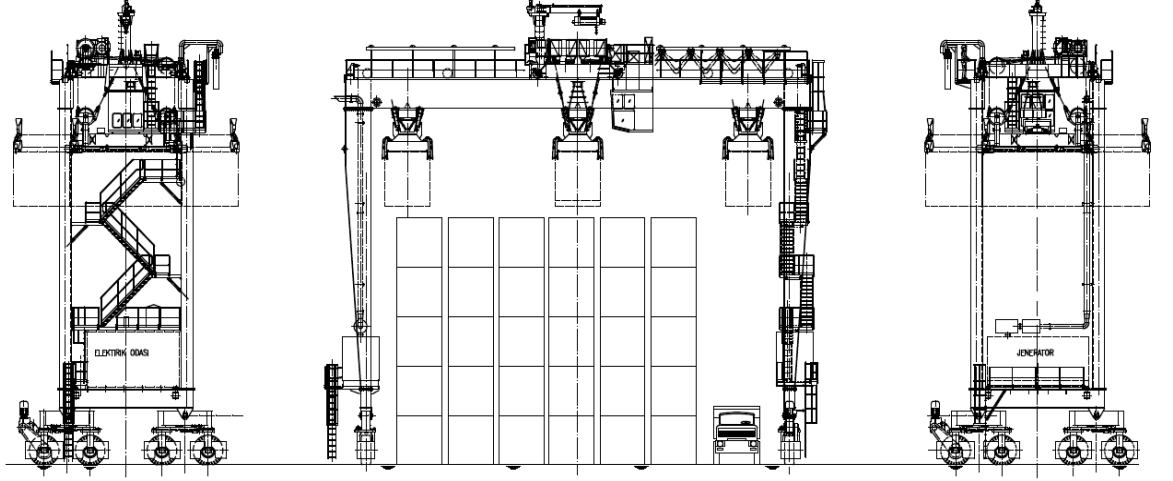
7. LASTİK TEKERLEKLİ KONTEYNER İSTİFLEME KRENİNİN ELEMANLARI

Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni konteyner terminallerinde, limanlarda konteynerlerin istiflenmesi ve taşınması amacıyla kullanılan bir kren türüdür. Şekil 7.1 de krenin üç boyutlu modellenmiş hali görünmektedir. Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni portal krenler sınıfına girmektedir.



Şekil 7.1 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin üç boyutlu modeli.

Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni azami toplam ağırlığı 40 t olmak üzere ISO standart tipi altı konteyneri üst üste istifleyebilecek kapasiteye sahiptir. Ayak açıklığı ise altı sıra konteyneri istifleyebilecek şekilde boyutlandırılmıştır (Şekil 7.2). 40 t olmasının sebebi ise 40” ‘ lik bir konteynere brüt ağırlığı ile birlikte maksimum 32 t yük yüklenmesidir.



Şekil 7.2 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreni.

Yükleri kaldırmak için yük tutma elemanı olarak bir spreader kullanılmaktadır. Kren elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Krenin çalışması için gerekli güç, kren tekerleklerinin üzerine bir platform yardımıyla yerleştirilen dizel motor ile çalışan jeneratörden sağlanmaktadır.

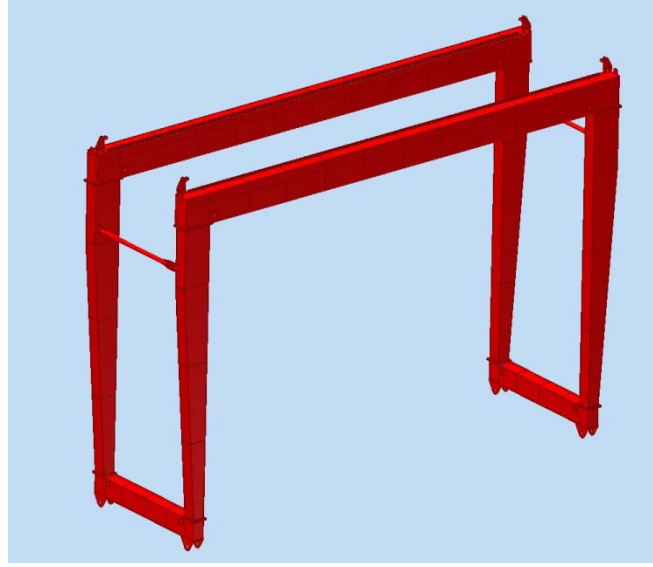
7.1 Gövde Grubu

Lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin simetrik konstrüksiyona sahip gövde grubu esas olarak, kaynaklı kutu tipinde ve birbirlerine bağlanmış kirişlerden oluşan üç ana gruptan meydana gelmektedir.

Bu gruplar şunlardır :

- İki adet köprü kirişi
- Dört adet ayak
- İki adet baş kiriş (yan kiriş)

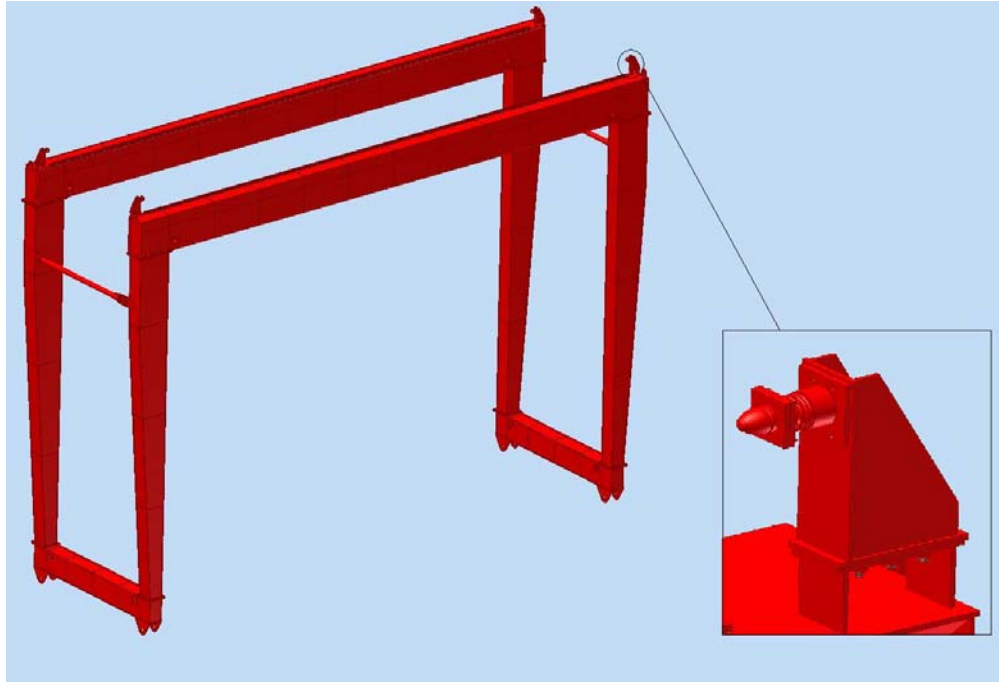
Şekil 7.3 de köprü, ayak ve baş kirişlerden oluşmuş gövde grubu gösterilmektedir. Gövde grubu araba grubuyla birlikte krenin ağırlık bakımından en ağır gruplarıdır. Krenin toplam ağırlığının yaklaşık % 50 sini gövde grubu oluşturmaktadır.



Şekil 7.3 : Gövde grubu.

7.1.1 Köprü Kirişi

Köprü kirişleri ayakların üst uçlarına bağlanmıştır ve iki adettir. Arabanın hareket ettiği kızak rayları köprü kirişleri üzerinde yer almaktadır. Bununla birlikte konstrüksiyonun mukavemetini artırmak için kutu kirişe ara ara perde plakalar kaynatılmıştır. Köprünün baş taraflarına arabanın durdurulması için, dört adet yaylı durdurucu konmuştur (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 : Yaylı durdurucu.

7.1.2 Ayaklar

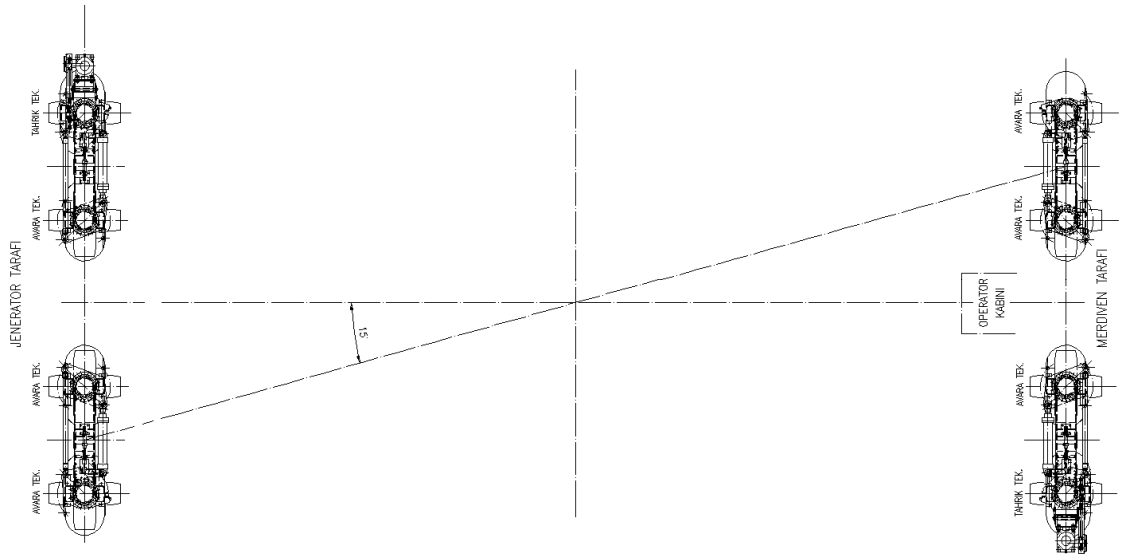
Düşey ayaklar, yürütme mekanizması gruplarının üzerinde baş kirişlerin uçlarında yer almaktadır. Ayaklar da köprü kirişi gibi kaynaklı kutu tipinde, değişen kesitli olarak dört adettir.

7.1.3 Baş Kiriş

Lastik tekerlekli yürütme mekanizması yatay baş kirişlerin (yan kirişlerin) altına yerleştirilmiştir. Baş kirişlerin konstrüksiyonu da köprü kiriş konstrüksiyonuna benzemektedir.

7.2 Kren Yürütme Grubu

Yürütme mekanizması iki denge kirişi yardımıyla krenin tamamına destek veren iki tahrikli ve altı tahriksiz lastik tekerlekten meydana gelmektedir. Şekil 7.5 de tekerleklerin ve yürütme grubunun yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 7.5 : Yürütme grubu.

7.2.1 Tahrik ve tekerlek grubu

Tahrikli tekerlekler köprünün diyagonal yönde karşıt iki köşesine yerleştirilmiştir (Şekil 7.5). Tekerlek milinin üzerinde zincir dişli yerleştirilmiştir. Bu sayede tahrik motorlarıyla zincirle tahrik sağlanmaktadır (Şekil A.2).

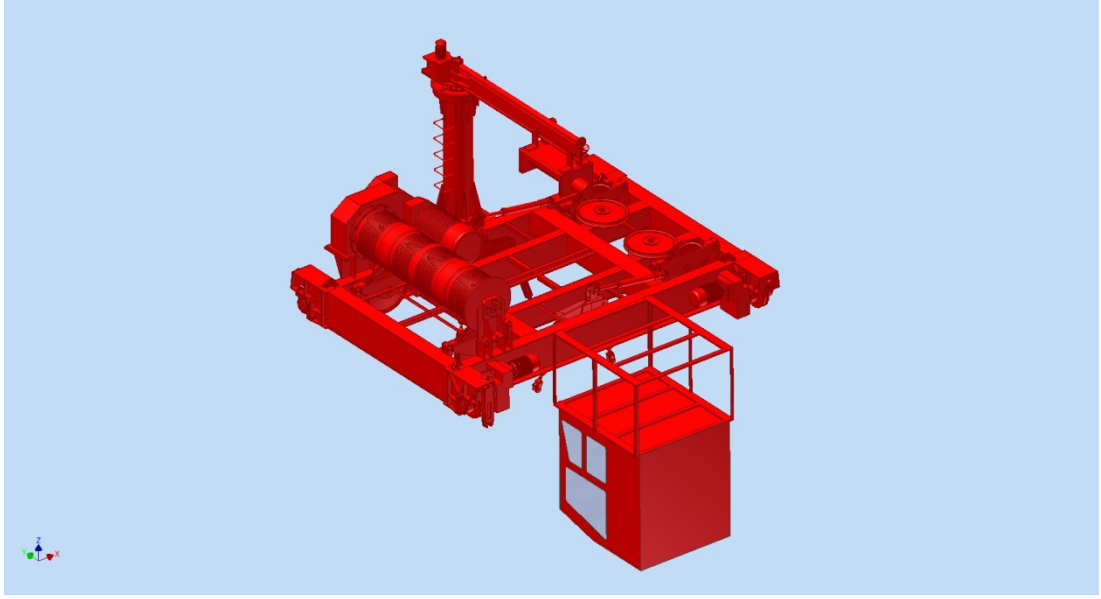
7.2.2 Tekerlek döndürme ve kilit grubu

Tekerleklerin döndürülmesi ve kilitlenmesi, yürütme mekanizmasının kirişlerine yerleştirilmiş iki çeşit hidrolik silindir yardımıyla yapılmaktadır. İzlenen bir kilit mekanizması yalnızca bütün tekerleklerin uzun eksen veya kısa eksen yönünde pozisyon almış olması şartıyla krenin hareketine izin verir. Lastik tekerlekler yanıl dönüş kabiliyetine sahip olduğundan, hareketin ana yönüne dik açıda yanıl hareket sağlanmaktadır. Ayrıca, krenin spin dönüş adı verilen, kendi eksenini etrafında nokta dönüş yapabilme kabiliyeti de bulunmaktadır. Yürütme grubunun çalışma pozisyonları Şekil A.6 da görülmektedir.

7.3 Araba Grubu

Köprü kirişleri üzerinde hareket eden araba esas olarak aşağıda belirtilen kısımlardan oluşmaktadır :

- Araba Şasisi
- Kaldırma Grubu
- Araba Yürütme Grubu
- Denge ve Tartı Grubu
- Dikey Makara Grubu
- Yatay Makara Grubu
- Rüzgar Freni Grubu
- Operatör Kabini Grubu



Şekil 7.6 : Araba grubu.

Bununla birlikte araba şasisine monte edilmiş bir adet pergel kren bulunmaktadır. Bu pergel kren lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin bakımının yapılmasında kullanılmaktadır.

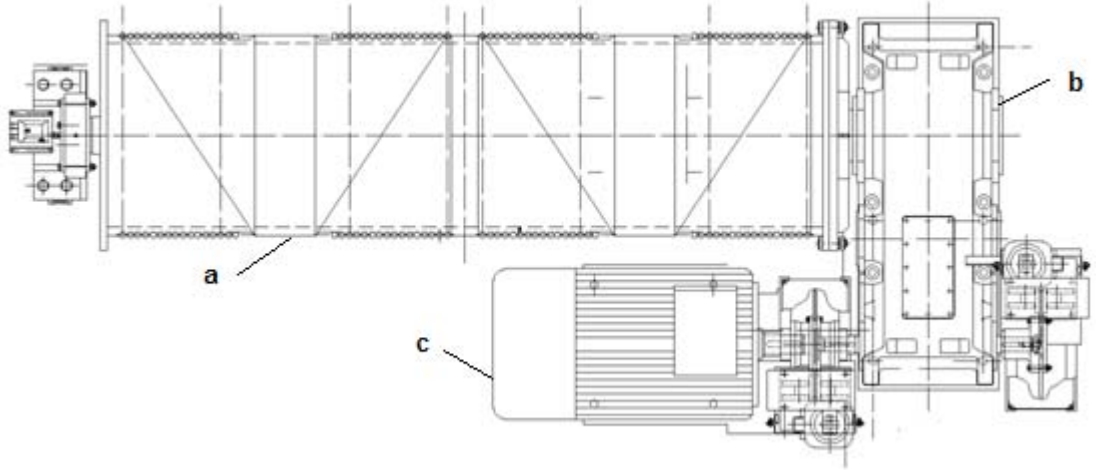
7.3.1 Araba şasisi

Araba şasisi tahrikler için gerekli altyapıyı içeren kaynaklı konstrüksiyon şeklinde oluşmuştur. Araba şasisinde dikey makaraların bağlandığı delikler, kaldırma ve tartı ekipmanları için bağlantı parçaları da bulunmaktadır.

Araba şasisi tam olarak hesabı oldukça karışıktır. Bir çok kirişin ve sacın kaynak edilmesiyle oluşan şasi static belirsiz olup dört tekerlek üzerine de statik belirsiz olarak yataklanmıştır. Bu şasiye yükten, dişli kutusunda gelen yatak basınçları, motorların veya frenlerin döndürme momentleri, makina parçalarının ve kendi taşıyıcı kirişlerinin ağırlıkları gibi çok sayıda kuvvet etki etmektedir.

7.3.2 Kaldırma grubu

Kaldırma tertibatı halatların tek kat sarıldığı, bir tambur içeren , kaldırma/indirme hareketinin gerçekleştiği kombine bir mekanizmadır. Tahrik tertibatı redüktör miline bağlanmış olan bir kaplin ile aktaran motordan meydana gelmektedir. Bu bağlantıyı Şekil 7.7 de görülmektedir.



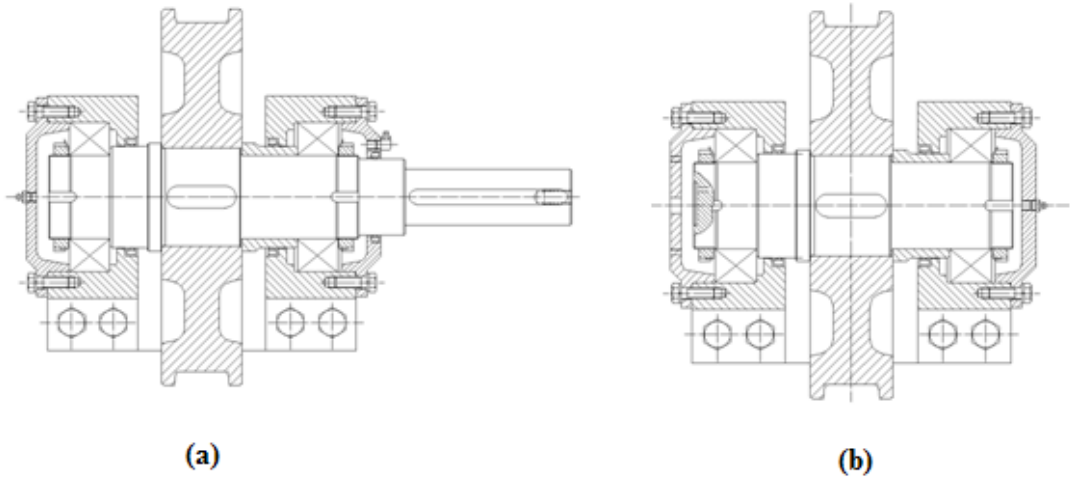
Şekil 7.7 : Kaldırma grubu.

a Motor, b Redüktör, c Tambur

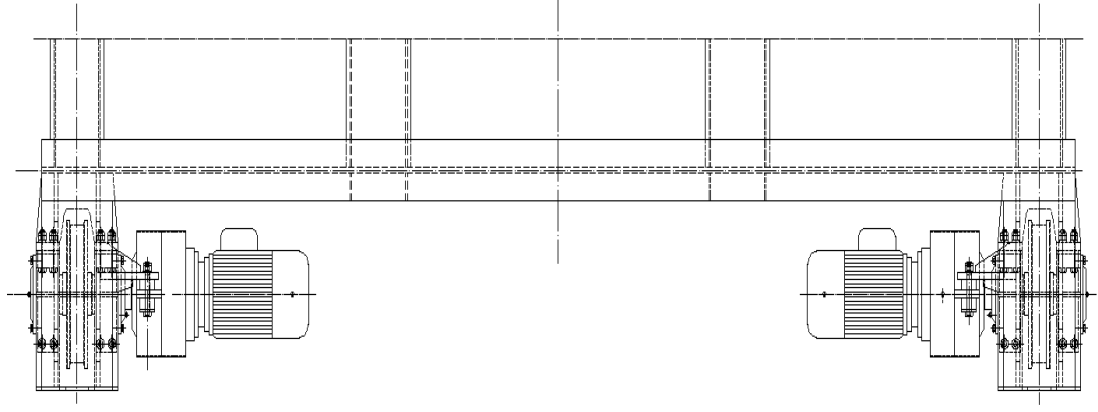
Kaldırma mekanizmasında yer alan tambura iki adet sağ, iki adet sol olmak üzere dört kısımdan oluşan yivler yer almaktadır.

7.3.3 Araba yürütme grubu

Araba yürütme grubunda iki adet tahrik (Şekil 7.8a) ve iki adet avara (Şekil 7.8b) teker olmak üzere dört adet tekerlek bulunmaktadır. Tahrik karşılıklı yerleştirilmiş tahrik tekerleklerininine bağlanmış redüktörlü motorlar ile yapılmaktadır. Şekil 7.9 da araba yürütme grubu gösterilmektedir.



Şekil 7.8 : (a) Tahrik tekerleği (b) Avara tekerlek.



Şekil 7.9 : Araba yürütme grubu.

7.3.4 Denge ve tartı grubu

Denge ve tartı grubu kaldırılan konteyneri dengelemek ve salınması önlemek için kullanılan iki adet hidrolik silindir ve kaldırılan yükün ağırlığını ölçmek için uzatma kollarına bağlanmış yük hücrelerden (loadcell) oluşmaktadır. Bu mekanizme konteynerin herhangi bir salınım yapmadan dengeli bir şekilde taşınmasını sağlamaktadır.

7.3.5 Dikey makara grubu

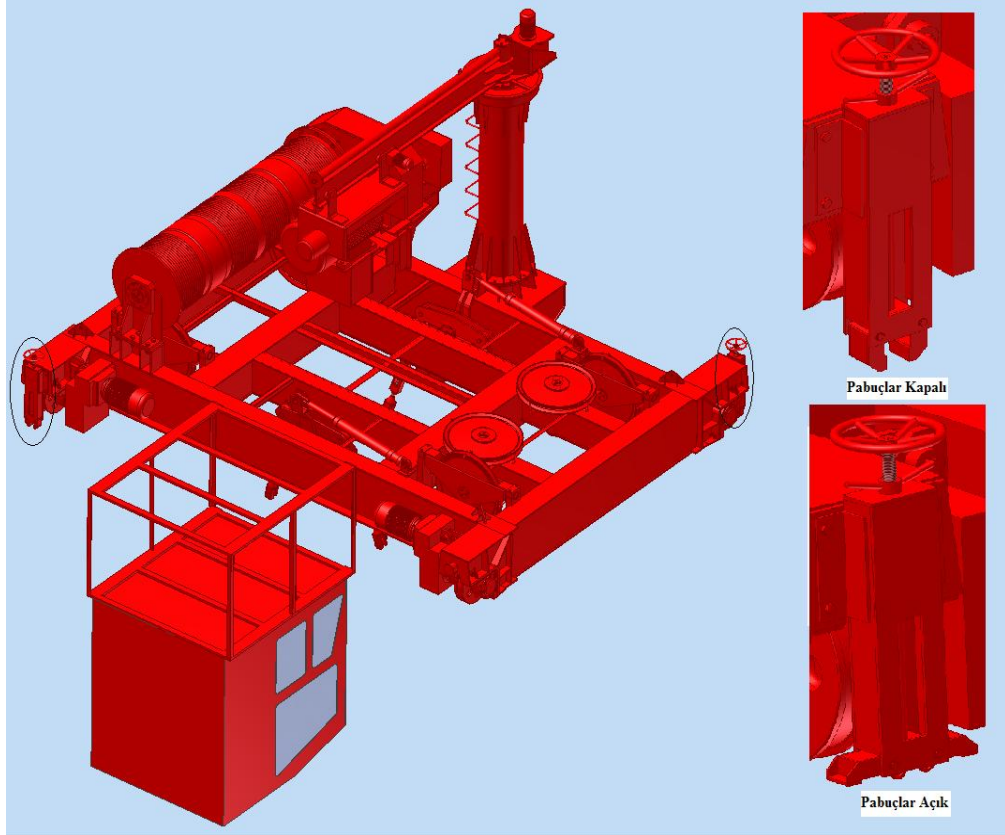
Araba şasisine yerleştirilmiş ve dört adet bulunan dikey denk makaraları halatın tambura sarılmasına yardımcı olmaktadır. Makaralardan iki tanesi tambur hizasında alt kısmına, diğerleri ise tamburun karşı tarafına yerleşmiş durumdadır. Burada makaralar ne kadar büyük çapta imal edilirse, halatlarında ömrü o kadar uzamaktadır.

7.3.6 Yatay makara grubu

Yatay denk makaralarıda yine dikey denk makaralarında olduğu gibi araba şasisine monte edilmiştir. Yatay makaraların görevi tambur hizasında bulunan dikey makaralardan gelen halatın yönünü değiştirerek tambura sarılmasını sağlamaktadır.

7.3.7 Rüzgar freni grubu

Araba çalışmazken, boшта dururken rüzgardan dolayı hareket etmesini önlemek için, park pozisyonunda eminyete alınması için, araba şasisine kilit tertibatı yerleştirilmektedir. Bu kilit tertibatı rüzgar freni olarak adlandırılmaktadır. Kilitleme pabuçların raylara basmasıyla sağlanmaktadır. Şekil 7.10 da rüzgar freninin açık ve kapalı konumları gösterilmektedir.



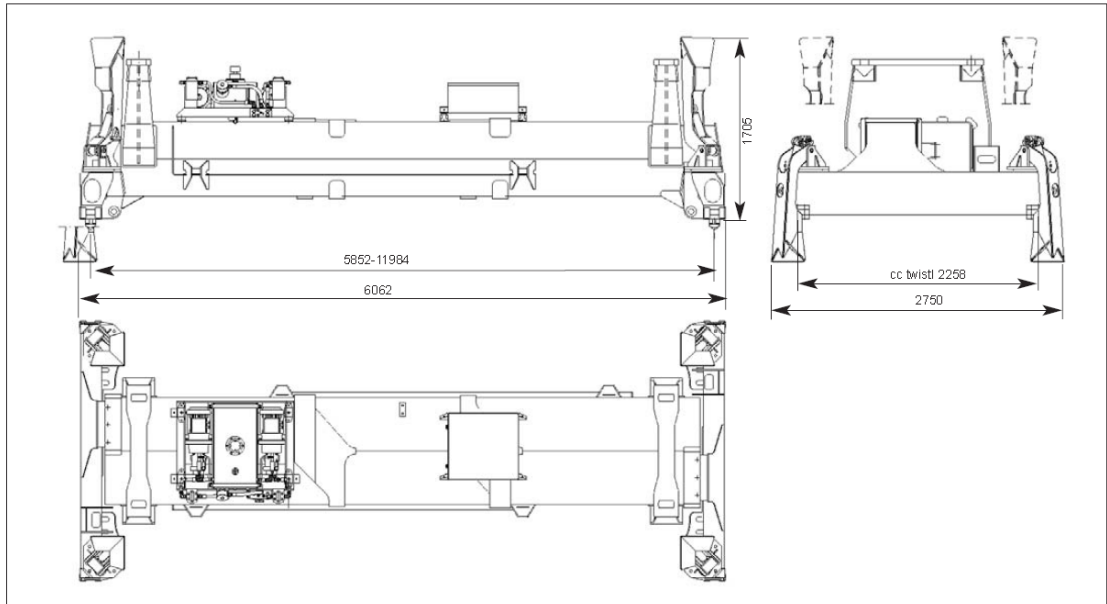
Şekil 7.10 : Arabayı kilitlemek için kullanılan rüzgar freni.

7.3.8 Operatör kabini

Operatör kabini operatörün kreni rahatlıkla kullanması için gerekli olan bölümdür ve arabaya şasi yardımıyla monte edilmektedir. Kabinde operatörün oturacağı koltuk, kren ilerlerken kameraları takip edebilmesi için monitor, elektrik arızaları gösteren ekran, koltuğun sağ ve sol bölümüne yerleştirilmiş kontrol panelleri yer almaktadır (Şekil A.1). Bununla birlikte jeneratördeki dizel motor için dizel kontrol panelide yer almaktadır.

7.4 Spreader Grubu

Spreader grubu, makara grubu ve spreaderın üzerine yerleştirilen kablo toplama sepetinden oluşmaktadır. Spreaderler, lastik tekerlekli konteyner istifleme krenleri için, yük tutma elemanı olarak üretilen standart ürünlerden temin edilir. Bu tür spreaderlerle, teleskop çatallarının uzatma özelliği olması sayesinde 20'' ve 40'' konteynerler taşınabilir. Bu uzatma hidrolik silindirler sayesinde sağlanmaktadır. Ayrıca üzerlerinde konteyneri spreadere kilitlenmesini sağlayan döner pimler (twistlocks) ve spreaderin dört bir yanında bulunan merkezlemeye yardımcı olan yönlendirme kolları mevcuttur. Şekil 7.11 de spreaderin genel görünümü gösterilmektedir.



Şekil 7.11 : Spreader.

7.4.1 Spreader makara grubu

Spreader makara grubunda, dört adet halat makarası olmasıyla birlikte, halatın makaradan kaçmasını önleyen dört adet büyük ve dört adet küçük olmak üzere toplam sekiz adet kılavuz makarası da bulunmaktadır. Şekil xx de spreader makara grubu gösterilmektedir.

7.5 Jeneratör Grubu

Kren elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalıştığından, gereken güç dizel motorla çalışan jeneratörle sağlanmaktadır. Şekil 7.2 de krenin jeneratörünün yerleşimi gösterilmektedir.

7.6 Platform ve Yürüme Yolları Grubu

Lastik tekerlekli konteyner istifleme krenine merdivenler ve platformlar yoluyla ulaşıldığından gerek kabine gerekse bakım noktalarına kolaylıkla erişilebilmektedir. Kabine çıkan merdiven köprünün elektrik dairesi tarafında yer almaktadır. Buradan bir merdivenle sahanlığa, ve başka bir merdivenle de ayak üzerindeki kabin transfer platformuna ulaşılmaktadır. Bu sahanlıktan yukarı çıkan bir başka merdivenle de köprü kirişi seviyesine çıkılmaktadır.

Sağ köprü kirişinin dış yüzeyinde kiriş boyunca uzanan bir yürüme yolu (Şekil 7.12) bulunmaktadır. Bu yürüme yolu ayrıca araba bakım platformu olarak da kullanılabilir. Sol köprü kirişinde, arabayla ilgili bakım çalışmalarının yapılabilmesi için kısa bir bakım platformu (Şekil 7.12) bulunmaktadır.

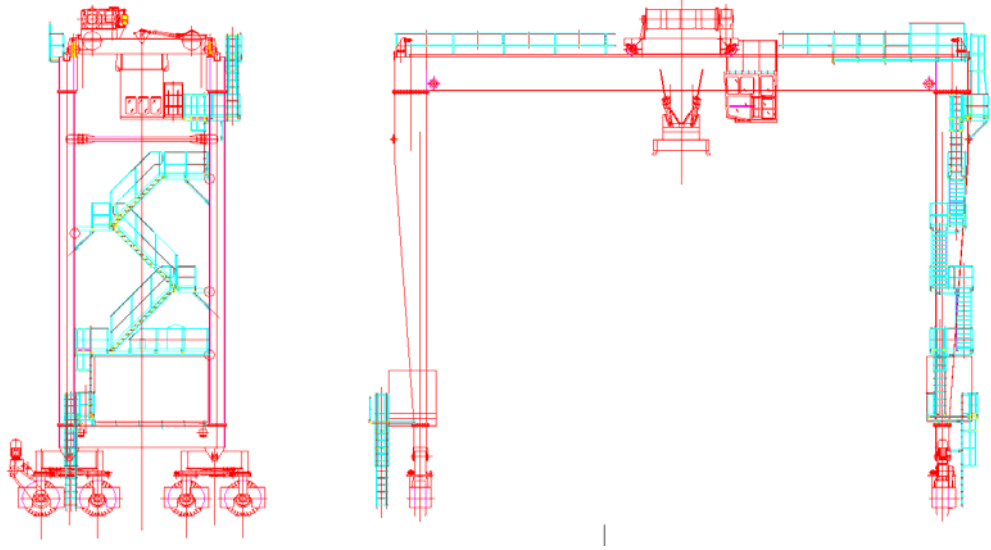


Şekil 7.12 : Yürüme yolu ve bakım platformu.

Platform ve yürüme yolları aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır :

- Merdivenler
- Yürüme yolları ve bakım platformları
- Korkuluklar
- Jeneratör bakım platformu
- Elektrik odası taşıma şasisi

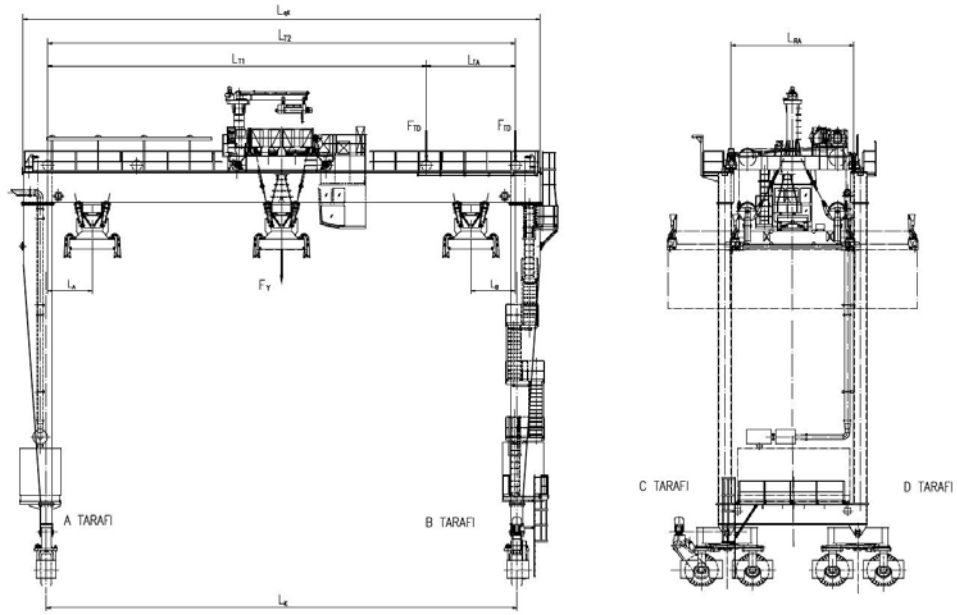
Şekil 7.13 de platform, yürüme yolları ve merdivenlerin krenin üzerindeki genel yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 7.13 : Platform, yürüme yolları ve merdivenlerin genel yerleşimi.

8. LASTİK TEKERLEKLI KONTEYNER İSTİFLEME KRENİ HESAPLARI

8.1 Ayak Kuvvetleri



Şekil 8.1 : Lastik tekerlekli konteyner istifleme krenine etkiyen yükler.

Araba Tekerleği Dik Kuvveti :

$$F_{TD} := 192521.3 \text{ N}$$

Kiriş Birim Ağırlığı :

$$q_K := 489 \text{ kg / m}$$

Bakım Platformu Birim Ağırlığı :

$$q_P := 54 \text{ kg / m}$$

Kirişin Hesap için Birim Ağırlık Kuvveti :

$$q_T := 5327 \text{ N / m}$$

Kren Ayak Açıklığı :

$$L_K := 23 \text{ m}$$

Kiriş ve Platform Boyu :

$$L_{qK} := 25.274 \text{ m}$$

Spreaderin A Tarafına Mesafesi :

$$L_A := 2.175 \text{ m}$$

Spreaderin B Tarafına Mesafesi :

$$L_B := 2.175 \text{ m}$$

Araba Tekerlek Aks Açıklığı :

$$L_{TA} := 4.35 \text{ m}$$

Tekerleklerin A dan Uzaklığı :

$$L_{T1} := 18.5 \text{ m} \quad L_{T2} := 22.85 \text{ m}$$

Ayak Açısı :

$$\alpha := 0 \text{ deg}$$

8.1.1 AB Yayılı Yükünden Oluşan Ayak Kuvvet ve Momentleri

$$\text{B ayağındaki kuvvet ;} \quad F_{B1} := \frac{3}{8} \cdot q_T \cdot L_K \quad (8.1)$$

$$F_{B1} = 45945 \text{ N}$$

$$\text{A ayağındaki kuvvet ;} \quad F_{A1} := \frac{5}{8} \cdot q_T \cdot L_K \quad (8.2)$$

$$F_{A1} = 76576 \text{ N}$$

$$\text{A ayağındaki moment ;} \quad M_{A1} := -\frac{1}{8} \cdot q_T \cdot L_K^2 \quad (8.3)$$

$$M_{A1} = -352248 \text{ Nm}$$

8.2.1 AB Arasındaki Tekil Yüklerden Oluşan Ayak Kuvvet ve Momentleri

$$\text{B ayağındaki kuvvet ;} \quad F_{B21} := F_{TD} \cdot \frac{L_{T1}^2 \cdot (3 \cdot L_K - L_{T1})}{2 \cdot L_K^3} \quad (8.4)$$

$$F_{B21} = 136741 \text{ N}$$

$$F_{B22} := F_{TD} \cdot \frac{L_{T2}^2 \cdot (3 \cdot L_K - L_{T2})}{2 \cdot L_K^3} \quad (8.5)$$

$$F_{B22} = 190638 \text{ N}$$

$$F_{B2} := F_{B21} + F_{B22} \quad (8.6)$$

$$F_{B2} = 327379 \text{ N}$$

A ayağındaki kuvvet ; $F_{A2} := 2 \cdot F_{TD} - F_{B2}$ (8.7)

$$F_{A2} = 57663 \text{ N}$$

A ayağındaki moment ; $M_{A21} := -\frac{F_{TD}}{2 \cdot L_K} \cdot L_{T1} \cdot (L_K - L_{T1}) \cdot (2 \cdot L_K - L_{T1})$ (8.8)

$$M_{A21} = -416591 \text{ Nm}$$

$$M_{A22} := -\frac{F_{TD}}{2 \cdot L_K} \cdot L_{T2} \cdot (L_K - L_{T2}) \cdot (2 \cdot L_K - L_{T2})$$

$$M_{A22} = -14438 \text{ Nm}$$

$$M_{A2} := M_{A21} + M_{A22}$$
 (8.10)

$$M_{A2} = -431030 \text{ Nm}$$

Lastik tekerlekli konteyner istifleme krenindeki kuvvet ve momentler ;

B ayağına gelen toplam kuvvet ; $F_B := F_{B1} + F_{B2}$ (8.11)

$$F_B = 373325 \text{ N}$$

A ayağına gelen toplam kuvvet ; $F_A := F_{A1} + F_{A2}$ (8.12)

$$F_A = 134239 \text{ N}$$

$$\text{B ayağındaki burkulma kuvveti ; } F_{BBu} := \frac{F_B}{\cos(\alpha)} \quad (8.13)$$

$$F_{BBu} = 373325 \quad \text{N}$$

$$\text{A ayağına gelen toplam kuvvet ; } M_A := M_{A1} + M_{A2} \quad (8.14)$$

$$M_A = -783278 \quad \text{Nm}$$

8.2 Mukavemet Hesapları

Lastik Tekerlekli Konteyner İstifleme Kreni Özellikleri

$$\text{Kaldırma Yüğü : } G_Y := 40000 \quad \text{kg} \quad (40\text{Ton})$$

$$\text{Kaldırma Kuvveti : } F_Y := G_Y g \quad F_Y = 392400 \quad \text{N}$$

$$\text{Araba Öz Ağırlığı : } G_A := 27000 \quad \text{kg}$$

$$\text{Araba Kuvveti : } F_A := G_A g \quad F_A = 264870 \quad \text{N}$$

$$\text{Kren Tekerlek Açıklığı : } L_T := 23000 \quad \text{m} \quad (23\text{metre})$$

$$\text{Kren Köprü Açıklığı : } L_K := 23830 \quad \text{m}$$

$$\text{Araba Tekerlek Aks Açıklığı : } L_A := 4350 \quad \text{mm}$$

$$\text{Kaldırma Hızı : } V_K := 20 \quad \text{m / dak}$$

$$\text{Araba Yürüme Hızı : } V_A := 70 \quad \text{m / dak}$$

$$\text{Kren Yürüme Hızı : } V := 80 \quad \text{m / dak}$$

Kren yükleme grubuna göre " k_B " katsayısı ve kaldırma yükü katsayısı " ψ " bulmak için, öncelikle krenin yükleme grubu ve kaldırma sınıfı seçilir. Çizelge 3.4'ün 13. satırından kaldırma sınıfı H3 ve yükleme grubu B5 olarak seçilir. Daha sonra Çizelge 3.8 ve 3.9 dan, " k_B " ve " ψ " katsayıları aşağıdaki gibi alınır.

Kaldırma yükü katsayısı : $\Psi := 1.3 + 0.0066V_K$ $\Psi = 1.432$

Yükseltme katsayısı : $\Phi = 1.1$

Elastiklik modülü : $E := 210000$ N / mm^2

Poisson sayısı : $\mu := 0.3$

Araba tekerlek sayısı : $n_{tek} := 4$

Spreader Ağırlığı: $G_{spr} := 11500$ kg (11.5 ton)

Spreader Ağırlık Kuvveti: $F_{spr} := G_{spr} g$ $F_{spr} = 112815$ N

Kirişin Ağırlığı : $G_{kir} := 12500$ kg

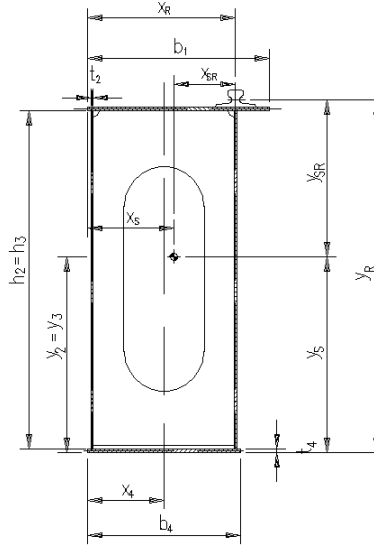
Kiriş Ağırlık Kuvveti : $F_{kir} := G_{kir} g$ $F_{kir} = 122625$ N

Gövdenin Ağırlığı : $G_{göv} := 54000$ kg

Gövde Kuvveti : $F_{göv} := G_{göv} g$ $F_{göv} = 529740$ N

Tekelek Kuvveti : $F_{TD} := \frac{F_Y + F_A + F_{spr}}{n_{tek}}$ $F_{TD} = 192521.3$ N

8.2.1 Köprü Kiriş Hesabı



Şekil 8.2 : Köprü kirişinin kesiti.

$$b_1 := 789 \quad h_2 := 1468 \quad h_3 := 1468 \quad b_4 := 664 \quad h_R := 75$$

$$t_1 := 16 \quad t_2 := 10 \quad t_3 := 10 \quad t_4 := 16$$

$$A_1 := b_1 t_1 \quad A_1 = 1.2624 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$A_2 := h_2 t_2 \quad A_2 = 1.468 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$A_3 := h_3 t_3 \quad A_3 = 1.468 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$A_4 := b_4 t_4 \quad A_4 = 1.0624 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$A_R := 5540 \quad \text{mm}^2 \quad A_R \text{ değeri Çizelge A.1 den alınmıştır.}$$

$$A_{\text{top}} := A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_R \quad A_{\text{top}} = 5.8148 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$X_1 := 394.5 \text{ mm}$$

$$Y_1 := 1492 \text{ mm}$$

$$X_2 := 21 \text{ mm}$$

$$Y_2 := 750 \text{ mm}$$

$$X_3 := 643 \text{ mm}$$

$$Y_3 := Y_2 \text{ mm}$$

$$X_4 := 332 \text{ mm}$$

$$Y_4 := 8 \text{ mm}$$

$$X_R := X_3 \text{ mm}$$

$$Y_R := 1530.6 \text{ mm}$$

$$X_S := \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_R X_R}{A_{\text{top}}} \quad (8.15)$$

$$X_S = 375 \text{ mm}$$

$$Y_S := \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + A_4 Y_4 + A_R Y_R}{A_{\text{top}}} \quad (8.16)$$

$$Y_S = 850 \text{ mm}$$

$$X_{S1} := X_1 - X_S \quad X_{S1} = 19.3 \text{ mm}$$

$$X_{S2} := X_S - X_2 \quad X_{S2} = 354.2 \text{ mm}$$

$$X_{S3} := X_3 - X_S \quad X_{S3} = 267.8 \text{ mm}$$

$$Y_{S1} := Y_1 - Y_S \quad Y_{S1} = 642.1 \text{ mm}$$

$$Y_{S2} := Y_S - Y_2 \quad Y_{S2} = 100 \text{ mm}$$

$$Y_{S3} := Y_{S2} \quad Y_{S3} = 100 \text{ mm}$$

$$X_{S4} := X_S - X_4 \quad X_{S4} = 43.2 \text{ mm} \quad Y_{S4} := Y_S - Y_4 \quad Y_{S4} = 842 \text{ mm}$$

$$X_{SR} := X_{S3} \quad X_{SR} = 267.8 \text{ mm} \quad Y_{SR} := Y_R - Y_S \quad Y_{SR} = 680.7 \text{ mm}$$

$$I_{Rx} := 3270000 \text{ mm}^4$$

I_{Rx} ve I_{Ry} değerleri Çizelge A.1 den alınmıştır.

$$I_{Ry} := 6090000 \text{ mm}^4$$

$$I_x := \frac{b_1 t_1^3}{12} + \frac{t_2 h_2^3}{12} + \frac{t_3 h_3^3}{12} + \frac{t_4 b_4^3}{12} + I_{Rx} + Y_{S1}^2 A_1 + Y_{S2}^2 A_2 + Y_{S3}^2 A_3 + Y_{S4}^2 A_4 + Y_{SR}^2 A_R \quad (8.17)$$

$$I_x = 2.1262 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_y := \frac{b_1^3 t_1}{12} + \frac{t_2^3 h_2}{12} + \frac{t_3^3 h_3}{12} + \frac{t_4^3 b_4}{12} + I_{Ry} + X_{S1}^2 A_1 + X_{S2}^2 A_2 + X_{S3}^2 A_3 + X_{S4}^2 A_4 + X_{SR}^2 A_R \quad (8.18)$$

$$I_y = 3.9778 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$e_1 := Y_S \quad e_1 = 850 \text{ mm}$$

$$e_2 := (t_1 + t_4 + h_2 + h_R) - e_1 \quad e_2 = 725 \text{ mm} \quad e_{\max} := e_1$$

$$u_1 := b_1 - X_S \quad u_1 = 413.8 \text{ mm} \quad u_{\max} := u_1$$

$$u_2 := X_S \quad u_2 = 375.2 \text{ mm}$$

"X" eksenine göre mukavemet değerleri :

$$W_X := \frac{I_x}{e_{\max}} \quad W_{X1} := \frac{I_x}{e_{\max}} \quad W_{X2} := \frac{I_x}{e_2}$$

$$W_{X1} = 2.5017 \times 10^7 \quad \text{mm}^3 \quad W_{X2} = 2.9322 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

"Y" eksenine göre mukavemet değerleri :

$$W_Y := \frac{I_y}{u_{\max}} \quad W_{Y1} := \frac{I_y}{u_{\max}} \quad W_{Y2} := \frac{I_y}{u_2}$$

$$W_{Y1} = 9.6129 \times 10^6 \quad \text{mm}^3 \quad W_{Y2} = 1.0602 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

8.2.1.1 Köprü Kirişinin Birim Ağırlığının Hesabı

$$L_{1m} := 1000 \quad \text{mm} \quad \rho_{St} := 7.85 \times 10^{-6} \quad \text{kg/mm}^3$$

$$G_{K1m} := A_{\text{top}} L_{1m} \rho_{St} \quad (8.19)$$

$$G_{K1m} = 456 \quad \text{kg/m} \quad G_{\text{per}} := 35.75 \quad \text{kg/m}$$

$$q_K := \frac{\left[\left(G_{K1m} + \frac{G_{\text{per}}}{2} \right) 1.03 \right]}{1000} \quad (8.20)$$

$$q_K = 0.489 \quad \text{kg/mm}$$

$$\text{Platform Birim ağırlığı Ağırlığı ise } q_P : \quad q_P := 0.054 \quad \text{kg/mm}$$

$$\text{Toplam yayılı yük } q_t : \quad q_t := q_K + q_P \quad q_t = 0.5426 \quad \text{kg/mm}$$

8.2.1.2 Köprü Kirişinin Sehim Hesabı

Sistemin ağırlığının sehimini ;

$$f_q := \frac{5}{384} \frac{q_t L_K^4}{E(I_x)} g \quad (8.21)$$

$$f_q = 4.34 \text{ mm}$$

Hareketli yükün sehimini ;

$$f_p := \frac{F_{TD}(L_K)^3}{48EI_x} \quad (8.22)$$

$$f_p = 10.93 \text{ mm}$$

Toplam sehim ;

$$f_{top} := f_q + f_p \quad (8.23)$$

$$f_{top} = 15.27 \text{ mm}$$

Elektrikle çalışan krenlerde $f_{em} = L_K/800$ ve $f_{em} > f_{top}$ olmalıdır.

$$f_{em} := \frac{L_K}{800} \quad (8.24)$$

$$f_{em} = 29.79 \text{ mm}$$

Yapılan hesaplamalara göre $f_{em} = 29.79 > f_{top} = 15.27$ olduğundan seçim uygundur.

8.2.2 Köprü Kirişi Üzerinde Oluşan Gerilmeler

8.2.2.1 Kren kiriş özağırlığından oluşan gerilme

$$\sigma_1 := \frac{(q_K + q_P)gL_K^2}{8W_{X1}} \quad (8.25)$$

$$\sigma_1 = 15.1 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.2 Arabanın Özağırlığından Oluşan Gerilme

$$\sigma_2 := \frac{F_A + F_{spr}}{32L_K W_{X1}} (2L_K - L_A)^2 \quad (8.26)$$

$$\sigma_2 = 37.14 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.3 Kaldırma Yükünden İleri Gelen Gerilme

$$\sigma_3 := \frac{F_Y}{32L_K W_{X1}} (2L_K - L_A)^2 \quad (8.27)$$

$$\sigma_3 = 38.6 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.4 Atalet Kuvvetlerin İleri Gelen Gerilme

$$\sigma_4 := \frac{0.075L_K}{W_{Y1}} \left[\Phi(q_K + q_P)gL_K + \frac{F_A + F_{spr}}{2} \right] \quad (8.28)$$

$$\sigma_4 = 61.1 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.5 Araba Kasılmasından İleri Gelen Gerilme

$$\sigma_5 := \frac{0.05L_A}{W_{Y1}} (F_A + F_{spr} + F_Y) \quad (8.29)$$

$$\sigma_5 = 17.4 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.6 H-Hali için Kren Kirişindeki Maksimum ve Minimum Normal Gerilmeler

Maksimum normal gerilme $\sigma_{\max}$ $k_B := 1.1$

$$\sigma_{\max} := k_B (\sigma_1 + \sigma_2 + \Psi \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) \quad (8.30)$$

$$\sigma_{\max} = 204.56 \text{ N / mm}^2$$

Minimum normal gerilme $\sigma_{\min}$

$$\sigma_{\min} := \sigma_1 + \sigma_2 \quad (8.31)$$

$$\sigma_{\min} = 52.24 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.7 Kren Kirişinde Meydana Gelen Toplam Kayma Gerilmesi

Kirişteki toplam kayma gerilmesi, tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen burulma gerilmesi " τ_t " ve tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesinin " τ_k " toplanmasıyla bulunur.

$$\tau_{\max} := \frac{[\Psi F_Y + k_B (F_A + F_{\text{spr}})]}{4t_2} \left[\frac{X_{S4} + 0.2Y_{SR}}{(X_{S2} + X_{S4})(Y_{S1} + Y_{S3})} + \frac{1}{h_2} \right] \quad (8.32)$$

$$\tau_{\max} = 31.51 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.8 Kren Kirişindeki Bileşke Gerilmeler

Bu gerilmeler σ_v karşılaştırma gerilmesi olarak kullanılmaktadır.

$$\sigma_v := \sqrt{(\sigma_{\max})^2 + 3(\tau_{\max})^2} \quad (8.33)$$

$$\sigma_v = 211.71 \text{ N / mm}^2$$

Çizelge 3.1 den malzeme St 52-3 için H yükleme hali için emniyetli karşılaştırma mukavemet değeri $\sigma_{\text{ÇEM}} = 240 \text{ N/mm}^2$ dir. Maksimum gerilme 204.56 N/mm^2 bu değerin altındadır. Buradan $\sigma_v = 211.71 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{ÇEM}} = 240 \text{ N/mm}^2$ olduğundan, statik kontrol uygun sonuç vermektedir.

8.2.2.9 Normal Basma Gerilmelerinin Hesaplanması

8.2.2.9.1 Kren Kiriş Öz ağırlığından Oluşan Gerilme

$$\sigma_{1B} := \frac{(q_K + q_P)g L_K^2}{8W_{X2}} \quad (8.34)$$

$$\sigma_{1B} = 12.89 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.9.2 Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme

$$\sigma_{2B} := \frac{(F_A + F_{spr})}{32L_K W_{X2}} (2L_K - L_A)^2 \quad (8.35)$$

$$\sigma_{2B} = 31.684 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.9.3 Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme

$$\sigma_{3B} := \frac{F_Y}{32L_K W_{X2}} (2L_K - L_A)^2 \quad (8.36)$$

$$\sigma_{3B} = 32.92 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.9.4 Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme

$$\sigma_{4B} := \frac{0.075L_K}{W_{Y2}} \left[\Phi(q_K + q_P)g L_K + \frac{(F_A + F_{spr})}{2} \right] \quad (8.37)$$

$$\sigma_{4B} = 55.36 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.9.5 Araba kasılmasından ileri gelen gerilme

$$\sigma_{5B} := \frac{0.05L_A}{W_{Y2}} (F_A + F_{spr} + F_Y) \quad (8.38)$$

$$\sigma_{5B} = 15.8 \text{ N / mm}^2$$

8.2.2.9.6 H-Hali için kren kirişindeki maksimum ve minimum normal gerilmeler

Maksimum normal gerilme $\sigma_{\max}$

$$\sigma_{B\max} := k_B (\sigma_{1B} + \sigma_{2B} + \Psi \sigma_{3B} + \sigma_{4B} + \sigma_{5B}) \quad (8.39)$$

$$\sigma_{B\max} = 179.15 \text{ N/mm}^2$$

Minimum normal gerilme $\sigma_{\min}$

$$\sigma_{B\min} := \sigma_{1B} + \sigma_{2B} \quad (8.40)$$

$$\sigma_{B\min} = 44.57 \text{ N/mm}^2$$

8.2.3 Baş Kiriş Hesabı

$$L_{TA} := 3387 \text{ mm} \quad L_{TV} := 6400 \text{ mm} \quad s := 1000 \text{ mm}$$

$$P_p := \frac{(F_Y + F_A + F_{\text{spr}})(L_T - L_{TA})}{2L_T} \quad (8.41)$$

$$P_p = 328341 \text{ N}$$

$$M_p := P_p \left(\frac{L_{TV} - s}{2} \right) \quad (8.42)$$

$$M_p = 886520178 \text{ N m}$$

$$M_g := \frac{gL_T}{8} \left[1 - \frac{4 \left(\frac{1}{L_T} \right)^2}{L_T^2} \right] \quad (8.43)$$

$$M_g = 28204 \text{ N m}$$

$$M_{bmax} := k_B M_g + \Psi M_p \quad (8.44)$$

$$M_{bmax} = 1269527919 \text{ N m}$$

$$\sigma_{bmax} := \frac{M_{bmax}}{W_{X1}} \quad (8.45)$$

$$\sigma_{bmax} = 50.75 \text{ N / mm}^2$$

Baş kiriş üzerine etkiyen maksimum gerilme (50.75 N/mm^2) St52-3 malzeme için emniyetli akma mukavemetinin (240 N/mm^2) altındadır. Bu sebepten baş kirişte emniyetlidir.

8.2.4 Dinamik Kontrol

Çizelge 3.2 den malzeme St 52-3 için çentik grubu K2 olarak belirlenmiştir ve aşağıdaki değerler alınmıştır.

$$\sigma_{DEM} := 178 \text{ N / mm}^2 \quad R_m := 490 \text{ N / mm}^2 \quad \kappa := -1$$

Tek yönlü dalgalı yüklemde ($\kappa=0$) dinamik çekme formülü :

$$\sigma_{D\check{C}EM} := \frac{5}{3} \frac{\sigma_{DEM}}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \frac{\sigma_{DEM}}{0.75 R_m} \right)^\kappa} \quad (8.46)$$

$$\sigma_{D\check{C}EM} = 248.73 \text{ N / mm}^2$$

Buradan $\sigma_v = 211.71 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{D\check{C}EM} = 248.73 \text{ N/mm}^2$ olduğundan emniyetlidir.

8.2.5 Kiriş Yan Levhalarının Buruşma Kontrolü

Buruşma hesabı DIN 4114 T1 ' e göre yapılmıştır.

Levhadaki Euler gerilmesi σ_e

$$\sigma_e := \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t_2}{h_2} \right)^2 \quad (8.47)$$

$$\sigma_e = 8.81 \text{ N / mm}^2$$

Levhadaki ideal buruşma gerilmeleri levhadaki Euler gerilmelerinin buruşma katsayısı k_σ ile çarpılmasıyla bulunur.

Kren kirişi yan plakası için normal buruşma katsayısı k_σ DIN 4114 B 1, sayfa 15, Tablo 6, 4. sıradan basma ve çekme gerilmelerinin sınır değerlerinin eşit olduğu durum olarak ;

$$\kappa = -1 \quad k_\sigma := 23.9$$

$$\sigma_{\kappa I} := \sigma_e k_\sigma \quad (8.48)$$

$$\sigma_{\kappa I} = 210.5 \text{ N / mm}^2$$

Kayma buruşma katsayısı " k_τ " ;

Kayma buruşma katsayısı k_τ DIN 4114 T1 Tablo 6 ve 5. sıradan konstrüksiyon yapılan kutu kirişler için şu formüllerle hesaplanır ;

$$L_{Pe} := 2242 \text{ mm}$$

$$\alpha_H := \frac{L_{Pe}}{h_2} \quad (8.49)$$

$$k_\tau := 5.34 + \frac{4}{\alpha_H^2} \quad (8.50)$$

$$k_\tau = 7.0549$$

$$\tau_{ki} := k_{\tau} \sigma_e \quad (8.51)$$

$$\tau_{ki} = 62.13 \quad \text{N / mm}^2$$

DIN 4114 T1 sayfa 15 den :

$$\sigma_{VKi} := \frac{\sqrt{(\sigma_{\max})^2 + 3(\tau_{\max})^2}}{\frac{1 + \kappa}{4} \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ki}} + \sqrt{\left(\frac{3 - \kappa}{4} \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{ki}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{ki}}\right)^2}} \quad (8.52)$$

$$\sigma_{VKi} = 193.15 \quad \text{N / mm}^2$$

Malzeme St 52-3 için Çizelge A.2 den $\sigma_{VKi} = 192 \text{ N/mm}^2$ değerine karşılık gelen değer σ_{VPi} değeridir. Bu değerde $\sigma_{VPi} = 351.16 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yani $\sigma_{VK} = 351.16 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{VK} := 351.16 \quad \text{N / mm}^2$$

S_{Bger} değeri DIN 15018 e göre H yükleme hali için en az aşağıdaki değer olmalıdır.

$$S_{Bger} := 1.71 + 0.180(\kappa - 1) \quad S_{Bger} = 1.35$$

" σ_{VK} " gerçek buruşma karşılaştırma gerilmesi DIN 4114 B1.1 Tablo 7 den daha önce hesaplanmış olan σ_{VKi} değerine karşılık gelen alınarak bulunur.

Buruşma kontrolü için şu kıyaslama yapılır :

$$S_{Bhes} > S_{Bger}$$

$$S_{Bhes} := \frac{\sigma_{VK}}{\sigma_V} \quad S_{Bhes} = 1.66$$

$S_{Bhes} = 1.66 > S_{Bger} = 1.35$ olduğundan yan kiriş levhalarında DIN 4114 T1'e göre yapılan hesaplar buruşma tehlikesi olmadığını gösterir.

8.2.6 Başlık Levhalarının Buruşmaya Karşı Kontrolü

Buruşma hesabı DIN 4114 T1 ' e göre yapılmıştır.

Normal buruşma katsayısı " $k_{n\sigma}$ "

$$\kappa_{Fmax} := 1$$

$$k_{n\sigma} := \frac{8.4}{1.1 + \kappa_{Fmax}} \quad (8.53)$$

$$k_{n\sigma} = 4$$

Üst başlık levhası için Euler Gerilmesi " σ_{Pe} "

$$b_B := 16 \text{ mm} \quad b_H := b_1 - 2b_B$$

$$\sigma_{Pe} := \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t_1}{b_H} \right)^2 \quad (8.54)$$

$$\sigma_{Pe} = 84.79 \text{ N / mm}^2$$

İdeal buruşma normal gerilmesi " σ_{Pi} "

$$\sigma_{Pi} := k_{n\sigma} \sigma_{Pe} \quad (8.55)$$

$$\sigma_{Pi} = 339.16 \text{ N / mm}^2$$

İdeal buruşma kayma gerilmesi " τ_{Pi} "

$$\tau_{Pi} := \sigma_{Pe} k_{\tau} \quad (8.56)$$

$$\tau_{Pi} = 598.19 \text{ N / mm}^2$$

Üst başlık levhasındaki ideal buruşma gerilmesi " σ_{VPi} "

$$\sigma_{VPi} := \frac{\sqrt{(\sigma_{\max})^2 + 3(\tau_{\max})^2}}{\frac{1 + \kappa}{4} \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{Pi}} + \sqrt{\left(\frac{3 - \kappa}{4} \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{Pi}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{Pi}}\right)^2}} \quad (8.57)$$

$$\sigma_{VPi} = 349.69 \text{ N / mm}^2$$

$S_{Bhes} = 2.09 > S_{Bger} = 1.35$ olduğundan kiriş üst başlık levhasında DIN 4114 T1'e göre yapılan hesaplar buruşma tehlikesi olmadığını gösterir.

8.3 Tekerlek Çapı Hesabı

Çizelge A.3 den $p_{EM} := 5.6 \text{ N / mm}^2$ olarak alınmıştır.

$c := 0.98$ Tekerlek çapını 600 mm kabul edip Çizelge A.4 den c_2 değeri seçilmiştir. c_3 katsayısı Çizelge A.5 den seçilmiştir.

$$c_3 := 1 \quad k := 65 \quad r_1 := 3 \quad b_t := k - 2r_1$$

$$b_t = 59 \text{ mm}$$

$$D_{tek} := \frac{F_{TD}}{p_{EM} c_2 c_3 b_t} \quad (8.58)$$

$$D_{tek} = 607 \text{ mm}$$

Tekerlek çapı ϕ 600 mm seçilmiştir. $D_{teker} := 600 \text{ mm}$

8.3.1 Tekerlek Hareket Direnci Hesabı

$$f_s := 0.5 \text{ mm}$$

$$\mu_{\text{muy}} := 0.0015 \text{ Rulmanlı yataklar için}$$

$$d_{\text{muy}} := 140 \text{ mm}$$

$$F_F := \frac{2 \cdot F_{TD}}{D_{\text{teker}}} \left(f_s + \mu_{\text{muy}} \frac{d_{\text{muy}}}{2} \right) 4 \quad (8.59)$$

$$F_F = 1553 \text{ N}$$

Hareket direnci 4 tekerleğin hareket direnci olarak hesaplanmıştır.

Tekerlek ve ray arasındaki yüzey basıncı ;

$$p := \frac{F_{TD}}{D_{\text{teker}} b_t} \quad (8.60)$$

$$p = 5.44 \text{ N/mm}^2$$

8.4 Araba Hareket Motoru Hesabı

Yürüme Direnci ;

$$W_{\text{aryü}} := \frac{(F_Y + F_A)}{4 D_{\text{teker}}} (\mu d_{\text{muy}} + 2 f_s) \quad (8.61)$$

$$W_{\text{aryü}} = 11776 \text{ N}$$

$$N_{aryü} := \frac{W_{aryü} V_A}{\eta_{dk} 60 \times 1000} \quad (8.62)$$

$$N_{aryü} = 16.16 \quad \text{kW}$$

$a = 0.25 \text{ m / s}^2$ Krenin ivme değeri olarak alınır.

$$W_{ariv} := \frac{(F_Y + F_A)}{g} a \quad (8.63)$$

$$W_{ariv} = 16750 \quad \text{N}$$

$$N_{ariv} := \frac{W_{ariv} V_A}{\eta_{dk} 60 \times 1000} \quad (8.64)$$

$$N_{ariv} = 22.99 \quad \text{kW}$$

Kren Yürütme motorunun anma gücü :

$$N_{arn} := \frac{(N_{aryü} + N_{ariv})}{1.7} \quad (8.65)$$

$$N_{arn} = 23.03 \quad \text{kW}$$

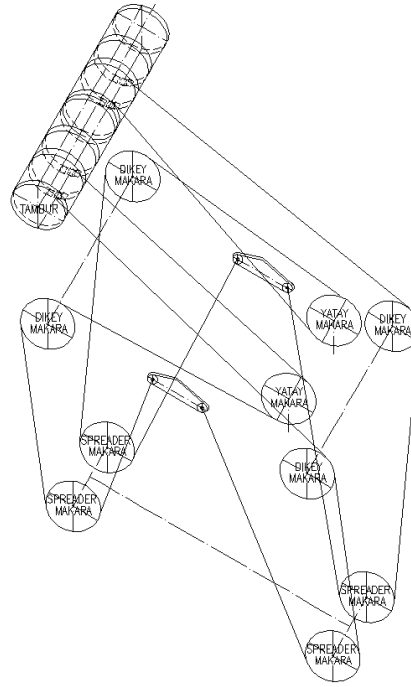
Flender kataloğundan 15kW , 1500 d/dak özelliklerine sahip 2 adet redüktörlü motor seçilmiştir. (2x15=30 kW)

8.4.1 Araba Kalkış Zamanı

$$t_a := \frac{V_A}{a 60} \quad (8.66)$$

$$t_a = 4.7 \quad \text{s}$$

8.5 Tel Halat Hesabı



Şekil 8.3 : Halat donanımı.

$\eta_{\text{mak}} := 0.98$ Rulmanlı yataklarda

$Z := 12$ Sistem de 12 adet makara kullanılmıştır.

$$\eta_{\text{pal}} := \frac{1}{Z} \frac{1 - \eta_{\text{mak}}^Z}{1 - \eta_{\text{mak}}} \quad (8.67)$$

$$\eta_{\text{pal}} = 0.897$$

Donanımında toplam 4 taşıyıcı halat vardır. Herbir halata gelen maksimum çekme kuvveti ;

$$S_{\text{max}} := \frac{(F_{\text{spr}} + F_Y)}{2Z\eta_{\text{pal}}} \quad (8.68)$$

$$S_{\text{max}} = 23467 \text{ N}$$

Tablo A.6 den "c" değeri 0.150 olarak alınır. $c := 0.150$

$$d := c \sqrt{S_{\max}} \quad (8.69)$$

$$d = 22.98 \text{ mm}$$

Çizelge A.7 den Halat çapı 24 mm olarak $d_{\text{hal}} := 24 \text{ mm}$ seçilir.

Çizelge A.7 den $F_{\min} = 34200 \text{ N}$ $F_t = 40700 \text{ N}$ olarak alınır.

$$F_{\min} := 34200 \text{ N} \quad F_t := 40700 \text{ N}$$

$$k_{\text{yap}} := \frac{F_{\min}}{F_t} \quad (8.70)$$

$$k_{\text{yap}} = 0.84$$

$$\sigma_{\text{çek}} := 1770 \text{ N/mm}^2 \quad f := 0.58$$

$$v := c^2 k_{\text{yap}} f \sigma_{\text{çek}} \frac{\pi}{4} \quad (8.71)$$

$v = 15.24$ Emniyet katsayısı 15.24 olarak bulunur.

8.5.1 Halata Gelen Dinamik Çekme Kuvveti

Kaldırma makinalarında kullanılan hızlar yüksek olmadığı için a ivmesi 3 m/s^2 olarak alınır.

$$S_{\text{din}} := S_{\max} \left(1 + \frac{a}{g} \right) \quad (8.72)$$

$$S_{\text{din}} = 30644 \text{ N}$$

8.6 Makara Çapı Hesabı

Tablo A.8 den H_1 katsayısı 28 olarak alınır. Şekil 8.3 den de anlaşılacağı üzere toplam eğilme sayısı 10 'un üzerinde olduğu için H_2 1.25 olarak alınır(Çizelge A.9).

$$H_1 := 28 \quad H_2 := 1.25$$

$$D_m := H_1 H_2 d_{hal} \quad (8.73)$$

$$D_m = 840 \text{ mm}$$

Makara çapı 800 mm olarak seçilmiştir. $D_{mak} := 800 \text{ mm}$

8.7 Tambur Çapı Hesabı

$$D_t := H_1 d_{hal} \quad (8.74)$$

$$D_t = 672 \text{ mm}$$

Tambur Çapı 750 mm olarak seçilir. $D_{tam} := 750 \text{ mm}$

8.7.1 Tamburun Halat Sarılan Boyunun Hesabı

Halat tambura 4 yerden sarılmaktadır.Burada iki çeşit sarım boyu vardır. Birisi 55.2 metrelik halat boyu için diğeri ise 50 metrelik halat boyu içindir.

$$L_1 := 55200 \text{ mm} \quad L_2 := 50000 \text{ mm} \quad s_{yiv} := 30 \text{ mm}$$

$$n_1 := \frac{L_1}{\pi D_{tam}} \quad (8.75)$$

$$n_1 = 23$$

$$n_2 := \frac{L_2}{\pi D_{tam}} \quad (8.76)$$

$$n_2 = 21$$

$$l_1 := n_1 s_{yiv} \quad (8.77)$$

$$l_1 = 702.8 \text{ mm}$$

$$l_2 := n_2 s_{yiv} \quad (8.78)$$

$$l_2 = 636.6 \text{ mm}$$

$$l_{top} := 2(l_1 + l_2) \quad (8.79)$$

$$l_{top} = 2679 \text{ mm}$$

Tamburun toplam yivli kısmının uzunluğu 2679 mm dir. Tambur toplam uzunluğu ise 3000 mm seçilmiştir.

8.8 Kaldırma Motorunun Güç Hesabı

η_{top} 0.75 ile 0.85 arasında alınmaktadır. Burada 0.85 olarak seçilmiştir.

$$\eta_{top} := 0.85$$

$$P := \frac{(F_Y + F_{spr})V_K}{1000\eta_{top}60} \quad (8.80)$$

$$P = 198 \text{ kW}$$

Siemens motor kataloğundan 200 kW , 1488 d/dak , 1280 Nm , 380 V 50 Hz AC motor seçilmiştir.

$$n_m := 1488 \text{ d / dak}$$

8.9 Kaldırma Redüktörünün Hesabı ve Seçimi

$$n_{tam} := \frac{4000V_K}{\pi D_{tam}} \quad (8.81)$$

$$n_{tam} = 33.95 \text{ d / dak}$$

Tahvil oranı ;

$$I_{\text{top}} := \frac{n_m}{n_{\text{tam}}} \quad (8.82)$$

$$I_{\text{top}} = 43.83$$

Tahvil oranı 50 olan "H3SH" Tip redüktör, Flender kataloğundan seçilmiştir.

8.10 Kren Yürütme Motorunun Hesabı Ve Seçimi

Yürüme Direnci ;

$$D_{\text{lastek}} := 1600 \quad d_{\text{lastek}} := 200$$

$$W_{yü} := \frac{(F_Y + F_A + F_{göv})}{D_{\text{lastek}}} (\mu d_{\text{lastek}} + 2f_s) \quad (8.83)$$

$$W_{yü} = 45255 \text{ N}$$

$$N_{yü} := \frac{W_{yü} V}{\eta_{dk} 60 \times 1000} \quad (8.84)$$

$$N_{yü} = 70.99 \text{ kW}$$

İvme Direnci ;

$$b := 0.4 \text{ m/s}^2 \quad \text{Krenin ivme değeri olarak alınır.}$$

$$W_{iv} := \frac{(F_Y + F_A + F_{göv})}{g} b \quad (8.85)$$

$$W_{iv} = 48400 \text{ N}$$

$$N_{iv} := \frac{W_{iv} V}{\eta_{dk} 60 \times 1000} \quad (8.86)$$

$$N_{iv} = 75.92 \text{ kW}$$

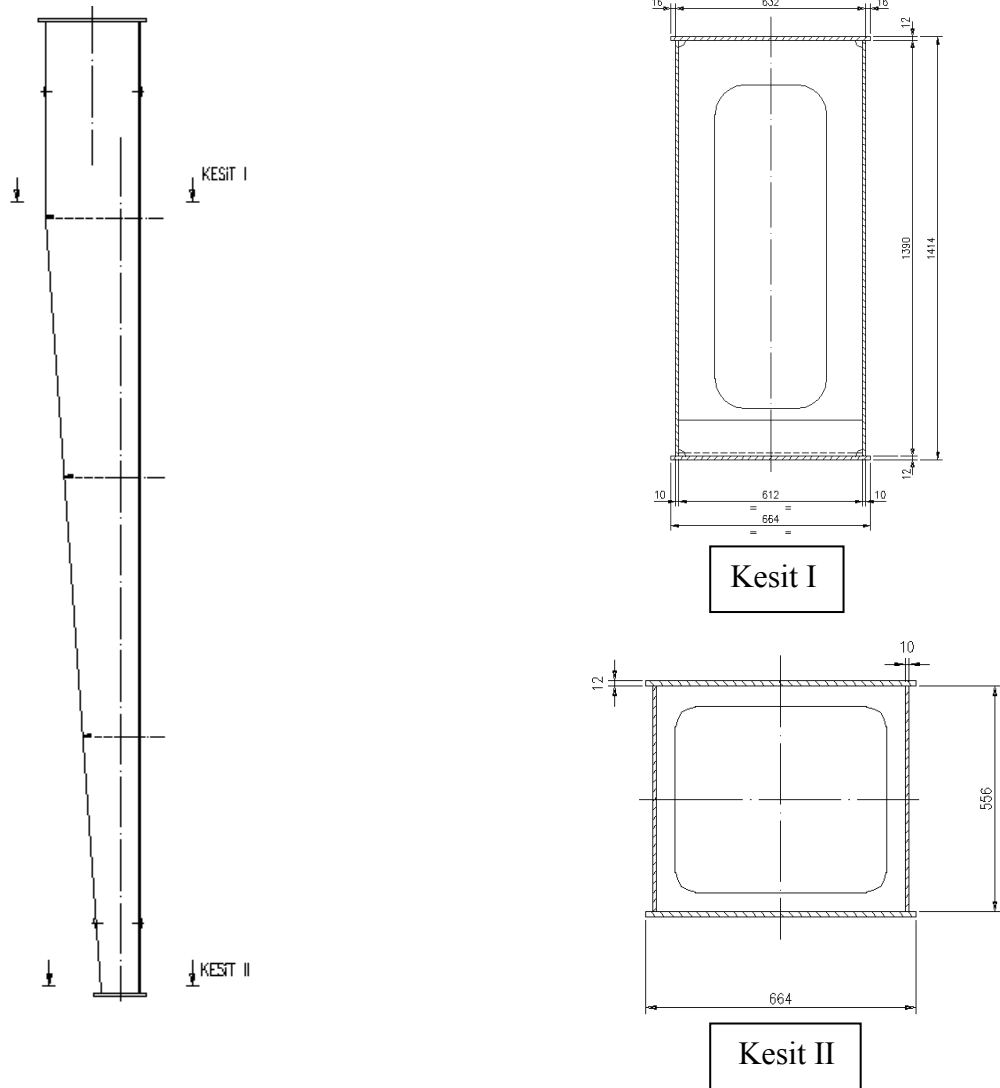
Kren Yürütme motorunun anma gücü :

$$N_n := \frac{(N_{yü} + N_{iv})}{1.8} \quad (8.87)$$

$$N_n = 81.62 \text{ kW}$$

Flender kataloğundan 45kW , 1500 d/dak özelliklerine sahip 2 adet redüktörlü motor seçilmiştir. (2x45=90 kW)

8.11 Ayak Burkulma Hesabı



Şekil 8.4 : Kren ayağı, baş ve son kesitleri.

Kesit I için :

$$t_{o1} := 12 \text{ mm} \quad t_{o2} := 10 \text{ mm} \quad t_{o3} := 10 \text{ mm} \quad t_{o4} := 12 \text{ mm}$$

$$b_{o1} := 664 \text{ mm} \quad h_{o2} := 1390 \text{ mm} \quad h_{o3} := 1390 \text{ mm} \quad b_{o4} := 664 \text{ mm}$$

$$A_{o1} := b_{o1} \cdot t_{o1} \quad A_{o1} = 7968 \text{ mm}^2$$

$$A_{o2} := h_{o2} \cdot t_{o2} \quad A_{o2} = 13900 \text{ mm}^2$$

$$A_{o3} := h_{o3} \cdot t_{o3} \quad A_{o3} = 13900 \text{ mm}^2$$

$$A_{o4} := b_{o4} \cdot t_{o4} \quad A_{o4} = 7968 \text{ mm}^2$$

$$Y_{oS1} := 701 \text{ mm} \quad X_{oS1} := 0 \text{ mm}$$

$$Y_{oS2} := 0 \text{ mm} \quad X_{oS2} := 311 \text{ mm}$$

$$Y_{oS3} := 0 \text{ mm} \quad X_{oS3} := 311 \text{ mm}$$

$$Y_{oS4} := 701 \text{ mm} \quad X_{oS4} := 0 \text{ mm}$$

$$A_{otop} := A_{o1} + A_{o2} + A_{o3} + A_{o4} \quad (8.88)$$

$$A_{otop} = 43736 \text{ mm}^2$$

$$I_{ox} := \frac{b_{o1} t_{o1}^3}{12} + \frac{t_{o2} h_{o2}^3}{12} + \frac{t_{o3} h_{o3}^3}{12} + \frac{t_{o4} b_{o4}^3}{12} + Y_{oS1}^2 A_{o1} + Y_{oS2}^2 A_{o2} + Y_{oS3}^2 A_{o3} + Y_{oS4}^2 A_{o4} \quad (8.89)$$

$$I_{ox} = 1.26 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{oy} := \frac{b_{o1}^3 t_{o1}}{12} + \frac{t_{o2}^3 h_{o2}}{12} + \frac{t_{o3}^3 h_{o3}}{12} + \frac{t_{o4}^3 b_{o4}}{12} + X_{oS1}^2 A_{o1} + X_{oS2}^2 A_{o2} + X_{oS3}^2 A_{o3} + X_{oS4}^2 A_{o4} \quad (8.90)$$

$$I_{oy} = 2.982 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Kesit II için :

$$t_{11} := 12 \text{ mm} \quad t_{12} := 10 \text{ mm} \quad t_{13} := 10 \text{ mm} \quad t_{14} := 12 \text{ mm}$$

$$b_{11} := 664 \text{ mm} \quad h_{12} := 556 \text{ mm} \quad h_{13} := 556 \text{ mm} \quad b_{14} := 664 \text{ mm}$$

$$A_{11} := b_{11} \cdot t_{11} \quad A_{11} = 7968 \text{ mm}^2$$

$$A_{12} := h_{12} \cdot t_{12} \quad A_{12} = 5560 \text{ mm}^2$$

$$A_{13} := h_{13} \cdot t_{13} \quad A_{13} = 5560 \text{ mm}^2$$

$$A_{14} := b_{14} \cdot t_{14} \quad A_{14} = 7968 \text{ mm}^2$$

$$Y_{1S1} := 284 \text{ mm} \quad X_{1S1} := 0 \text{ mm}$$

$$Y_{1S2} := 0 \text{ mm} \quad X_{1S2} := 311 \text{ mm}$$

$$Y_{1S3} := 0 \text{ mm} \quad X_{1S3} := 311 \text{ mm}$$

$$Y_{1S4} := 284 \text{ mm} \quad X_{1S4} := 0 \text{ mm}$$

$$A_{1\text{top}} := A_{11} + A_{12} + A_{13} + A_{14} \quad (8.91)$$

$$A_{1\text{top}} = 27056 \text{ mm}^2$$

$$I_{1x} = \frac{b_{11} t_{11}^3}{12} + \frac{t_{12} h_{12}^3}{12} + \frac{t_{13} h_{13}^3}{12} + \frac{t_{14} b_{14}^3}{12} + Y_{1S1}^2 A_{11} + Y_{1S2}^2 A_{12} + Y_{1S3}^2 A_{13} + Y_{1S4}^2 A_{14} \quad (8.92)$$

$$I_{1x} = 1.865 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{1y} = \frac{b_{11}^3 t_{11}}{12} + \frac{t_{12}^3 h_{12}}{12} + \frac{t_{13}^3 h_{13}}{12} + \frac{t_{14}^3 b_{14}}{12} + X_{1S1}^2 A_{11} + X_{1S2}^2 A_{12} + X_{1S3}^2 A_{13} + X_{1S4}^2 A_{14} \quad (8.93)$$

$$I_{1y} = 1.368 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{max}} = 1.26 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \quad I_{\text{min}} = 1.865 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$v := \sqrt{\frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}}} \quad (8.94)$$

$$v = 0.38$$

Çizelge A.10 dan c katsayısı aşağıdaki gibi alınır. :

$$c := (0.08 + 0.92 \cdot v) + \left(\frac{s_o}{s} \right)^2 \cdot (0.32 + 4 \cdot \sqrt{v} - 4.32 \cdot v) \quad (8.95)$$

$$s_o := 2955 \quad s := 14630$$

$$c = 0.48$$

$$I := c \cdot I_{\max} \quad (8.96)$$

$$I = 8.958 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Ayakların kesitleri lineer olarak değiştiği için, baş ve uç noktadaki kesitlerin atalet momentlerinin ve alanlarının ortalaması alınır ve hesaplarda bu değerler kabul edilir.

$$I_{\text{ortx}} := \frac{I_{1x} + I_{ox}}{2} \quad (8.97)$$

$$I_{\text{ortx}} = 7.232 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{orty}} := \frac{I_{1y} + I_{oy}}{2} \quad (8.98)$$

$$I_{\text{orty}} = 2.175 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$A_{\text{ort}} := \frac{A_{\text{otop}} + A_{1\text{top}}}{2} \quad (8.99)$$

$$A_{\text{ort}} = 35396 \text{ mm}^2$$

x - eksenine göre atalet yarıçapı :

$$i_x := \sqrt{\frac{I_{ortx}}{A_{ort}}} \quad (8.100)$$

$$i_x = 452.02 \text{ mm}$$

y - eksenine göre atalet yarıçapı :

$$i_y := \sqrt{\frac{I_{orty}}{A_{ort}}} \quad (8.101)$$

$$i_y = 247.9 \text{ mm}$$

$$F_{cr} := \frac{\pi^2 E \cdot I}{L_B^2} \quad (8.102)$$

$$F_{cr} = 8674038 \text{ N}$$

i_x göre narinlik derecesi λ_x ;

$$\lambda_x := \frac{L_B}{i_x} \quad (8.103)$$

$$\lambda_x = 32 \text{ mm}$$

i_y göre narinlik derecesi λ_y ;

$$\lambda_y := \frac{L_B}{i_y} \quad (8.104)$$

$$\lambda_y = 59 \text{ mm}$$

Çizelge A.11 den narinlik derecelerine göre interpolasyon yapılarak ω_x ve ω_y katsayıları alınır.

$$\omega_x := 1.12 \quad \omega_y := 1.39$$

Ayaktaki burkulma gerilmesi σ_{bk}

$$F_{ayak} := 373325$$

$$\sigma_{bk} := \omega_y \cdot \frac{F_{ayak}}{A_{ort}} \quad (8.105)$$

$$\sigma_{bk} = 14.66 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Emniyetli burkulma mukavemeti : } \sigma_{BEM52} := 240 \text{ N/mm}^2$$

Hesaplanan basma gerilmesi :

$$\sigma_{bHe} := \frac{F_{ayak}}{A_{ort}} \quad (8.106)$$

$$\sigma_{bHe} = 10.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{St 52 için emniyetli mukavemet değeri : } \sigma_{bEM} := 240 \text{ N/mm}^2$$

Bu durumda ayataki basma ve burkulma mukavemet değerli oldukça yeterli olduğu tesbit edilmiştir. Hesaplanan değer, St 52 malzeme için emniyetli mukavemet değerinin oldukça altında çıktığı için konstrüksiyonda boyut küçültmesi veya St 37 malzeme kullanılabilir veya konstrüksiyona her ikisi uygulanabilir.

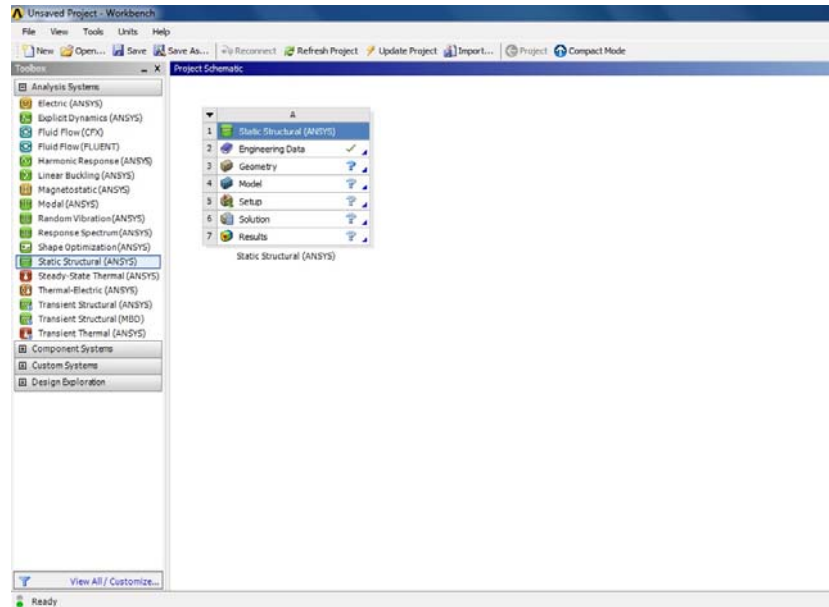
9. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ YARDIMI İLE ANALİZLER

Sonlu elemanlar yöntemini yardımıyla yapılan analizler ANSYS Workbench paket programı kullanılarak yapılmıştır. Uygulanan analizler şu şekildedir ;

- Köprü Kirişi için Gerilme ve Deformasyon (Sehim) Analizi
- Gövde Ayakları için Burkulma Analizi

9.1 Köprü Kirişinin Gerilme ve Deformasyon (Sehim) Analizi

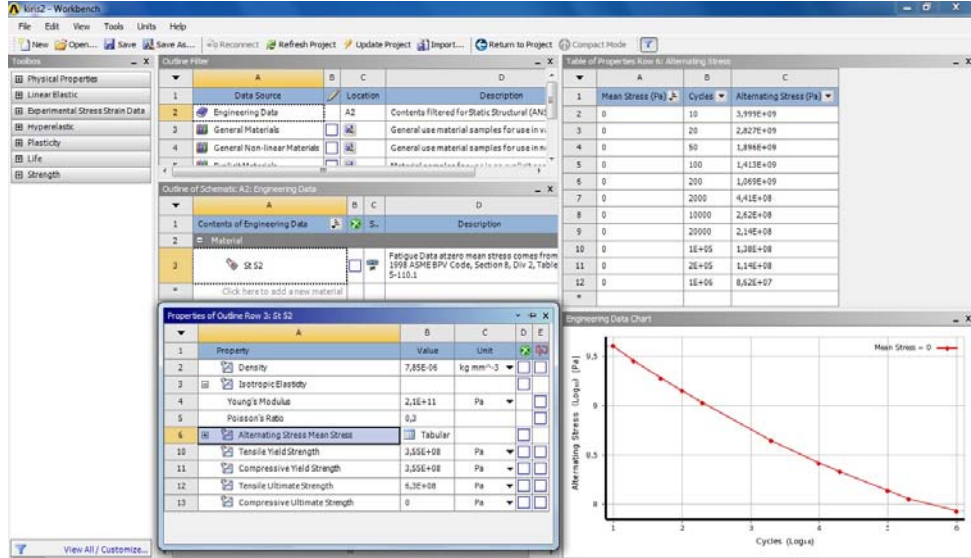
Köprü kirişine gerilme ve sehim analizi yapmak için ANSYS Workbench programı açıldıktan sonra açılan pencerenin sol kısmında Static Structural (Yapısal Analiz) seçilir ve karşımıza Şekil 9.1 gösterildiği gibi bir pencere çıkar. Ayrıca bu Pencere bize yapılacak işlemlerin sırasınıda göstermektedir.



Şekil 9.1 : ANSYS Workbench açılış penceresi.

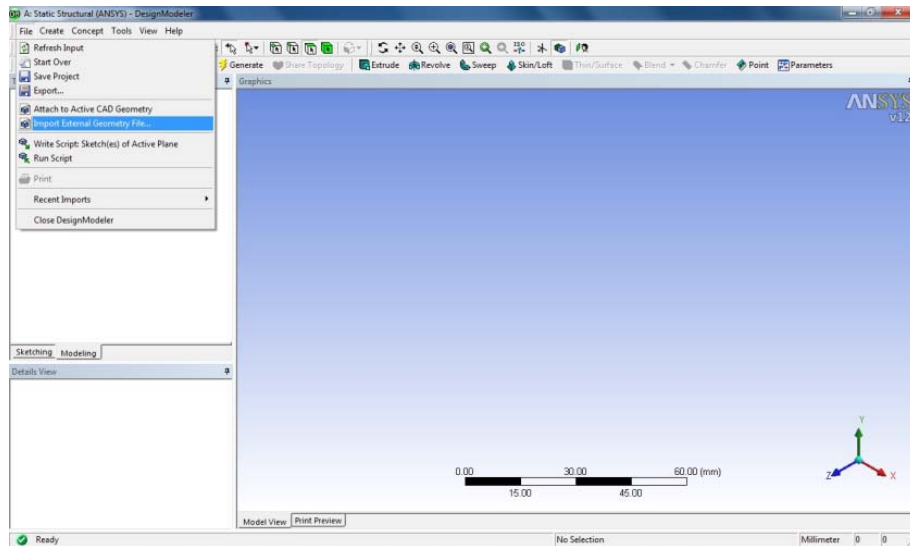
Daha sonra Engineering Data (Mühendislik Bilgileri) kısmında konstrüksiyon da kullandığımız malzemenin değerleri girilir. Analiz için gerekli olan değerler elastise

modülü, poisson oranı, özkütle ve akma mukavemet değeridir. Burada kullandığımız malzeme St52-3 malzeme olduğu için, bu malzemenin mekanik özellikleri girilmiştir.(Şekil 9.2)



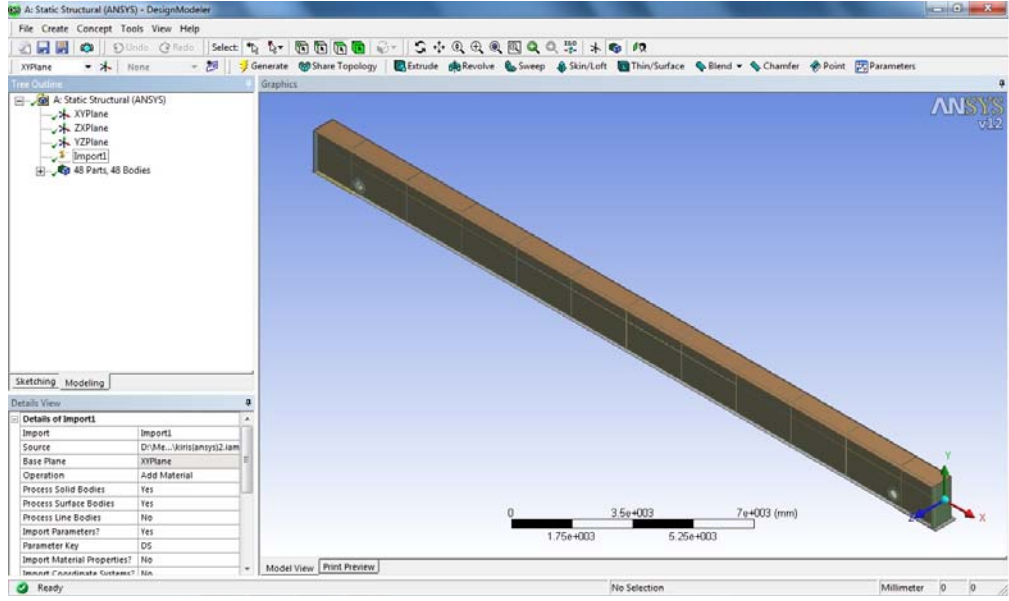
Şekil 9.2 : Malzeme özelliklerinin atanması.

Malzeme özellikleri atandıktan sonra Autodesk INVENTOR programında modellenen köprü kirişi Workbench programı içine aktarılır. Şekil 9.3 de başka bir programda modellenen bir dosyanın aktarımın nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



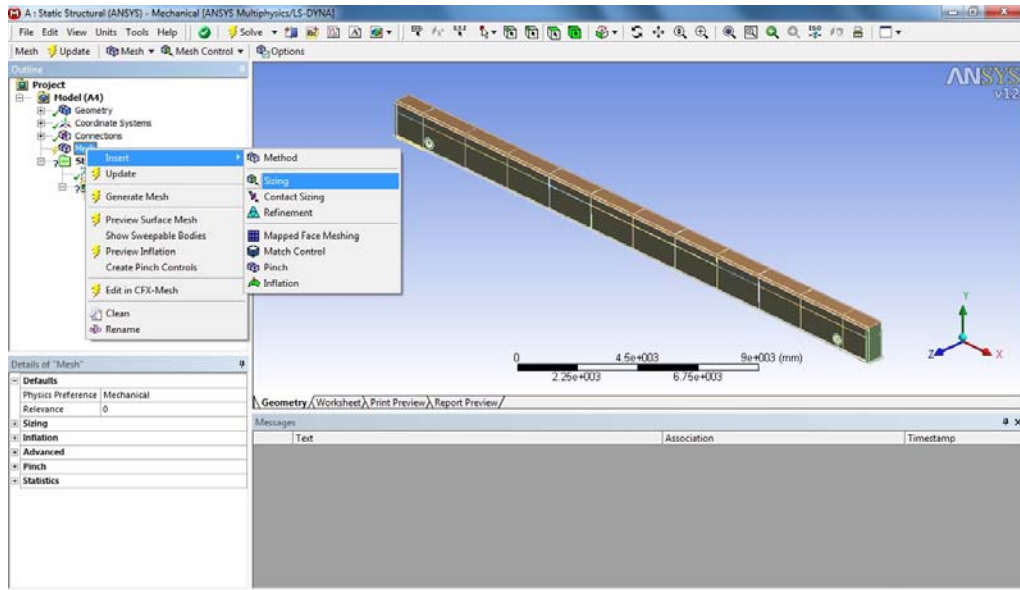
Şekil 9.3 : Köprü kirişinin Workbench programına aktarımı.

Aktarıldıktan sonra kiriş Şekil 9.4 deki gibi ekrana gelmektedir.



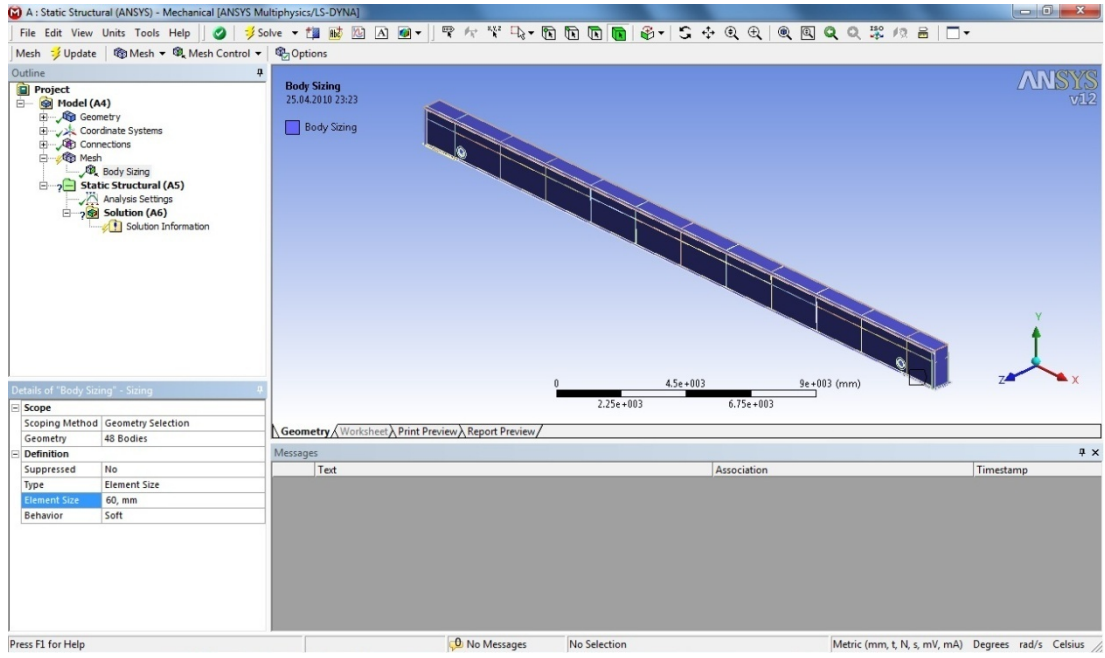
Şekil 9.4 : Köprü kirişinin Workbench programına aktarılmış hali.

Modelin aktarımı tamamlandıktan sonra boyutsal ağ (mesh/sizing) ataması yapılır (Şekil 9.5). Ağ oluşturulmadan önce geometry kısmında her bir eleman için daha önce belirlediğimiz malzeme seçilir.

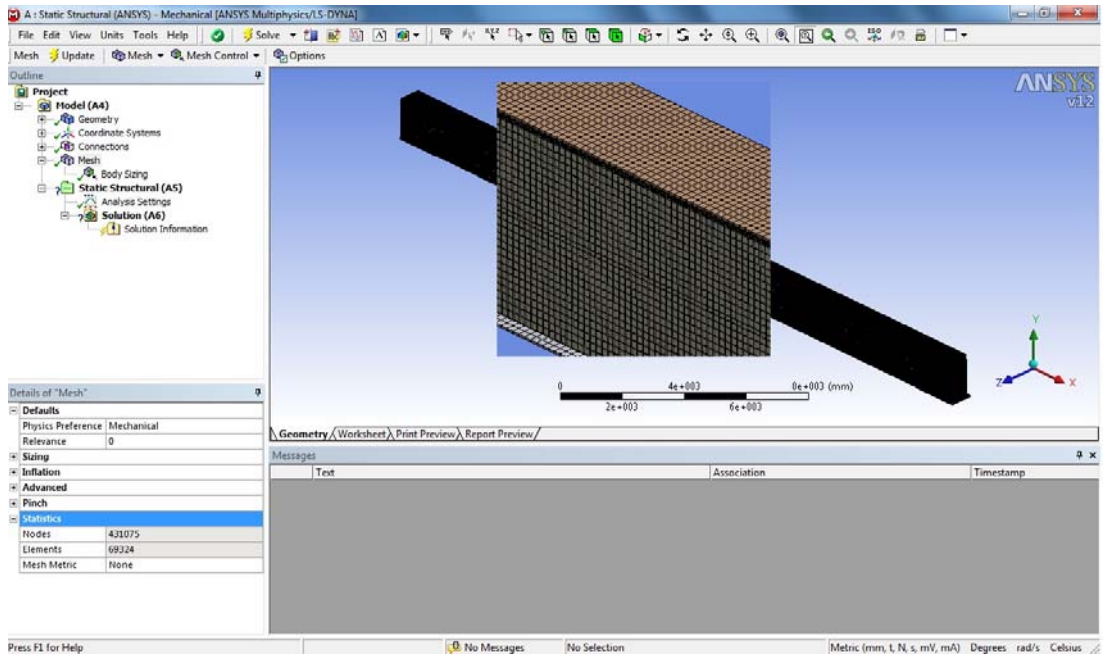


Şekil 9.5 : Ağ (Mesh) oluşturulmasının yapılması.

Mesh/Sizing kısmı seçildikten sonra bütün kiriş seçilerek, Type : Element Size ve Element Size : 60 mm değerleri girilir.(Şekil 9.6) Burada program her bir 60 mm de bir ağ oluşturulmaktadır. Oluşturulmuş ağ yapısı Şekil 9.7 de detaylı şekliyle gösterilmiştir.



Şekil 9.6 : Boyutsal ağı (Mesh/Sizing) değerlerinin atanması.



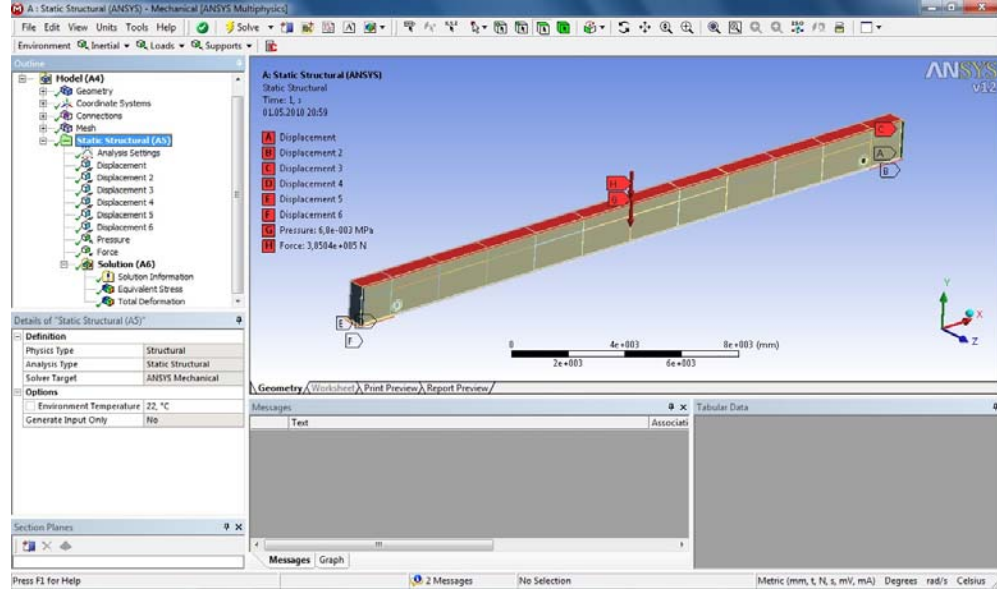
Şekil 9.7 : Ağ yapısının görünümü.

Ağ yapısı oluştuktan sonra toplam 431075 düğüm (Node) ve 69324 eleman (Elements) oluşmuştur.

Daha sonra kiriş mesnet noktalarından sabitlenir ve kirişin üzerine gelen kuvvetler, sistemin ağırlığından oluşan yayılı kuvvet ve araba, spreader ve kaldırılacak yükün ağırlığından kaynaklanan kuvvet olmak üzere kirişe uygulanır. Şekil 9.8 de mesnet

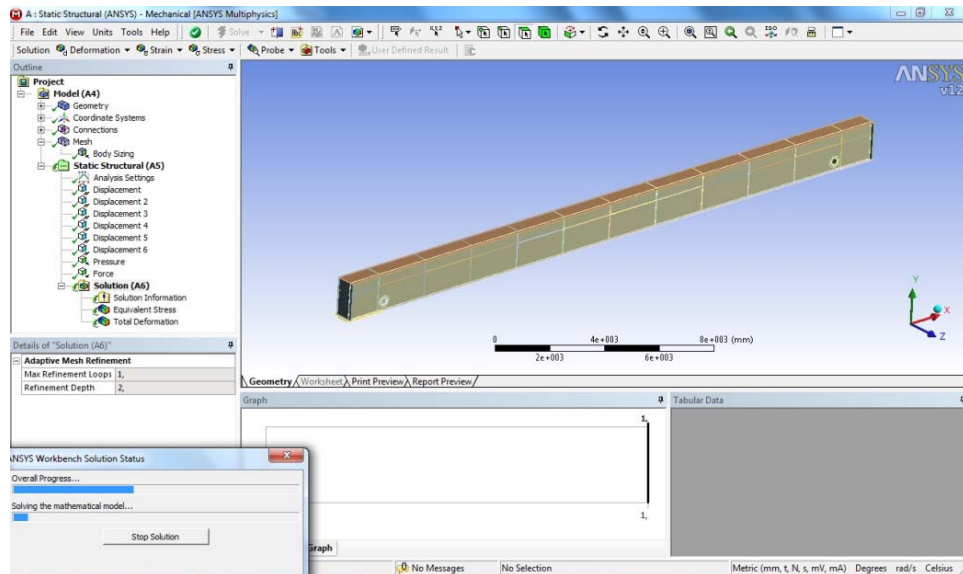
noktaları (A,B,C) ve (D,E,F) ve kuvvetler (G,H) olarak görülmektedir. Burada kiriş x, y ve z yönünde sabitlenmiş hareketsizdir.

Çözümünden sonra elde etmek istediğimiz değerler programa girilir. Burada Stress (gerilme) kısmından Equivalent Stress (von-mises) ve Total Displacement değerleri seçilir. Sistemde iki adet kiriş bulunduğu için, toplam yük her iki kiriş üzerine etki etmektedir bu sebepten toplam yük ikiye bölünerek kirişi üzerine etki ettirilmiştir.



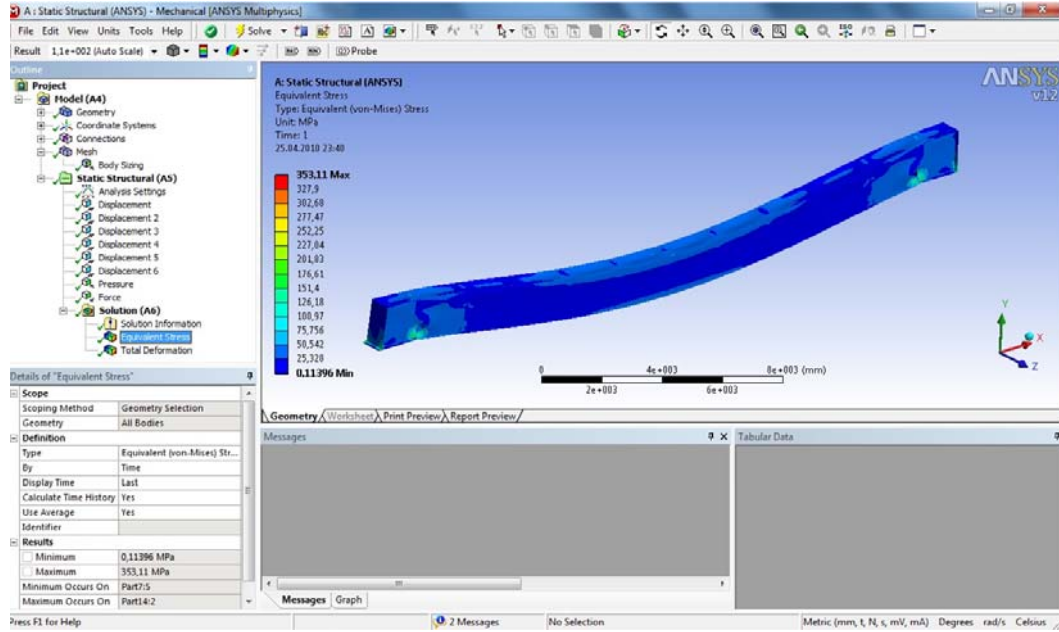
Şekil 9.8 : Köprü kirişi mesnet noktaları ve kuvvetlerin uygulanması.

Kuvvetler, mesnetler ve elde etmek istediğimiz gerilme ve deformasyon girdileri belirlendikten sonra Solution kısmından çözüm yapılır (Şekil 9.9).



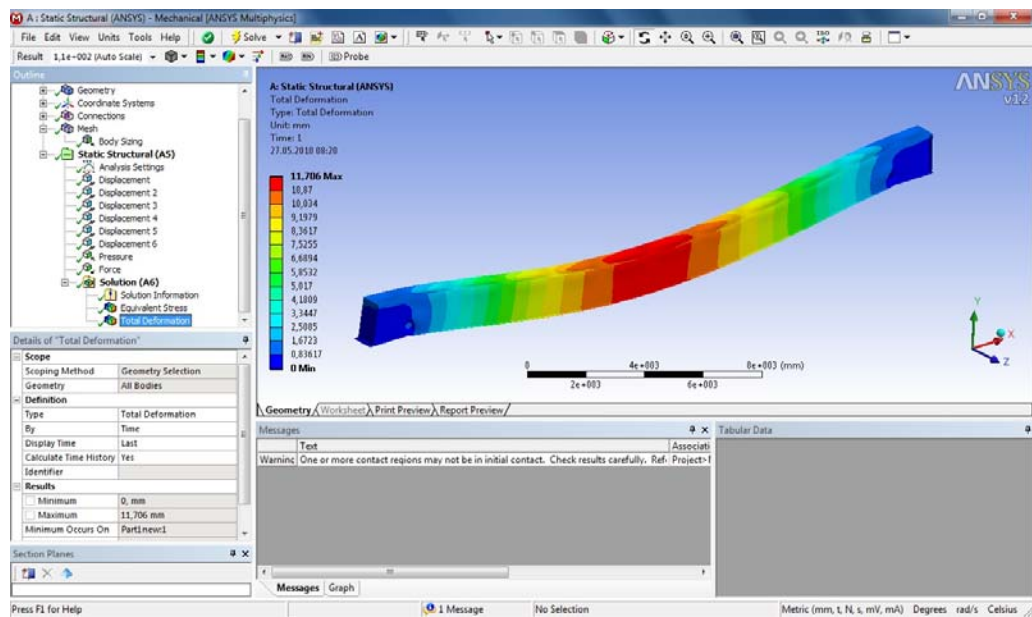
Şekil 9.9 : Uygulanan kuvvet ve mesnetlerin çözülmesi.

Çözümleme bittikten sonra sonuçlar Şekil 9.10 ve Şekil 9.11 deki gibi oluşmuştur. Şekil 9.10 da gerilme değerleri görülmektedir. Bu değerlerden maksimum olanı kırmızı renkte ve 353.11 Mpa dır. Fakat kiriş üzerinde hiç bir yerde kırmızı renk ve hatta turuncu, sarı tonlarında bulunmadığı için, gerilme değeri yeşil renkte olan 201.83 Mpa olarak belirlenir.



Şekil 9. 10 : Köprü kiriş üzerindeki gerilme değerleri.

Bununla birlikte Şekil 9.11 de kiriş üzerinde oluşan deformasyonlar görülmektedir. Maksimum deformasyon kirişin orta yerinde oluşmakta ve 11.706 mm dir.



Şekil 9.11 : Köprü kiriş üzerinde oluşan deformasyon.

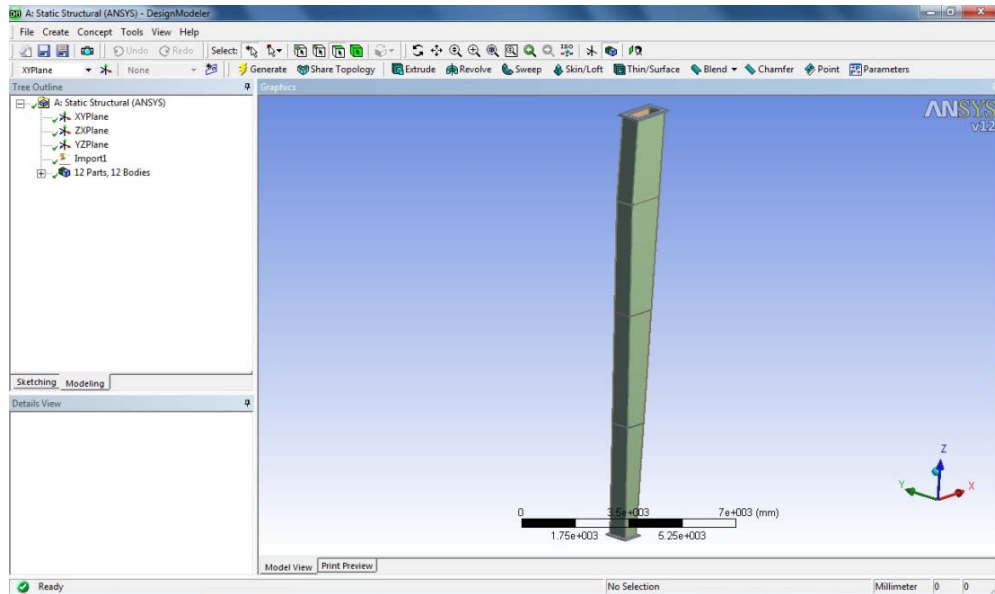
9.2 Ayakların Burkulma Analizi

Eksenel basınç kuvvetlerinin şiddeti, kritik yük denilen, bir limit değere vardığı zaman, uygulanma noktasının en ufak bir yer değiştirmesine veya eksenel yükün şiddetinin en ufak bir artışına karşı, ayağın çökmesi son derece hassas bir hale gelir ve ayağın eğilmesi, birden bire karakteristik yanal bir burkulma halini alır.

Burkulma analizi de ANSYS Workbench programında yapılmıştır. Burkulma analizi için bir ön yükleme olması gerekmektedir. Bu sebeple burkulma analizi iki kısımdan oluşur. Bunun için ayak üzerine Structural Analysis de bir ön yükleme değeri girilir ve daha sonra Linear Buckling (Lineer Burkulma) kısmına geçilerek çözümleme yapılır.

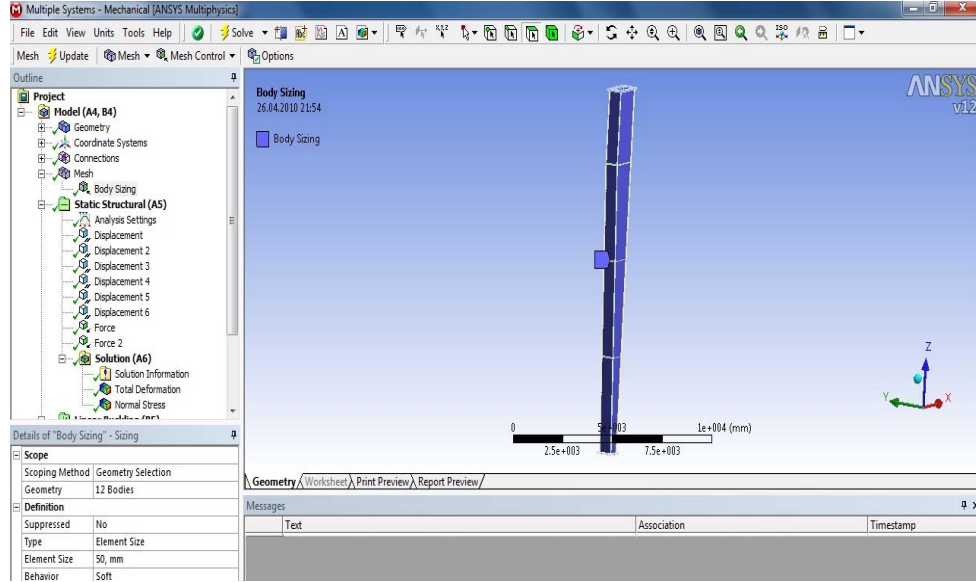
Analiz için yine Workbench programı açılır ve ön yükleme oluşturmak için Structural Analysis seçilir (Şekil 9.1).Daha sonra gerilme analizinde olduğu gibi adımlar tekrarlanır ve ayak saclarının malzemesi olan St 52-3 girilir (Şekil9.2).

Malzeme ataması yapıldıktan sonra model sekmesine gelinir ve Autodesk INVENTOR programında modellenmiş olan krenin ayağı Workbench programının içine aktarılır. Şekil 9.12 ayağın Workbench programına aktarılmış hali gösterilmektedir.

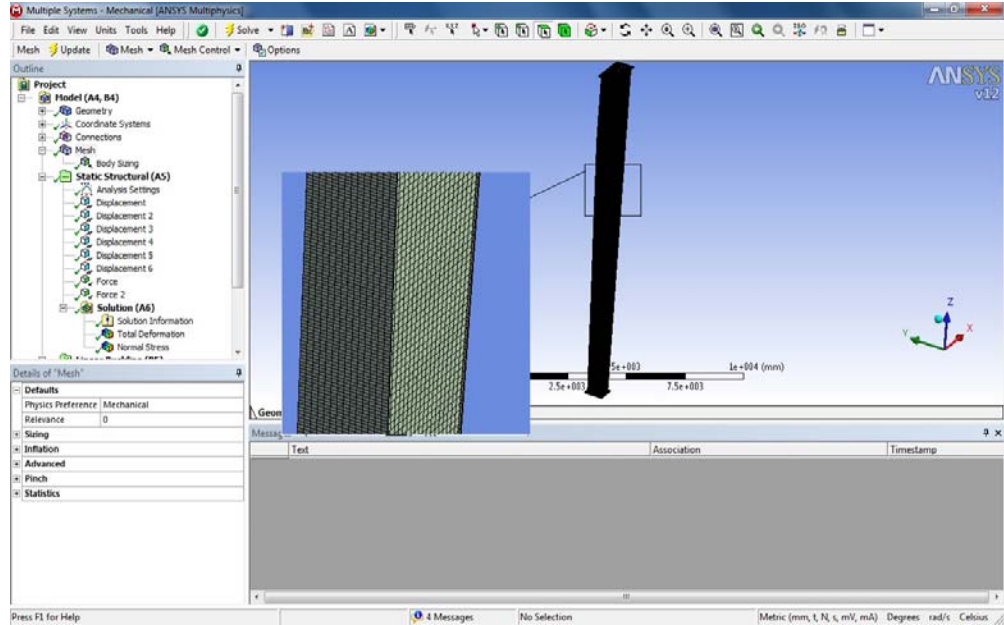


Şekil 9.12 : Kren ayağının Workbench programına aktarılmış hali.

Aktarıldıktan sonra ağ (mesh) oluşturulması yapılır. Mesh bölümünden Sizing kısmına gelir ve Type kısmına Element Size (Eleman Boyutu) ve Element Size kısmına ise 50 mm girilir (Şekil 9.13). Daha sonra Generate Mesh (Ağ Yarat) butonuna basılır ve 50 mm aralıklarla ağ oluşturulur. Şekil 9.14 ayak üzerinde oluşturulmuş ağ yapısı detaylı şekilde gösterilmektedir.



Şekil 9.13 : Boyutsal ağın (Mesh/Sizing) değerlerinin atanması.

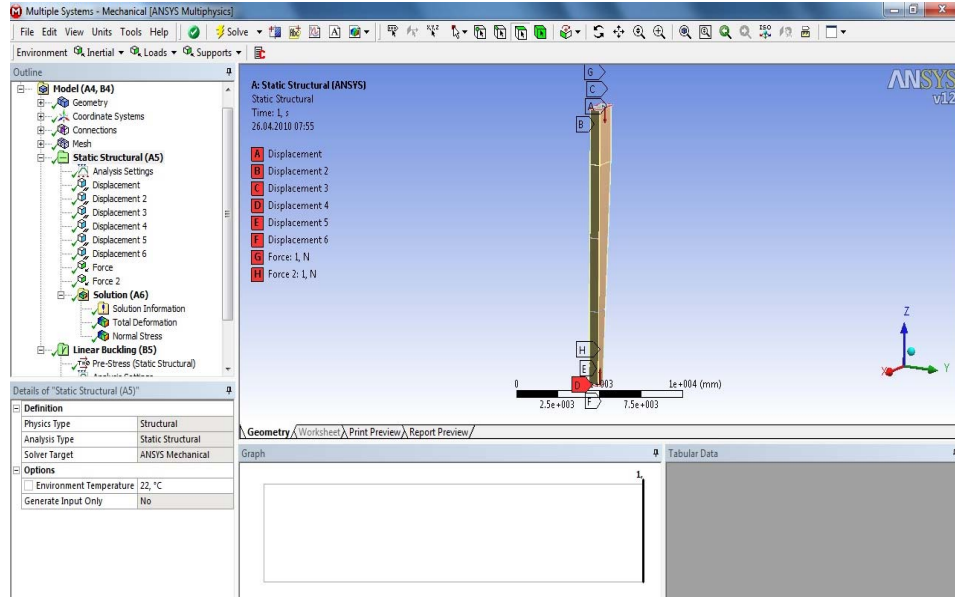


Şekil 9.14 : Ağ yapısının görünümü.

Ağ oluşturulması yapıldıktan sonra mesnetler ve kuvvetler kren ayağına uygulanır. Burada kren ayağının iki ucuda x,y ve z kordinatlarında sabitlenir ve iki ucundan 1 N’luk kuvvetler uygulanır.

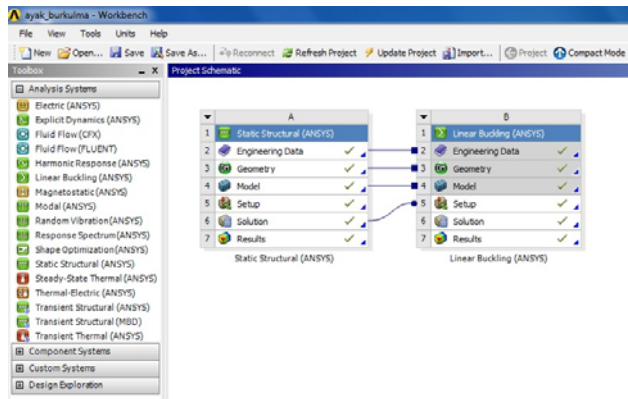
Çözüm sonunda elde ettiğimiz Load Multiplier (Kuvvet Çarpanı) burada uyguladığımız kuvvetle çarpılarak burkulma için gerekli olan kritik yük bulunur. Bu yüzden birim bir değer olması için 1 N’luk kuvvet uygulanır.

Şekil 9.15 de uygulanan kuvvetler ve mesnetler gösterilmektedir.



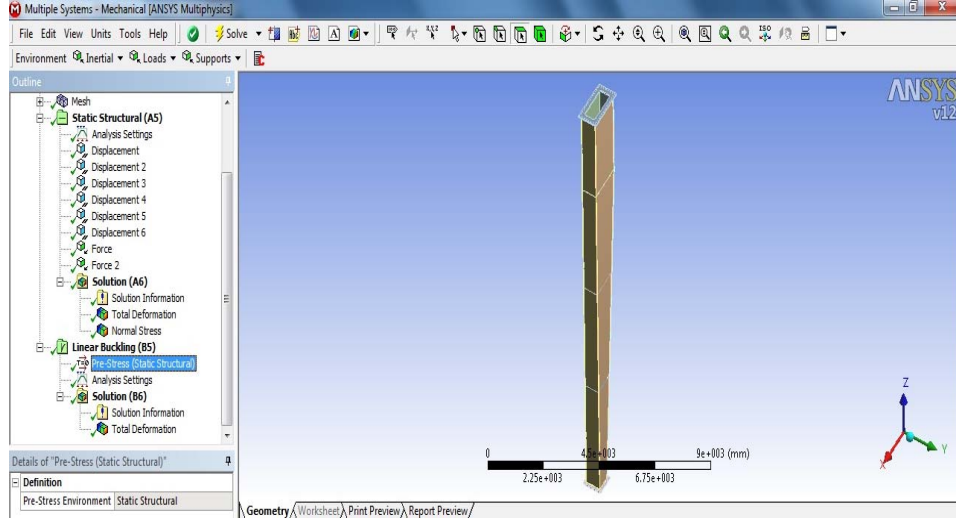
Şekil 9.15 : Kren ayağı mesnetler ve kuvvetler.

Kuvvetler uygulanıp mesnet yerleri belirlendikten sonra çözüm yapılır ve burkulma analizinin ilk kısmı bitmiş olur ve diğer kısmına burkulma analizine geçilir. Structural Analysis (Yapısal Analiz) burkulma analizinin içine atılır (Şekil 9.16) ve analize burkulma analizinden devam edilir.



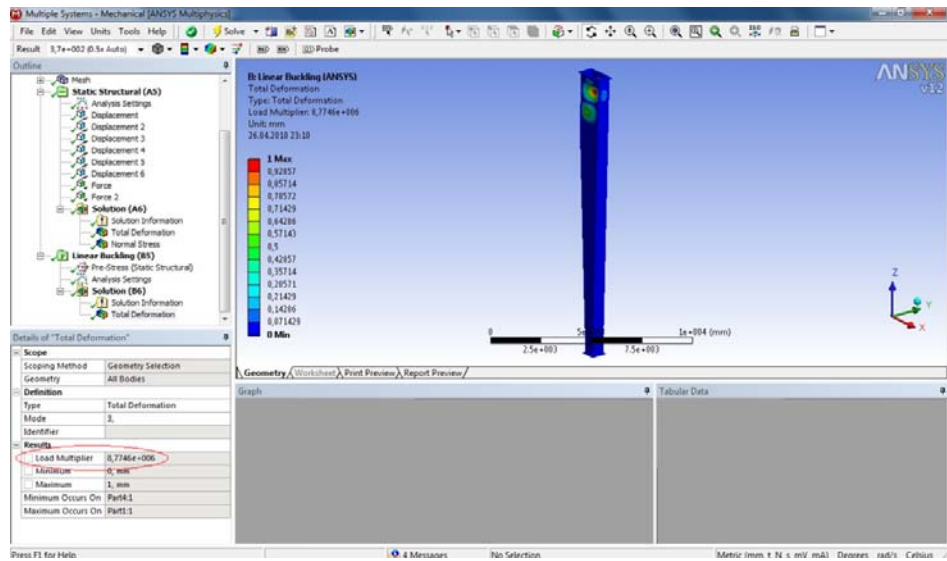
Şekil 9.16 : Yapısal analiz burkulma analizinin içine atılması.

Burkulma analizi kısmına geçtikten sonra Pre-Stress (Ön Gerilme) bölümü için bir önceki kısımda oluşturduğumuz Static Structural girilir ve çözmek istediğimiz değer olarak Total Deformation (Toplam Deformasyon) ayarlanır ve programını çözümü yapılır (Şekil 9.17).



Şekil 9.17 : Burkulma analizi için yapılan ayarların gösterimi.

Programa istenilen değerler girilip çözüm yapıldıktan sonra, oluşan deformasyon şekil 9.18 deki gibidir. Burada oluşan deformasyon maksimum 1 mm dir. Ayrıca burkulma için gerekli olan kritik yükün hesaplanmasında kullanılacak olan Load Multiplier değeri de 8774600 çıkmıştır. Bu yük çarpanı analizin ilk kısmında girdiğimiz kuvvet (1 N) ile çarpılarak kritik yük bulunur. Yani bizim burada kritik yükümüz $1 \times 8774600 = 8774600$ N dur.



Şekil 9.18 : Burkulma analizinin sonuçlarının gösterimi.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

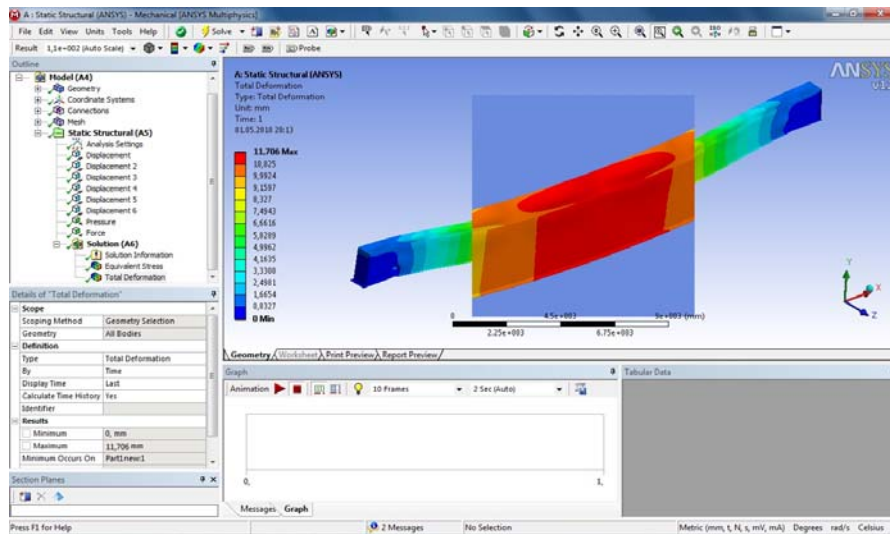
Yapılan tez çalışmasında, limanlarda kullanılan ve özel bi kren tasarımı olan lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin katı modellenmesi, klasik hesaplamaları ve gerilme, deformasyon ve burkulma sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerle klasik hesaplar karşılaştırılmış ve sonlu elemanlar metodunun lastik tekerlekli konteyner istifleme kreninin tasarımda klasik hesap yöntemlerine göre kazanımları ve sunduğu olanaklar incelenmiştir.

İlk önce gerilme ve deformasyon analizlerini incelediğimizde, klasik sonuçlardan ve analizden elde ettiğimiz sonuçlar aşağıdaki gibidir;

Çizelge 10.1 : Gerilme ve deformasyon değerlerinin karşılaştırılması.

	Klasik Hesap Sonuçları	Analiz Sonuçları
Gerilme Değerleri	204.56 N/mm ²	201.83 N/mm ²
Deformasyon (Sehim) Değerleri	15.27 mm	11.706 mm

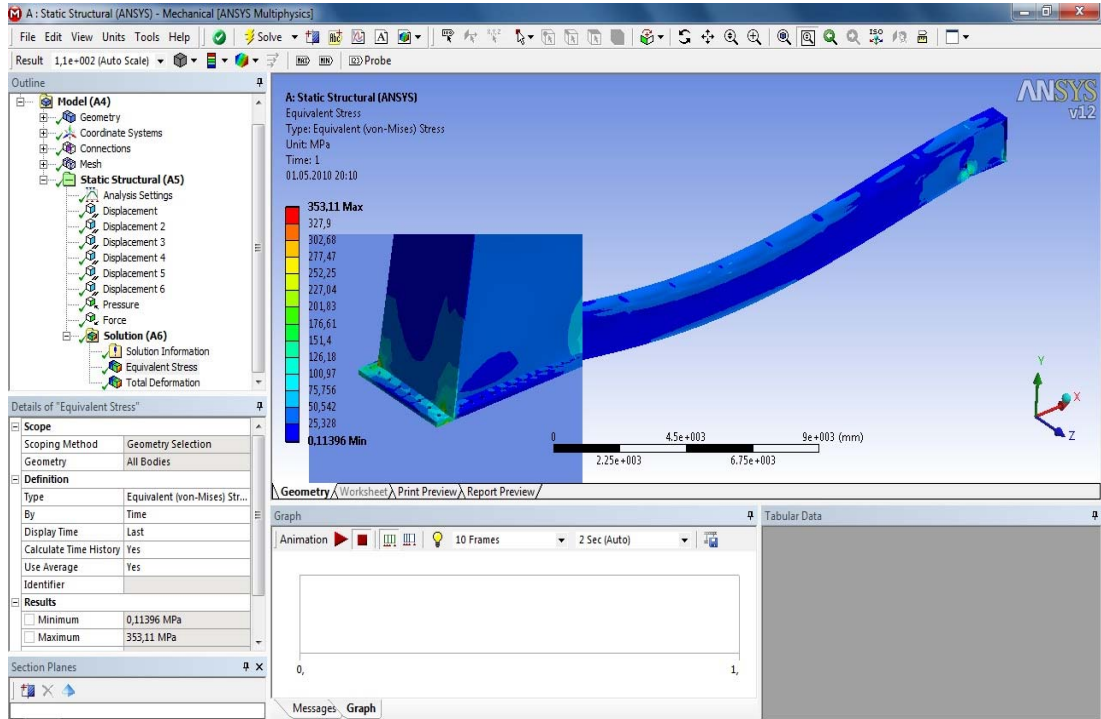
Burada “ σ_v ” karşılaştırma gerilmesi Von-mises gerilemesine karşılık gelmektedir. Ansys Workbench V12 programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptığımız analizde ise, Şekil 10.1 de gösterildiği gibi toplam ve maksimum deformasyon kirişin orta noktasında oluşmuştur ve değeri 11.706 mm dir.



Şekil 10.1 : Kiriş deformasyonun detaylı gösterimi.

Toplam sehim için klasik hesap ve analiz sonuçlarını karşılaştırdığımız da aradaki farkın çok az olduğu ve hemen hemen aynı değerler elde ettiğimiz görülmüştür.

Gerilme hesapları ve analizlerini incelediğimizde, Şekil 10.2 de gösterilen gerilme analizi sonucuna baktığımız da elde edilen gerilme değeri yeşil ile gösterilen 201.83 Mpa (N/mm^2) olarak elde edilmiştir. Şekil 10.2 de gösterilen sonuçta maksimum gerilmeye sahip olan kırmızı, turuncu ve sarı renkli yerlere rastlanmadığı için bu gerilme değerleri göz önüne alınmamıştır. Ayrıca kiriş geneline baktığımız da kiriş üzerinde genelde mavi ve açık mavi renkler hakimdir ve bu renklere karşılık gelen gerilme değerleri ise 50.54 ve 126.18 N/mm^2 arasındadır. Yani kirişin genelinde gerilme değerleri eminiyetli akma mukavemeti değerinden oldukça aşağıdadır.



Şekil 10.2 : Kiriş gerilmelerinin detaylı gösterimi.

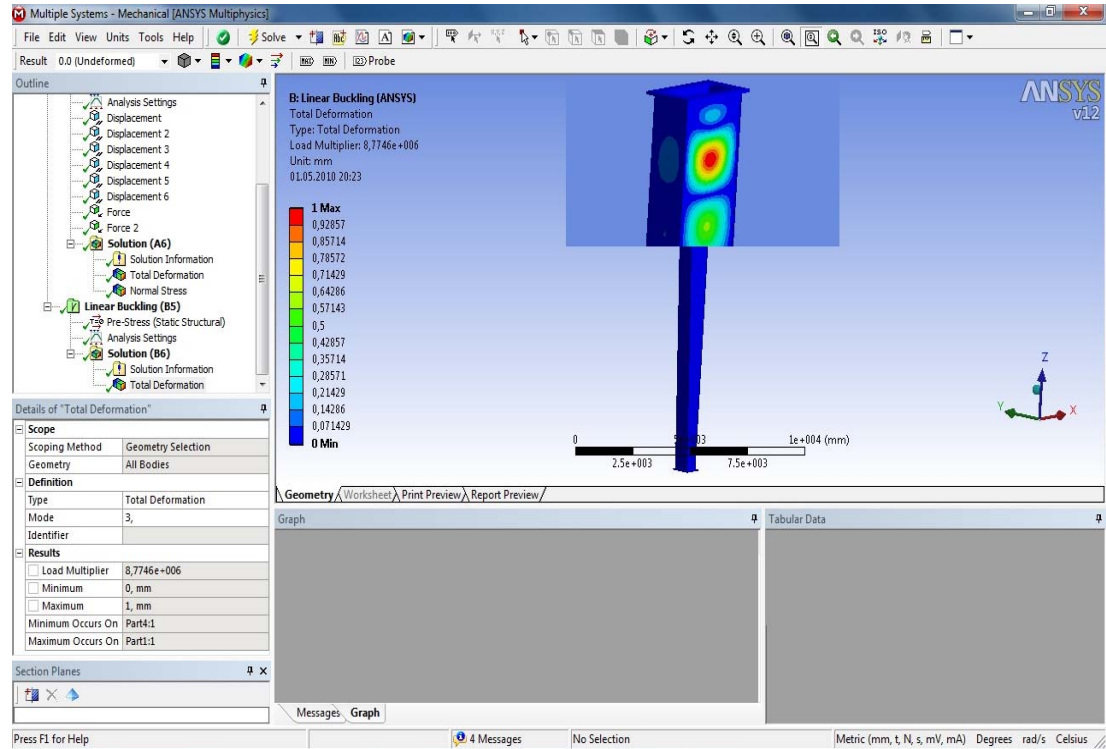
Yine buradan elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırırsak, klasik hesaplardan gerilme değerini 204.56 N/mm^2 bulurken, analizden ise 201.83 N/mm^2 bulunmuştur. Buradaki kıyaslamada ise aradaki farkın yine çok az olduğunu görmekteyiz.

Burkulma hesaplarına ve analize baktığımızda ise, hesaplardan kritik kuvvet $F_{cr} = 8674038$ olarak hesaplanır. Şekil 10.2 deki analiz sonuçlarına baktığımızda bu sonuç ise yük çarpanına (Load Multiplier) direk eşittir. Çünkü analizin ön gerilmesinde yükü birim yük yani 1 N olarak vermiştik. Kritik yükte bu ön

gerilmedeki yük ile yük çapanının çarpımına eşit olduğu için kritik yükü direk yük çarpanı olarak alabilir. Bu durumda analizden elde ettiğimiz kritik yük ise 8774600 N dur.

Çizelge 10.2 : Kritik yük değerlerinin karşılaştırılması.

	Klasik Hesap Sonuçları	Analiz Sonuçları
Kritik Yük Değerleri	8674038 N	8774600 N



Şekil 10.3 : Ayak burkulma deformasyonunun detaylı gösterimi.

Analiz sonucuna baktığımızda burkulmadan dolayı fazla bir deformasyon meydana gelmemektedir. Maksimum deformasyon 1 mm dir. Hesap sonuçlarında ise burkulma gerilmesi $14.66 \text{ N} / \text{mm}^2$ olarak bulunmuştur. Bu iki değere baktığımız zaman birinci değer olan deformasyon değeri oldukça küçük bir değer, ikinci değer olan burkulma gerilmesi ise emniyetli akma mukavemeti değeri olan $240 \text{ N} / \text{mm}^2$ değerinin çok altında bir değerdir. Bu sebepten dolayı ayaklar St37 malzemeden yapılabilir ve böylelikle 4 adet ayak olduğunda düşünürsek krenin maliyeti düşecektir.

Sonuç olarak klasik hesaplar ile sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla ANSYS Workbench programında yapılan gerilme, deformasyon ve burkulma analizlerinden

elde edilen sonuçlar arasında pek fazla fark yoktur. Yani tasarımcı güvenilirlik, dayanıklılık, ağırlık, malzeme kullanımı gereksinimleri doğrultusunda optimum tasarımı bulana kadar tasarımını bilgisayar ortamında değiştirebilir ve sonuçlarını değerlendirebilir. Bu sayede zamandan ve maliyetten oldukça tasarruf edilebilir. Çünkü bilgisayar ortamında yapılan analizler hesaplama daha kısa sürmekte ve daha kesin sonuçlar vermektedir.

Bununla birlikte bütün analizlerde sonlu elemanlar modelinde eleman sayısını artırdıkça sonuçların doğruluk oranının daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçları gerilme, deformasyon ve kritik yük için ağ eleman sayısı değişimlerine göre karşılaştırılmaları Çizelge 10.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 10.3 : Ağ eleman boyutuna göre sonuçların değişimi

Eleman Boyutu (mm)	Gerilme (MPa)	Deformasyon (Sehim) (mm)	Kritik Yük (N)
50	-	-	8774600
55	-	-	8776800
60	201.83	11.706	8779600
70	200.62	11.694	8784100
80	199.53	11.688	8831300
100	197.46	11.628	8912200
130	195.84	11.624	8941500
150	193.98	11.469	9013400

Yapılan tez çalışması yüklemenin H hali göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu yükleme şartında sadece ana yükler söz konusu olduğundan hesaplamalar ve analizler buna göre yapılmıştır. Daha sonra yapılacak çalışmalarda limanların rüzgarın etkili olduğu yerler olduğu düşünülürse, yüklemenin HZ hali göz önüne alınarak analiz ve hesaplamalar yapılabilir. İleride yapılan benzer çalışmalarda kullanılan yöntem ve teknikler örnek alınabilir.

SEY'nin sağladığı faydalar ve getirdiği kazanımlar şu şekil gözlemlenmiştir ;

- Daha hızlı çözüme ulaşılması, (Zamandan Tasarruf)
- Karmaşık problemleri kolay bir şekilde çözüme kavuşturması,
- Deneysel olarak yapılan çalışmalara göre daha az maliyetli olması, (Maliyetten Kazanç)
- Daha hassas ve doğru sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

Beer G. and Watson J.O., 1994. Introduction to Finite and Boundary Element Method for Engineers, John Wiley

Demirsoy, M., 2005. Kaldırma Makinaları (Krenler), TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir Yayın No: MMO/2005/391.

Erdil, A.B., 2007. Portal Krenlerin Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Metoduyla Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erdöl, T., 2007. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Portal Vinç Tasarımı. Analizi ve Kutu Kiriş En İyilemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

F.E.M., 1987. 1001 3. Baskı 1987.10.01

İmrak, C. E., Fetvacı, M. C., 2004. Krenlerin (Vinçlerin) Periyodik Koruyucu Bakım Esasları, *Makale*, Mühendis ve Makina Cilt 45 Sayı 538, İstanbul.

Knight C.E., 1993. The Finite Element Method in Mechanical Design, PWSKENT Publishing Company, Boston.

Kurbanoğlu, C., 2002. Transport Tekniği – Teori, Konstrüksiyon Çözümlü Problemler, İstanbul.

Kurt, S., Kutay, G. M., Aslan R., 2008. Krenlerde Çelik Konstrüksiyonlar I. Cilt, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul Yayın No: MMO/2008/483-1.

Kurt, S., Kutay, G. M., Aslan R., 2008. Krenlerde Çelik Konstrüksiyonlar II. Cilt, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul Yayın No: MMO/2008/483-2.

Kurtay, T., 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş Ders Notu, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

Lui, Y., 2003. Lecture Notes: Introduction to Finite Element Method, CAE Research Laboratory Mechanical Engineering Department University of Cincinnati, U.S.A.

Moaveni Saeed, 1999. Finite element analysis, Mumesota State Univ., Mankato.

Noboru, 1986. Finite Element Methods in Mechanics, Cambridge Univ.Press.

Öztepe, H., 1999. Trasport Tekniği – Kaldırma ve Taşıma Makinaları, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.

Özyılmaz M., 2007. Konteyner Bilgi Notu, Deniz Ticaret Odası İzmir Şubesi, İzmir

Rao, S. S., 1998. The Finite Element Method in Engineering Second Edition, Pergamon Pres, Oxford.

Verschoof, J., 2002. Cranes – Design, Practice and Maintenance, Professional Engineering Publishing Limited London and Bury St Edmunds, UK.

Zeid, I., 1991. CAD/CAM Theory and Practice, U.S.A..

Url-1 < <http://www.vincteknobank.com>>, alındığı tarih 15.04.2010.

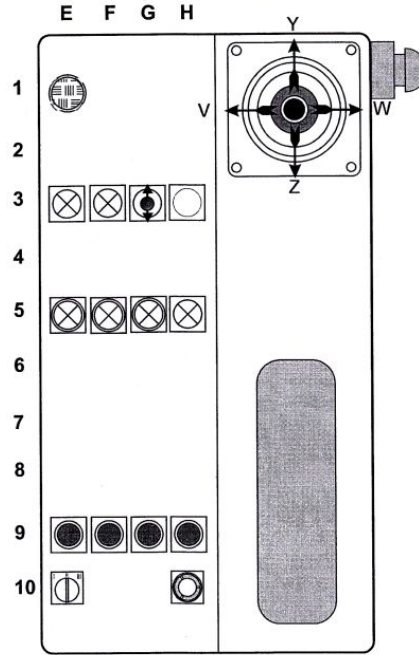
Url-2 < <http://www.adad.com.tr> >, alındığı tarih 25.04.2010.

EKLER

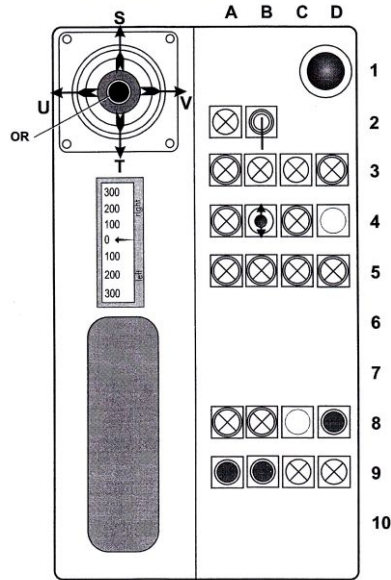
EK A.1 : Şekiller

EK A.2 : Çizelgeler

EK A.1



Y	Master sviçi "ön" pozisyona getir	Araba ileri yürür	<i>araba ileri</i>
Z	Master sviçi "geri" pozisyona getir	Araba geri yürür	<i>araba geri</i>
V	Master sviçi "sol" pozisyona getir	Vinç sola yürür.	<i>yürüme sola</i>
W	Master sviçi "sağ" pozisyona getir	Vinç sağa yürür.	<i>yürüme sağa</i>

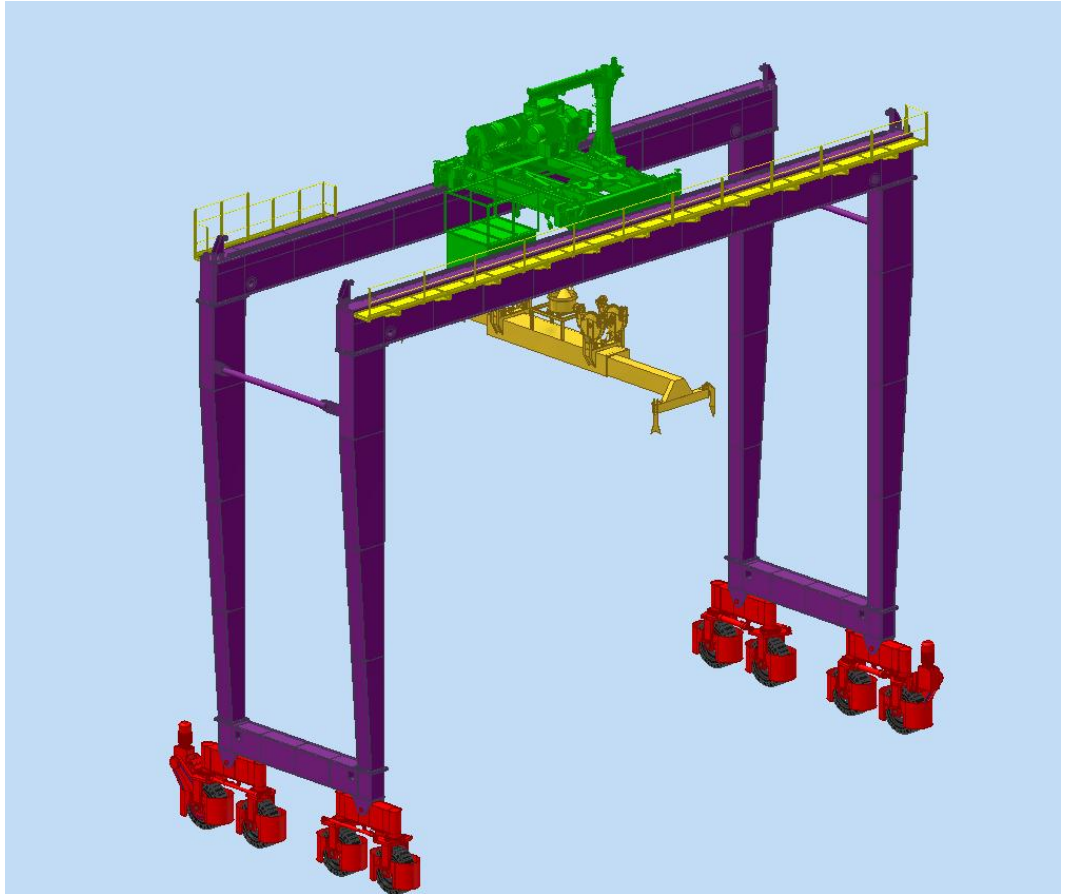


S	Master sviçi "ön" pozisyona çevir	Yük indirme.	<i>İndirme</i>
T	Master sviçi "arka" pozisyona çevir	Yük kaldırma	<i>kaldırma</i>
U	Master sviçi "sol" pozisyona çevir	Sola dönüş	<i>sola dönüş</i>
V	Master sviçi "sağ" pozisyona çevir	Sağa dönüş	<i>sağa dönüş</i>
OR	Ölü pozisyon butonu	Çara merkez	<i>çarka merkez</i>

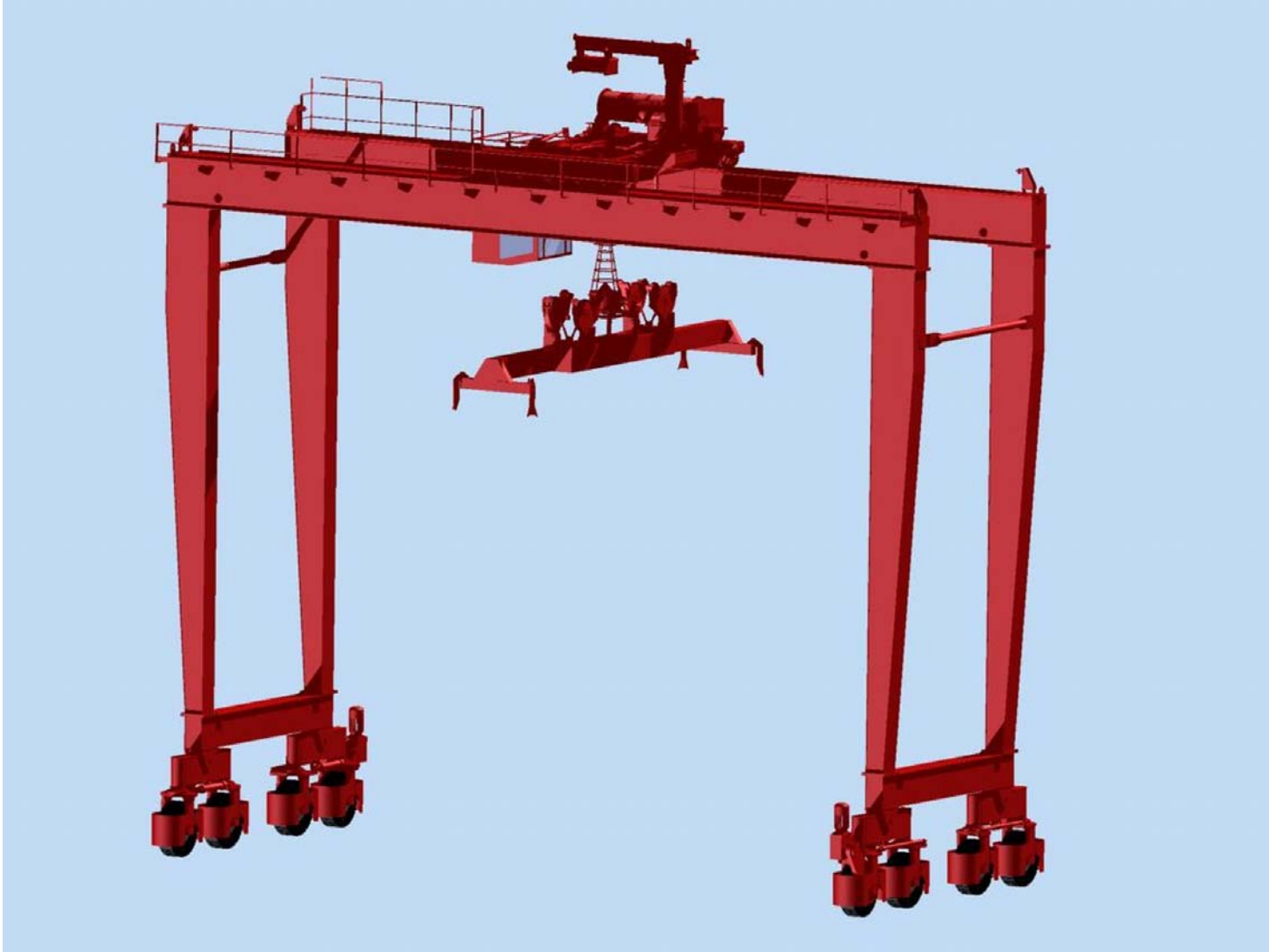
Şekil A.1 : Operatör kabini sol ve sağ tarafındaki kumandalar.



Şekil A.2 : Yürütme grubu zincirli tahrik görünümü.



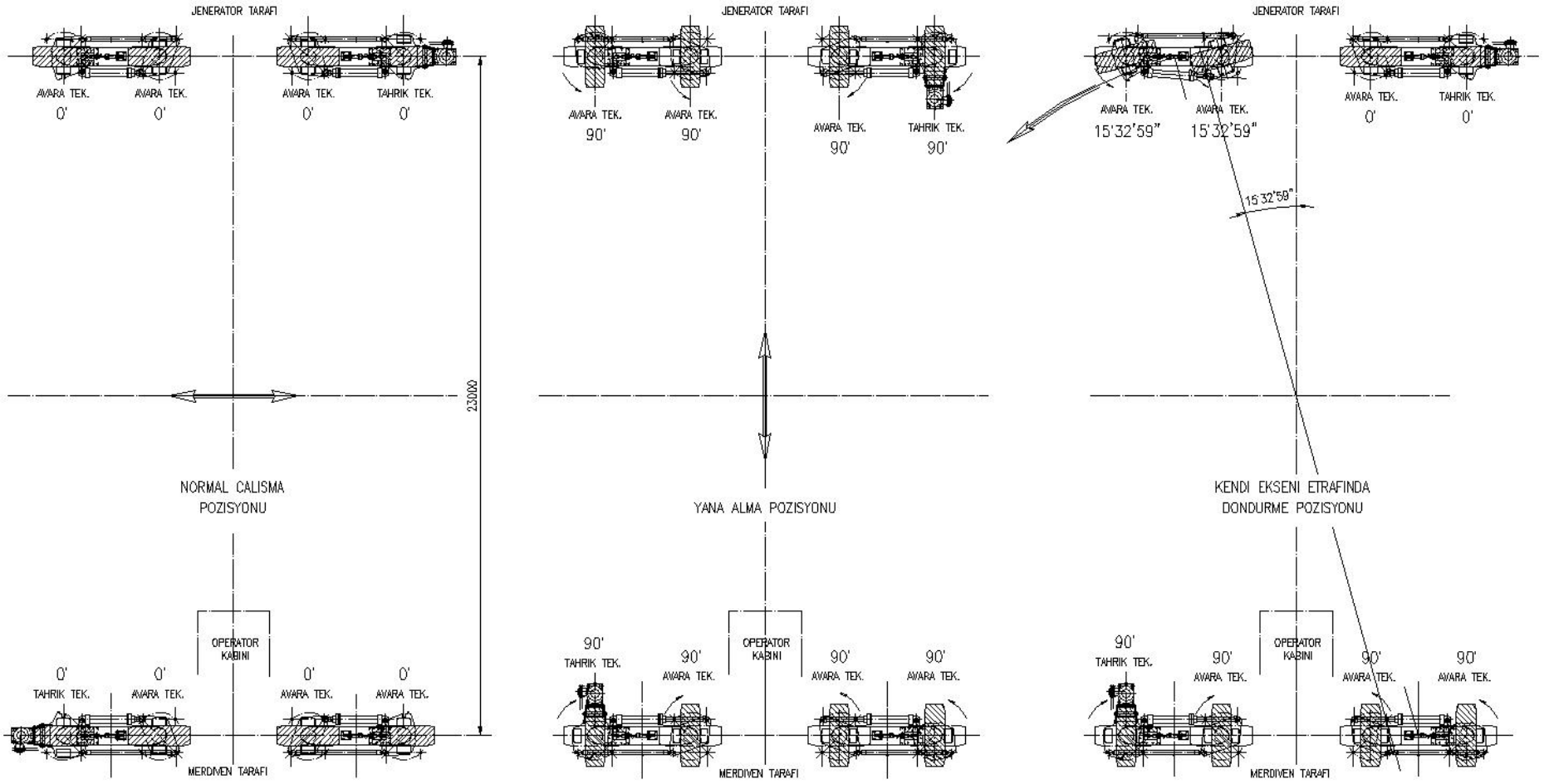
Şekil A.3 : Konteyner istifleme kreni grupların renklendirilmiş görünümü.



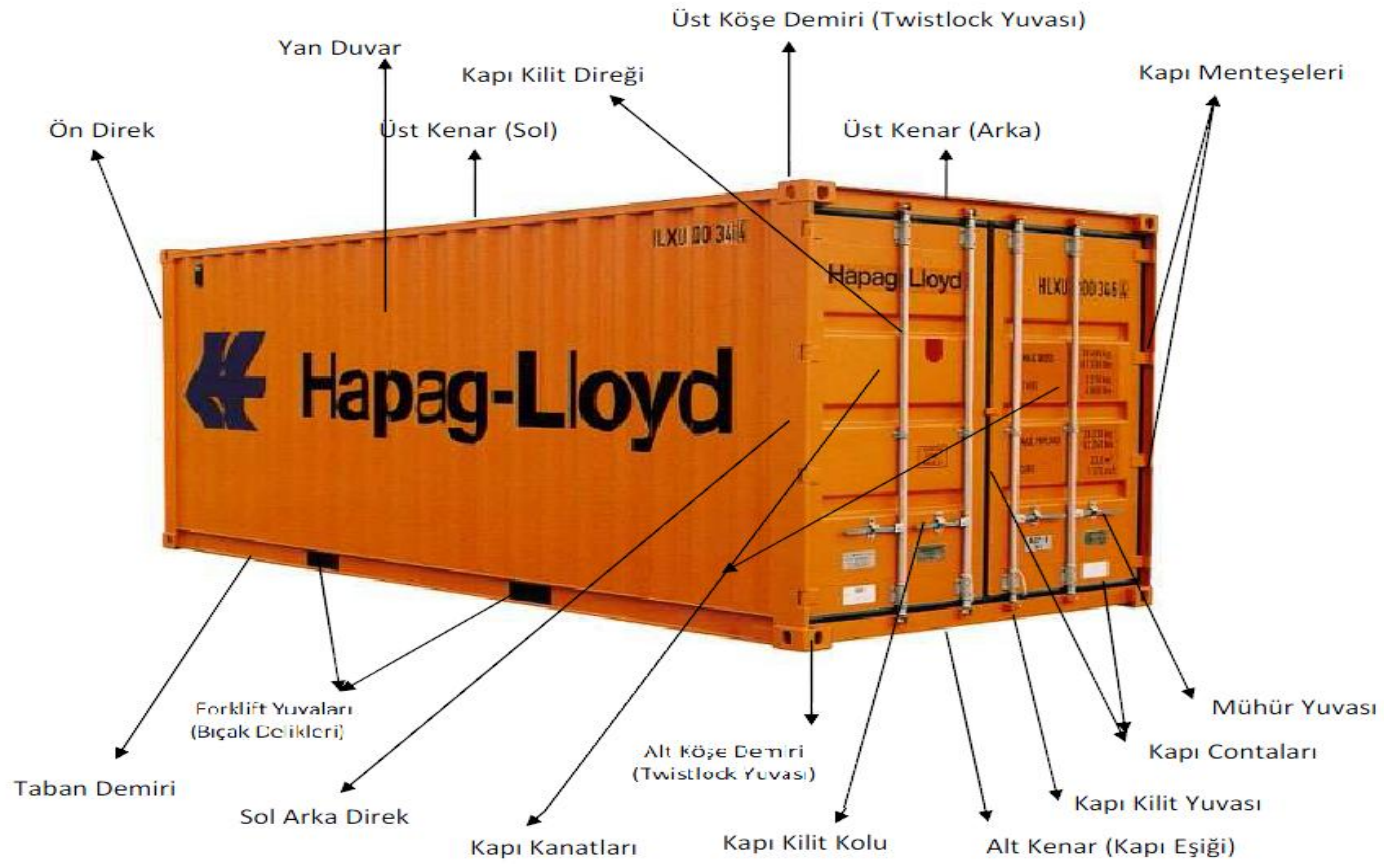
Şekil A.4 : Konteyner istifleme kreninin üç boyutlu gerçekçi görünümü



Şekil A.5 : Haydarpaşa limanı konteyner istifleme kreni



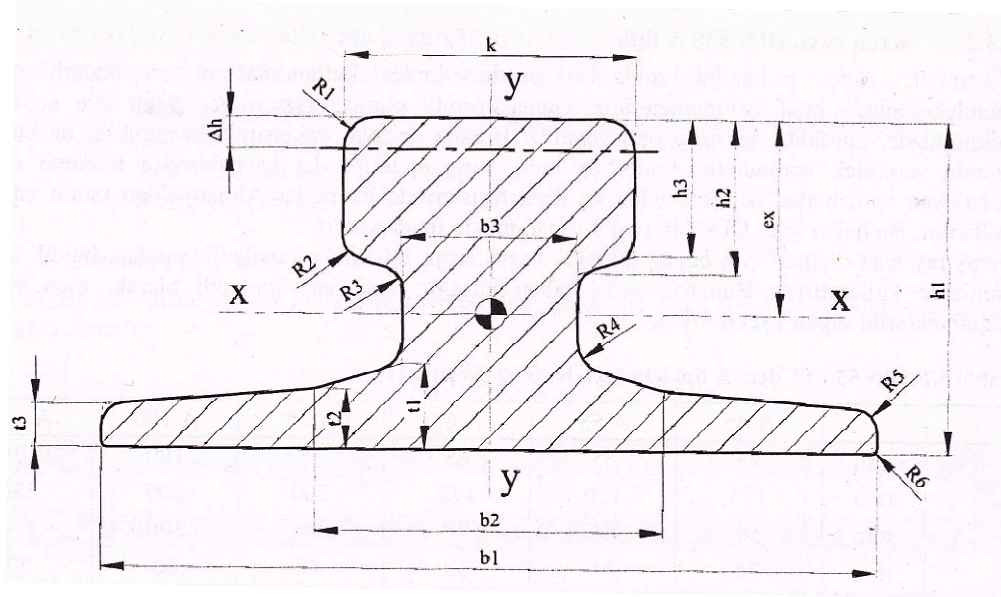
Şekil A.6 : Yürütme grubu tekerlek çalışma pozisyonları.



Şekil A.7 : Bir konteynerin genel kısımları.

EK A.2

Çizelge A.1 : DIN 536 A tipi kren rayları.



		A 45	A 55	A 65	A 75	A 100	A 120
k	mm	45	55	65	75	100	120
b ₁	mm	125	150	175	200	200	220
b ₂	mm	54	66	78	90	100	120
b ₃	mm	24	31	38	45	60	72
t ₁	mm	14,5	17,5	20	22	23	30
t ₂	mm	11	12,5	14	15,4	16,5	20
t ₃	mm	8	9	10	11	12	14
h ₁	mm	55±1	65±1	75±1	65±1	95±1	105±1
h ₂	mm	24	28,5	34	39,5	45,5	55,5
h ₃	mm	20	25	30	35	40	47,5
R ₁	mm	4	5	6	8	10	10
R ₂	mm	3	5	5	6	6	6
R ₃	mm	4	5	5	6	6	10
R ₄	mm	5	6	6	8	8	10
R ₅	mm	4	5	5	6	6	6
R ₆	mm	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
A	mm ²	2830	4070	5540	7210	9560	12900
q *1	kg/m	22,2	32,0	43,5	56,6	75,2	101,3
e _x	mm	33,1	38,8	44,4	50,0	52,1	57,0
J _x	cm ⁴	91,0	182	327	545	888	1420
W _x	cm ³	27,5	46,9	73,7	109	170	249
J _y	cm ⁴	169	337	609	1010	1360	2370
W _y	cm ³	27	45	69,6	101	136	215
Δh *2	cm	5	6	7	8	10	12

*1 Birim ağırlık $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ kabul edilerek, hakiki boyaya göre dir. Ağırlık toleransı $\pm \% 4$ tür.

*2 Δh Rayın aşınma sınırı. ($\Delta h \approx 0,25 \cdot h_3$) Daha fazla aşınma halinde rayın değiştirilmesi gereklidir. Özel durumlarda, atalet veya mukavemet momentinin önemli olmadığı yerlerde kullanılabilir.

Çizelge A.2 : İdeal buruşma karşılaştırma gerilmeleri için gerçek buruşma gerilmeleri

σ_{VKi} N/mm ²	σ_{VK} N/mm ²		σ_{VKi} N/mm ²	σ_{VK} N/mm ²	
	St 37	St 52-3		St 37	St 52-3
< 157	σ_{VPi}	σ_{VPi}	360	228	320
192	192	σ_{VPi}	380	229	325
200	198	σ_{VPi}	400	230	328
210	204	σ_{VPi}	420	231	331
220	208	σ_{VPi}	440	232	334
230	211	σ_{VPi}	460	232	336
240	214	σ_{VPi}	480	233	338
250	216	σ_{VPi}	500	233	339
260	218	σ_{VPi}	550	234	343
270	219	σ_{VPi}	600	235	345
280	221	σ_{VPi}	650	235	347
288	221	288	700	236	348
290	222	290	800	237	351
300	223	297	1000	237	353
320	225	308	2000	239	357
340	227	315	∞	240	360

Çizelge A.3 : Malzeme Faktörü “ c_1 ” ve eminiyetli basma mukavemeti “ p_{EM} ”.

Ray	R_m	N/mm ²	$\approx St 50 = 470$			
Tekerlek	R_m	N/mm ²	St 37 ≤ 340	St 50 470	GS 52 520	GS 60 600
Emniyeti basınç	p_{EM}	N/mm ²	2,8	3,6	4,3	4,5
Malzeme fakörü	c_1	[-]	0,50	0,63	0,76	0,80

Çizelge A.4 : Devir sayısı faktörü “ c_2 ”.

$n \approx d/dak$	80	71	63	56	50	45	40	35	32	28
c_2 [-]	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02
$n \approx d/dak$	25	22	20	18	16	14	12	11	10	8
c_2 [-]	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14

Çizelge A.5 : Çalışma oranı faktörü “ c_3 ”.

Çalışma oranı ED	c_3	Çalışma oranı ED	c_3	Çalışma oranı ED	c_3
$\leq 16 \%$	1,25	$25 \% < ED \leq 40 \%$	1,0	$> 63 \%$	0,8
$16 \% < ED \leq 25 \%$	1,12	$40 \% < ED \leq 63 \%$	0,9		

Çizelge A.6 : Tel halat çapı hesabındaki c katsayıları [mm / N].

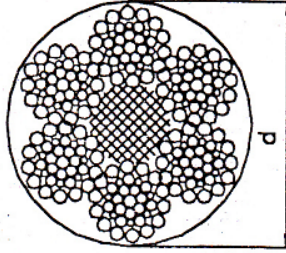
FEM Grubu	Normal kullanımlar için								Tehlikeli kullanımlar için					
	Dönmeyen halat					Dönebilen halat			Dönmeyen halat			Dönebilen halat		
	Halat kopma mukavemeti (N/mm ²)								Halat kopma mukavemeti (N/mm ²)					
	1570	1770	1960	2160	2450	1570	1770	1960	1570	1770	1960	1570	1770	1960
FEM 1Em		0.067	0.063	0.060	0.056		0.071	0.067						
FEM 1Dm		0.071	0.067	0.063	0.060		0.075	0.071						
FEM 1Cm		0.075	0.071	0.067	0.067		0.080	0.075						
FEM 1Bm	0.085	0.080	0.075			0.090	0.085	0.080						
FEM 1Am	0.090	0.085	0.085			0.095	0.095	0.090		0.095				0.106
FEM 2m	0.095	0.095	0.095				0.106	0.106		0.106				0.118
FEM 3m		0.106					0.118	0.118		0.118				
FEM 4m		0.118					0.132	0.132		0.132				
FEM 5m		0.132					0.150	0.150		0.150				

Çizelge A.7 : Warrington – seale tipi halatlar.

6 x 36 WARRINGTON - SEALE = 6 [1+7 (7+7)+14]

ÖRNEK :

Anma mukavemeti = 1570 N /mm² (160 daN / mm²)
ve halat anma çapı, d = 20 mm olan çıplak telli (ÇT),
lif özlü (LÖ), çapraz sağ sarımlı (s / Z),
6 x 36 Warrington -seale halatın gösterilişi
(TS ve DIN göre) :



TS → Halat 20 TS 1918 / 10 - LÖ ÇT 1570 s/Z
DIN → Seil 20 DIN 3064 - FE -bk 1570 sZ

Halat çapı d	Birim ağırlığı G(kg/m)	Teorik kopma kuvveti				Minimum kopma kuvveti			
		1570 N/mm ² 160 daN/mm ²		1770 N/mm ² 180 daN/mm ²		1570 N/mm ² 160 daN/mm ²		1770 N/mm ² 180 daN/mm ²	
		kN	daN	kN	daN	kN	daN	kN	daN
16	0,97	158	16100	178	18100	133	13500	149	15200
18	1,23	200	20400	225	22900	168	17100	189	19200
20	1,52	247	25100	278	28300	203	21100	234	23800
22	1,84	298	30400	336	34200	250	25500	282	28700
24	2,19	355	36200	400	40700	298	30400	336	34200
26	2,57	417	42500	470	47800	340	35700	395	40100
28	2,98	483	49300	545	55400	405	41400	458	46600
32	3,89	631	64500	712	72400	530	54000	598	60800
36	4,93	799	81400	901	91600	670	68400	757	77000
40	6,08	986	101000	1110	113000	828	84400	934	95000
44	7,36	1190	122000	1350	137000	1000	102000	1130	115000
48	8,76	1420	145000	1600	163000	1190	122000	1350	137000
52	10,3	1670	170000	1880	191000	1400	143000	15800	161000
56	11,9	1930	197000	2180	222000	1620	166000	1830	186000

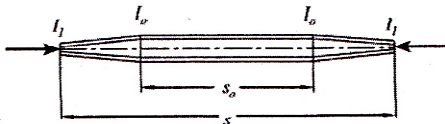
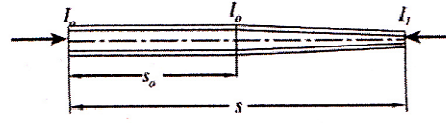
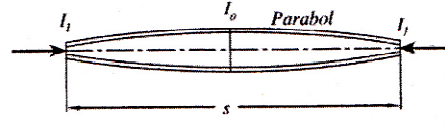
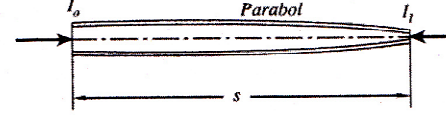
Çizelge A.8 : Halat tambur ve makara çapları için H_1 katsayıları.

İşletme grubu	Halat Tamburları		Halat makaraları		Denk makaraları	
	Dönmeyen halat	Dönebilen halat	Dönmeyen halat	Dönebilen halat	Dönmeyen halat	Dönebilen halat
1E	10	11,2	11,2	12,5	10	12,5
1D	11,2	12,5	12,5	14	10	12,5
1C	12,5	14	14	16	12,5	14
1B	14	16	16	18	12,5	14
1A	16	18	18	20	14	16
2	18	20	20	22,4	14	16
3	20	22,4	22,4	25	16	18
4	22,4	25	25	28	16	18
5	25	28	28	31,5	18	20

Çizelge A.9 : Toplam eğilme sayılarına göre H_2 katsayı değerleri.

W	≤ 5	6 ila 9	≥ 10
H_2	1	1,12	1,25

Çizelge A.10 : Atalet momentleri değişken çubukları için c katsayıları.

a) $I_1 = \nu^2 \cdot I_0$  $s_0 \leq 0,5 \cdot s$ ve $0,1 \leq \nu \leq 1$ için $c = (0,17 + 0,33 \cdot \nu + 0,5 \cdot \sqrt{\nu}) + \frac{s_0}{s} \cdot (0,62 + \sqrt{\nu} - 1,62 \cdot \nu)$	b) $I_1 = \nu^2 \cdot I_0$  $s_0 \leq 0,5 \cdot s$ ve $0,1 \leq \nu \leq 1$ için $c = (0,08 + 0,92 \cdot \nu) + \left(\frac{s_0}{s}\right)^2 \cdot (0,32 + 4 \cdot \sqrt{\nu} - 4,32 \cdot \nu)$
c) $I_1 = \nu^2 \cdot I_0$  $0,1 \leq \nu \leq 1$ için $c = 0,48 + 0,02 \cdot \nu + 0,5 \cdot \sqrt{\nu}$	d) $I_1 = \nu^2 \cdot I_0$  $0,1 \leq \nu \leq 1$ için $c = 0,18 + 0,32 \cdot \nu + 0,5 \cdot \sqrt{\nu}$

Çizelge A.11 : Narinliğe göre St52 plakalar ve profiller için ω katsayıları.

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11
30	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18
40	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27
50	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40
60	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53	1,54	1,56
70	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,74	1,77
80	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,95	1,98	2,01
90	2,01	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	2,33	2,38	2,43	2,48
100	2,53	2,58	2,64	2,69	2,74	2,79	2,85	2,90	2,95	3,01
110	3,06	3,12	3,18	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59
120	3,65	3,71	3,77	3,83	3,89	3,96	4,02	4,09	4,15	4,22
130	4,28	4,35	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69	4,75	4,82	4,89
140	4,96	5,04	5,11	5,18	5,25	5,33	5,40	5,47	5,55	5,62
150	5,70	5,78	5,85	5,93	6,01	6,09	6,16	6,24	6,32	6,40
160	6,48	6,57	6,65	6,73	6,81	6,90	6,98	7,06	7,15	7,23
170	7,32	7,41	7,49	7,58	7,67	7,76	7,85	7,94	8,03	8,12
180	8,21	8,30	8,39	8,48	8,58	8,67	8,76	8,86	8,95	9,05
190	9,14	9,24	9,34	9,44	9,53	9,63	9,73	9,83	9,93	10,03
200	10,13	10,23	10,34	10,44	10,54	10,65	10,75	10,85	10,96	11,06
210	11,17	11,28	11,38	11,49	11,60	11,71	11,82	11,93	12,04	12,15
220	12,26	12,37	12,48	12,60	12,71	12,82	12,94	13,05	13,17	13,28
230	13,40	13,52	13,63	13,75	13,87	13,99	14,11	14,23	14,35	14,47
240	14,59	14,71	14,83	14,96	15,08	15,20	15,33	15,45	15,58	15,71
250	15,83									



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: **Metin YILDIRIM**
Doğum Yeri ve Tarihi: **K.MARAŞ/Elbistan 05.09.1984**
Adres: **İcadiye Mh. İmam Galip Sk. No:26/3 Üsküdar/İST**
Lisans Üniversite: **Marmara Üniversitesi**