

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139858

**GTD MODEL 4×4 ASKERİ ARACIN ÖN VE ARKA
DİFERANSİYEL MEKANİZMASININ SONLU
ELEMENLAR METODU İLE GERİLME ANALİZLERİ VE
ÖMÜR HESAPLARI**

139858

Mak. Müh. Şakir EREN

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 11 Temmuz 2003
Tez Danışmanı : Prof. Necati TAHRALI (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)
: Doç. Dr. İsmail YÜKSEK (YTÜ)

(Handwritten signatures and initials)

İSTANBUL, 2003

**Y.C. YÜKSEK LİSANS TEZİ KURULU
ONAYI**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	16
1.1 Sonlu Elemanlar Metodu	17
1.1.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları	18
1.1.2 Sonlu Elemanlar Analizinin Tarihi	18
1.1.3 Sonlu Elemanlar Analizi Kavramına Basit Bir Yaklaşım	19
1.1.4 Sonlu Eleman Çözüm Metodu.....	23
1.1.5 İki Yay Modeli.....	23
2. ARKA KOVAN İÇİN HESAPLAMALAR.....	26
2.1 I. Vites 4×2 Durumu	26
2.2 II. Vites 4×2 Durumu.....	32
2.3 III. Vites 4×2 Durumu	34
2.4 IV. Vites 4×2 Durumu	36
2.5 V. Vites 4×2 Durumu.....	38
2.6 I. Vites 4×4 Durumu	40
2.7 II. Vites 4×4 Durumu.....	42
2.8 III. Vites 4×4 Durumu	44
2.9 Ömür Hesapları.....	46
2.9.1 I. Vites 4×2 Durumu	46
2.9.2 II. Vites 4×2 Durumu.....	47
2.9.3 III. Vites 4×2 Durumu	47
2.9.4 IV. Vites 4×2 Durumu	48
2.9.5 V. Vites 4×2 Durumu.....	48
2.9.6 I. Vites 4×4 Durumu	49
2.9.7 II. Vites 4×4 Durumu.....	49
2.9.8 III. Vites 4×4 Durumu	50
2.10 A Bölgesi için Ömür Hesapları.....	53
2.11 B Bölgesi için Ömür Hesapları.....	54
2.12 C Bölgesi için Ömür Hesapları.....	55
2.13 D Bölgesi için Ömür Hesapları.....	55
3. ARKA AYNA DIŞLI İÇİN ÖMÜR HESABI.....	57

4.	ARKA MAHRUTİ DİŞLİ İÇİN ÖMÜR HESABI.....	59
5.	ÖN KOVAN İÇİN HESAPLAMALAR.....	62
5.1	I.Vites 4×4 Durumu	63
5.2	II.Vites 4×4 Durumu.....	67
5.3	III.Vites 4×4 Durumu	69
5.4	Ömür Hesapları.....	71
5.4.1	I. Vites 4×4 Durumu	71
5.4.2	II. Vites 4×4 Durumu.....	72
5.4.3	III. Vites 4×4 Durumu	72
5.5	A Bölgesi için	73
5.6	B Bölgesi için.....	74
5.7	C Bölgesi için.....	74
5.8	D Bölgesi için	75
6.	ÖN KÖPRÜ AYNA DİŞLİSİ İÇİN HESAPLAMALAR	76
7.	ÖN KÖPRÜ MAHRUTİ DİŞLİSİ İÇİN HESAPLAMALAR.....	79
8.	RULMAN ÖMRÜ HESAPLARI	82
8.1	Katalog Değerine Göre Ömür Hesabı.....	82
8.1.1	Arka Köprü Mahruti İç Rulmanı	82
8.1.1.1	I. Vites 4×2 Durumu	83
8.1.1.2	II. Vites 4×2 Durumu.....	84
8.1.1.3	III. Vites 4×2 Durumu	84
8.1.1.4	IV. Vites 4×2 Durumu	85
8.1.1.5	V. Vites 4×2 Durumu.....	85
8.1.1.6	I. Vites 4×4 Durumu	86
8.1.1.7	II. Vites 4×4 Durumu.....	86
8.1.1.8	III. Vites 4×4 Durumu	87
8.1.2	Arka Köprü Mahruti Dış Rulmanı	87
8.1.2.1	I. Vites 4×2 Durumu	88
8.1.2.2	II. Vites 4×2 Durumu.....	88
8.1.2.3	III. Vites 4×2 Durumu	89
8.1.2.4	IV. Vites 4×2 Durumu	89
8.1.2.5	V. Vites 4×2 Durumu.....	90
8.1.2.6	I. Vites 4×4 Durumu	90
8.1.2.7	II. Vites 4×4 Durumu.....	91
8.1.2.8	III. Vites 4×4 Durumu	91
8.1.3	Ön Köprü Mahruti İç Rulmanı.....	92
8.1.3.1	I. Vites 4×4 Durumu	93
8.1.3.2	II. Vites 4×4 Durumu.....	93
8.1.3.3	III. Vites 4×4 Durumu	94
8.1.4	Ön Köprü Mahruti Dış Rulmanı	94
8.1.4.1	I. Vites 4×4 Durumu	95
8.1.4.2	II. Vites 4×4 Durumu.....	95
8.1.4.3	III. Vites 4×4 Durumu	96
8.1.5	Arka Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı	97
8.1.5.1	A Yatağı için.....	97

8.1.5.1.1	I. Vites 4×2 Durumu	97
8.1.5.1.2	II. Vites 4×2 Durumu.....	98
8.1.5.1.3	III. Vites 4×2 Durumu	98
8.1.5.1.4	IV. Vites 4×2 Durumu	99
8.1.5.1.5	V. Vites 4×2 Durumu.....	99
8.1.5.1.6	I. Vites 4×4 Durumu	100
8.1.5.1.7	II. Vites 4×4 Durumu.....	100
8.1.5.1.8	III. Vites 4×4 Durumu	101
8.1.5.2	B Yatağı için	102
8.1.5.2.1	I. Vites 4×2 Durumu	102
8.1.5.2.2	II. Vites 4×2 Durumu.....	103
8.1.5.2.3	III. Vites 4×2 Durumu	103
8.1.5.2.4	IV. Vites 4×2 Durumu	103
8.1.5.2.5	V. Vites 4×2 Durumu.....	104
8.1.5.2.6	I. Vites 4×4 Durumu	105
8.1.5.2.7	II. Vites 4×4 Durumu.....	105
8.1.5.2.8	III. Vites 4×4 Durumu	106
8.1.6	Ön Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı	107
8.1.6.1	A Yatağı için	107
8.1.6.1.1	I. Vites 4×4 Durumu	107
8.1.6.1.2	II. Vites 4×4 Durumu.....	107
8.1.6.1.3	III. Vites 4×4 Durumu	108
8.1.6.2	B Yatağı için	109
8.1.6.2.1	I. Vites 4×4 Durumu	109
8.1.6.2.2	II. Vites 4×4 Durumu.....	109
8.1.6.2.3	III. Vites 4×4 Durumu	110
8.2	Gerçek Ömür Hesabı	111
8.2.1	Arka Köprü Mahruti İç Rulmanı	111
8.2.2	Arka Köprü Mahruti Dış Rulmanı	113
8.2.3	Ön Köprü Mahruti İç Rulmanı.....	114
8.2.4	Ön Köprü Mahruti Dış Rulmanı	116
8.2.5	Arka Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı	117
8.2.5.1	A Yatağı için	117
8.2.5.2	B Yatağı için	119
8.2.6	Ön Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı	120
8.2.6.1	A Yatağı için	120
8.2.6.2	B Yatağı için	122
9.	ARKA KÖPRÜ AKS VE İSTAVROZ DIŞLİSİ İÇİN ÖMÜR HESABI	123
9.1	Arka Köprü Aks Dişlisi için Ömür Hesabı	124
9.1.1	I . Vites 4×2 Durumu	124
9.1.2	II . Vites 4×2 Durumu.....	124
9.1.3	III . Vites 4×2 Durumu	125
9.1.4	IV. Vites 4×2 Durumu	125
9.1.5	V. Vites 4×2 Durumu.....	126
9.1.6	I. Vites 4×4 Durumu	126
9.1.7	II. Vites 4×4 Durumu.....	127
9.1.8	III. Vites 4×4 Durumu	127
9.2	Arka Köprü İstavroz Dişlisi için Ömür Hesabı.....	130
9.2.1	I . Vites 4×2 Durumu	130

9.2.2	II . Vites 4×2 Durumu.....	130
9.2.3	III . Vites 4×2 Durumu	131
9.2.4	IV . Vites 4×2 Durumu	131
9.2.5	V . Vites 4×2 Durumu.....	131
9.2.6	I . Vites 4×4 Durumu	131
9.2.7	II . Vites 4×4 Durumu.....	132
9.2.8	III . Vites 4×4 Durumu	132
10.	ÖN KÖPRÜ AKS VE İSTAVROZ DİŞLİSİ İÇİN ÖMÜR HESABI	135
10.1	Ön Köprü Aks Dişlisi Ömür Hesabı	135
10.1.1	I . Vites 4×4 Durumu	136
10.1.2	II . Vites 4×4 Durumu.....	136
10.1.3	III . Vites 4×4 Durumu	137
10.2	Ön Köprü İstavroz Dişlisi Ömür Hesabı.....	138
10.2.1	I . Vites 4×4	138
10.2.2	II . Vites 4×4	139
10.2.3	III . Vites 4×4.....	139
11	SONUÇLAR.....	141
KAYNAKLAR		142
EKLER.....		143
Ek 1	Arka Kovan Modeli	144
Ek 2	Arka Kovan Ağ Yapısı	145
Ek 3	1. Durum Yüklemeler	146
Ek 4	2. Durum Yüklemeler	147
Ek 5	3. Durum Yüklemeler	148
Ek 5	1. Vites 4×2 1. Durum	149
Ek 6	1. Vites 4×2 1. Durum 2. Görünüş.....	150
Ek 7	1. Vites 4×4 1. Durum	151
Ek 8	1. Vites 4×4 1. Durum 2. Görünüş.....	152
Ek 9	1. Vites 4×2 2. Durum	153
Ek 10	1. Vites 4×4 2. Durum 2. Görünüş.....	154
Ek 11	1. Vites 4×4 3. Durum	155
Ek 12	1. Vites 4×4 3. Durum 2. Görünüş.....	156
Ek 13	Ön Kovan Modeli	157
Ek 14	Ön Kovan 1. Vites 4×4 1. Durum.....	158
Ek 15	Ön Kovan 1. Vites 4×4 1. Durum 2. Görünüş	159
Ek 16	Ön Kovan 1. Vites 4×4 2. Durum.....	160
Ek 17	Ön Kovan 1. Vites 4×4 2. Durum 2. Görünüş	161
Ek 18	Ön Kovan 1. Vites 4×4 3. Durum.....	162
Ek 18	Ön Kovan 1. Vites 4×4 2. Durum 2. Görünüş	163
Ek 19	Arka Köprü Mahruti Dişli Modeli	164
Ek 20	Arka Köprü Mahruti Dişli 1. Vites 4×2 Durumu.....	165
Ek 21	Arka Köprü Mahruti Dişli 1. Vites 4×4 Durumu.....	166
Ek 22	Ön Köprü Mahruti Dişli Modeli	167
Ek 23	Ön Köprü Mahruti Dişli 1. Vites 4×4 Durumu	168
Ek 24	Ön Köprü Mahruti Dişli 2. Vites 4×4 Durumu	169

Ek 25	Arka Köprü Ayna Dişli Modeli	170
Ek 26	Arka Köprü Ayna 3. Vites 4×2 Durumu	171
Ek 27	Arka Köprü Ayna 1. Vites 4×4 Durumu	172
Ek 28	Ön Köprü Ayna Dişli Modeli	173
Ek 29	Ön Köprü Ayna Dişli 1. Vites 4×4 Durumu	174
Ek 30	Ön Köprü Ayna Dişli 2. Vites 4×4 Durumu	175
Ek 31	Arka Köprü Aks Dişlisi Modeli.....	176
Ek 32	Arka Köprü Aks Dişlisi 1. Vites 4×4 Durumu	177
Ek 33	Arka Köprü İstavroz Dişlisi Modeli	178
Ek 34	Arka Köprü İstavroz Dişlisi 1. Vites 4×4 Durumu	179
Ek 35	Ön Köprü Aks Dişlisi Modeli.....	180
Ek 36	Ön Köprü Aks Dişlisi 1. Vites 4×4 Durumu	181
Ek 37	Ön Köprü İstavroz Dişlisi Modeli	182
Ek 38	Ön Köprü İstavroz Dişlisi Modeli 1. Vites 4×4 Durumu	183
ÖZGEÇMİŞ		184



SİMGE LİSTESİ

R	Dış kuvvet
K	Eleman katılığı
U	Yer değiştirme
k	Uzama katsayısı
x	Uzama miktarı
α_{n0}	Normal kavrama açısı
σ_{Ak}	Akma sınırı
σ_K	Kopma mukavemeti
σ_D	Tam değişken zorlanmada sürekli mukavemet değeri
τ_D	Tam değişken zorlanmada burulma için sürekli mukavemet değeri
ε	Kavrama oranı
$N_{eş}$	Eşdeğer yük tekrarı
$L_{eş}$	Eşdeğer yol ömrü
d_t	Tekerlek çapı
n	Devir sayısı
$P_{eş}$	Dinamik eşdeğer radyal yük
X	Radyal faktör
Y	Eksenel faktör
C_{90}	Dinamik yük sayısı
b	Dış genişliği
C	Çalışma oranı
C_0	Aracın arazide (4×4 konumunda) çalışma oranı
d_m	Ortalama bölüm dairesi çapı (konik dişli, spiral konik dişli)
d_0	Bölüm dairesi çapı
F_u, F_a	Eksenel kuvvet
F_r	Radyal kuvvet
F_t	Teğetsel kuvvet
i	Çevrim oranı
m	Modül
M_b	Giriş momenti
m_{mn}	Spiral konik dişli için ortalama normal modül
Z	Diş sayısı
σ_g	Gerilme genliği
$\sigma_{eş}$	Eşdeğer gerilme
η	Toplam verim
γ	Koni yarı açısı
β_0	Eğim açısı

KISALTMA LİSTESİ

GTD	Geliştirilmiş Türk Modeli Dizel
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Sonlu Elemanlar Metodu Modeli.....	17
Şekil 1.2	Sonlu Elemanlar Metodu Uygulanmış Modeller	18
Şekil 1.3	Daire ve Üçgen Modeli.....	20
Şekil 1.4	Bölünmüş Daire Modeli.....	20
Şekil 1.5	Bölünmüş Daire Modeli2.....	20
Şekil 1.6	Yay Modeli	21
Şekil 1.7	Sonlu Elemanlar Metodunu Oluşturan Denklemlerin Analizi.....	22
Şekil 1.8	Basit İki Yaylı Model	24
Şekil 1.9	Basit Tek Yaylı Model.....	24
Şekil 2.1	Arka kovan ayna dişli 1. durum modeli.....	28
Şekil 2.2	Arka kovan mahruti dişli 1. durum modeli.....	29
Şekil 2.3	Arka kovan ayna dişli 2. durum modeli.....	29
Şekil 2.4	Arka kovan mahruti dişli 2. durum modeli.....	30
Şekil 2.5	Arka kovan ayna dişli 3. durum modeli.....	31
Şekil 2.6	Arka kovan mahruti dişli 3. durum modeli.....	32
Şekil 2.7	Arka kovan için Wöhler Diyagramı.....	51
Şekil 2.8	Eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi	52
Şekil 3.1	Arka ayna dişli için Wöhler Diyagramı.....	56
Şekil 3.2	Arka ayna dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi	58
Şekil 4.1	Arka mahruti dişli için Wöhler Diyagramı	59
Şekil 4.2	Arka mahruti dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi	60
Şekil 5.1	Ön kovan ayna dişli 1. durum modeli.....	62
Şekil 5.2	Ön kovan mahruti dişli 1. durum modeli.....	63
Şekil 5.3	Ön kovan ayna dişli 2. durum modeli.....	64
Şekil 5.4	Ön kovan mahruti dişli 2. durum modeli.....	65
Şekil 5.5	Ön kovan ayna dişli 3. durum modeli.....	66
Şekil 5.6	Ön kovan mahruti dişli 3. durum modeli.....	67
Şekil 6.1	Ön köprü ayna dişlisi için Wöhler diyagramı	77
Şekil 6.2	Ön Köprü ayna dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....	78
Şekil 7.1	Ön köprü mahruti dişli için Wöhler diyagramı.....	80
Şekil 7.2	Ön köprü mahruti dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi	81
Şekil 9.1	Arka köprü aks dişlisi için Wöhler Diyagramı	128
Şekil 9.2	Arka köprü aks dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi.....	129
Şekil 9.3	Arka köprü istavroz dişlisi için Wöhler diyagramı.....	133
Şekil 9.4	Arka köprü istavroz dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi	134

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Aracın Arazide(%35), Şehir İçinde(%65) ve Genel Kullanım Oranları.....	51
Çizelge 8.1	Motor ortalama tork değerleri (N.m)	83



ÖNSÖZ

1013. Ordu Donatım Ana Tamir Fabrikasında üretilen GTD model 4×4 (dört tekerleği tahrikli) askeri aracın ön ve arka diferansiyel mekanizmasının elamanlarının üç boyutlu olarak çizimi ve ömürlerinin sonlu elemanlar analizi kullanılarak bulunması üzerine yapılan bu çalışma on bir bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, sonlu elemanlar metodu hakkında bilgi verilmiştir. Sonlu elemanlar metodunun avantajlarından, tarihinden ve kullanılan denklem sistemlerinin mantığı konusunda bilgi verilmiştir. Diğer bölümlerde ise sırasıyla arka kovan, arka köprü ayna ve mahrutu dişli, ön kovan, ön köprü ayna ve mahrutu dişli, diferansiyel sisteminde kullanılan rulmanlar, arka köprü aks ve istavroz dişli, ön köprü aks ve istavroz dişlileri için ömür hesapları yapılmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

Hesaplamalarda tüm diferansiyel sistemi elemanları için bütün vites durumları için kuvvet analizleri ve ömür hesapları yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan üç boyutlu çizimler eklerde verilmiştir.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Necati TAHRALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezin içeriğinde yer alan diferansiyel elemanlarının üç boyutlu olarak çizilmesi ve analizi için gerekli olan SolidWorks ve COSMOS/Works programlarının öğrenilmesi konusunda yardımlarından dolayı değerli hocam Öğr. Gör. Dr. Tamer Kepeçeler ve aynı zamanda araştırmalarım yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Mak. Y. Müh. Gökhan SAATÇI'ye teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimime başlamam konusunda beni teşvik eden ve çalışmalarım süresince desteğini eksik etmeyen sevgili annem Müyesser EREN'e, sevgili ablalarım Banu ve Özlem EREN'e ve sevgili arkadaşım Endüstri Müh. C. Özge SÜALP'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Tekrarlı yük altında çalışan diferansiyel mekanizmasındaki elemanlarda oluşacak maksimum gerilmelerin, bu gerilmelerin olduğu bölgelerin bilinmesi elemanların ömür değerlerinin hesaplanması ve bu elemanlarda hasarların ve kırılmaların yaşanmaması için çok önemlidir. Bu şekildeki yüklenmelere maruz kalan bu elemanların bire bir boyutta çizilmiş modellerinin sonlu elemanlar metodu ile analizi; bu elemanlar üzerinde değişik vites durumlarında oluşacak maksimum gerilmelerin değerleri ve olduğu bölgeler konusunda bilgi vermektedir.

Bu çalışmada 1013. Ordu Donatım Ana Tamir Fabrika Müdürlüğünde üretimi yapılan GTD model 4×4 askeri aracın diferansiyel mekanizmasındaki elemanların üç boyutlu resimleri çizilip, ömür değerlerinin sonlu elemanlar analizi yardımıyla hesaplanarak, elemanların ömür değerleri konusunda bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

İlk olarak diferansiyel mekanizmasının bütün elemanlarının bire bir ölçülerdeki üç boyutlu modelleri SolidWorks programı kullanılarak çizilmiştir. Daha sonra her bir vites durumu için bu elemanlara gelen yükler hesaplanmıştır. Bu yüklerin ve gerekli sınır şartların verilmesi ile COSMOS/Works programı kullanılarak sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Ömür hesaplarında kullanılan yöntemlerden diferansiyel mekanizmasına en uygun olanı seçilerek, analizler sonucu elde edilen kritik bölgelerdeki eşdeğer gerilme değerleri kullanılarak ömür hesapları yapılmıştır.

Ayrıca diferansiyel mekanizmasında kullanılan konik makaralı rulmanların Timken firmasının açıklamış olduğu katalog değerlerine ve her bir vites durumu için hesaplanan yüklemelere göre ömür hesapları yapılmıştır.

Elde edilen analiz sonuçları yorumlanarak diferansiyel mekanizması elemanlarında yüklemeler sonucu oluşacak kritik bölgeler konusunda bilgi edinilmiştir. Kullanılan rulmanların ömür değerleri ve diğer elemanların ömür değerleri yorumlanarak o elemana ait bulundurulması gereken stok miktarları konusunda fikir edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Analizi, Diferansiyel mekanizması elemanları, Ömür, Modelleme

ABSTRACT

Consideration of maximum stresses and critical regions that will take form under repeated loading differential mechanism is a significant subject for calculating the service life of the differential mechanism elements and in prevention of fatigue problems. The finite element analysis of real 3D models of this elements that are exposed to these loads give information about the maximum stresses values and the regions that these stresses are occurring.

In this study the 3D models of the four Wheel drive- GTD model-Military vehicle is drawn, and the service life of the elements are calculated by the help of finite element analysis method. So this study aimed to get information about the service life of the differential mechanism elements.

First, the 3D models of the all differential elements were drawn in real scale by using the SolidWorks 3D modelling program. Then for each speed the loads that are occurred on these elements were calculated. These loads and boundary conditions were given for calculation of maximum stresses in critical regions by using the finite element analysis program COSMOS/Works. The convenient method that is used for calculation of service life was chosen to calculate the service life. The equivalent stresses that were found by finite element analysis were taken into account in calculation of service life of the elements.

Also the conical pulleyed ball bearings' service life that are used in differential mechanism were calculated according to the conical pulleyed ball bearings catalogue of Timken Company (manufacturer of these conical pulleyed ball bearings) and the loads were calculated for each speed.

Evaluating the results of the finite element analysis, the critical regions that will take form in differential mechanism elements are gained. Evaluating the service life of the conical pulleyed ball bearings and the other elements give ideas about the stock level of differential mechanism elements.

Keywords: Finite element analysis, Differential mechanism elements, Service life, Modelling

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, 1013. Ordu Donatım Ana Tamir Fabrika Müdürlüğünde üretimi yapılan GTD model 4×4 askeri aracın ön ve arka diferansiyel mekanizmasının sonlu elemanlar metodu (FEM) ile gerilme analizleri ve ömür hesapları yapılmıştır. Hesaplanan ömürlere göre, hangi elemanın ne zaman hasar uğrayabileceği konusunda karar verilmesi amaçlanmıştır.

Daha önce GTD model 4×4 dizel motorlu aracın bazı diferansiyel elemanlarının ömür hesapları lisans ve yüksek lisans seviyesinde yapılmıştır. Bu çalışmada önceki çalışmalardan ve hesaplardan farklı olarak ön ve arka köprü statik elemanlar, hareketli elemanlar yani dişliler ve istavroz kutusu elemanları üç boyutlu çizim programı SolidWorks ile üç boyutlu olarak çizilmiş ve bir analiz programı olan COSMOS/Works kullanılarak bu elemanların sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır.

Araçta kullanılan motorun her viteste minimum ve maksimum devirler arasında verdiği momentlerin ağırlıklı ortalamaları, aracın testi sonucu elde edilen veriler, ayrıca aracın arazide ve şehir içinde her bir viteste kalma süreleri ve oranları daha önce yapılan ve kaynaklarda gösterilen yüksek lisans tezinden alınmıştır.

İlk olarak, aracın arka ve ön köprü kovanlarının üç boyutlu resmi çizilmiştir. Daha önce yapılan aracın test sonuçlarından ve yüksek lisans tezlerinden yararlanılarak aracın değişik vites durumlarındaki tork değerleri belirlenmiştir. Bu momentlerin dişliler üzerinde doğurduğu kuvvetler ve bu kuvvetlerin kovan yatakları üzerindeki tepkileri hesaplanmıştır. Daha sonra üç boyutlu olarak bire bir ölçülerde çizilmiş ön ve arka kovan modelleri üzerine çeşitli vites durumlarında belirlenmiş kuvvet değerleri uygulanarak kovan modellerinin sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Burada diferansiyel sistemimin elemanları değişik viteslerde çalıştıklarından dolayı her bir vites durumu için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda kovanın kritik bölgelerindeki maksimum gerilme değerleri tespit edilmiştir. Her bir vites durumu için elde ettiğimiz gerilme değerlerinden yararlanarak eşdeğer gerilme ve eşdeğer ömrü bulmak için en çok kullanılan yöntem olan Palmgren-Miner metodundan yararlanılmıştır. Ömür değerleri hesaplanırken her bir elemanın tam değişken yüklemeye eğilme dinamik zorlanması altında çalıştığı göz önüne alınmıştır. Aracın ön ve arka köprü ayna ve mahrutu resimleride üç boyutlu olarak çizilmiş ve sonlu elemanlar analizi ile kritik

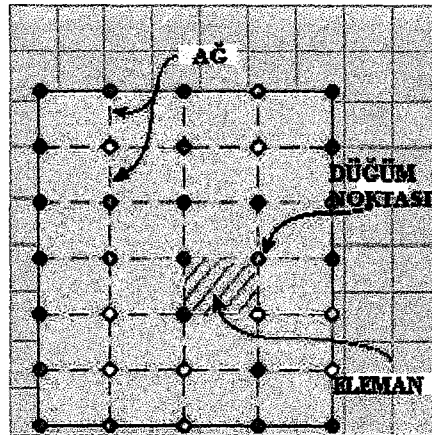
bölgelerde oluşan maksimum gerilmeler tespit edilerek bu elemanların ömür değerleri bulunmuştur.

Diferansiyel mekanizmasında kullanılan rulmanların ömür hesapları da yine her bir vites durumu için tek tek hesaplanmıştır. Rulman hesabında iki değişik metot kullanılmıştır. Katalog değerine göre ömür hesabında kullanılan rulmanların üreticisi olan Timken firmasının konik makaralı rulman kataloğundan yararlanılmıştır. Gerçek ömür hesabında ise rulmanların bulunduğu yataklara gelen yükler her bir vites durumu için tespit edilmiş ve eşdeğer gerilmeler bulunarak ömür hesapları yapılmıştır.

Ayrıca ön ve arka köprü istavroz kutusu resimleri çizilmiş ve sonlu elemanlar metodu ile analizleri yapılmıştır. Ömür hesapları da bu analizler sonucu elde edilen gerilmelerden yola çıkılarak yapılmıştır.

1.1 Sonlu Elemanlar Metodu

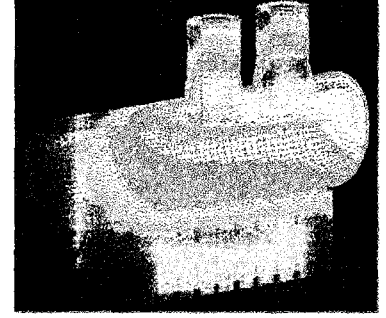
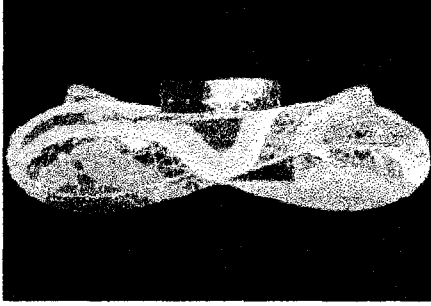
- Parçanın bütün ilgi alanı sonlu elemanlar adı verilen parçalar haline getirilir.
- Her bir eleman üzerinde yürütülen denklemin bir çözümü kullanılan elemana uygun teori esas alınarak verilmiştir. (kiriş, destek, ince kabuk teorisi, 2D veya 3D sürekli dizi gibi)
- Bu metot, özellikle birçok yapısal elmandan ve farklı malzemeden meydana gelen karmaşık yapılar için iyidir.



Şekil 1.1 Sonlu Elemanlar Metodu Modeli

1.1.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Avantajları

- Sonlu elemanlar metodu (FEM) makine, inşaat, havacılık, deniz ve diğer mühendislik disiplinleri arasında ortak olan parçalardaki gerilmeleri, uzamaları, ve yer değiştirmeleri hesaplamak için güçlü bir sayısal tekniktir



Şekil 1.2 Sonlu Elemanlar Metodu Uygulanmış Modeller

- Türbin, jeneratör, uçak, tünel, veya baraj dizaynında rastlanılan karmaşık problemlerin çözümü için analitik metotların uygulanabilir olmadığı yerlerde; sonlu elemanlar analizi bu gibi durumlara etkili, çok yönlü ve güvenilir bir yaklaşım sunar.
- Sonlu elemanlar analizinde kullanılan sağ duyulu yaklaşım geniş kapsamdaki karmaşık problemlerin bilgisayarlar yardımı ile çözülmesi için uygundur.
- Sonlu elemanlar analizi büyük bir sayıda eş zamanlı denklemlerin dijital bilgisayarlar tarafından kolayca çözülmesine yol göstermiştir. Diğer analitik metotlar daha karmaşık çözüm tekniklerine gereksinim duyabilir.
- Sonlu elemanlar analizi tasarımları optimize etmek, maliyetleri azaltmak, ve tasarım çevrim zamanını azaltmak için kullanılabilir.
- Sonlu elemanlar analizi parçaların fiziksel testi için olan ihtiyacı azaltmaktadır.

1.1.2 Sonlu Elemanlar Analizinin Tarihi

Sonlu elemanlar analizi nispeten kısa bir geçmişe sahiptir. Popularitesindeki büyüme bilgisayarlardaki ilerlemeyle aynı zamana rastlamaktadır ve sonlu elemanlar analizinin arkasındaki teori sadece 20. asrın ilk zamanlarına dayanmaktadır. Modern sonlu elemanlar analizine yol açan ilk çalışma 1906'da kesin araştırmacılar gerilim analizi için "kafes benzerliğini" kullandığı zaman başlamıştır. 1943'te Courant bir alanı çözümü basitleştirmek için üçgenlere bölmeyi önermişti ve probleme matematiksel bir bakış açısından yaklaşmıştır.

Çalışmasına mühendisler birbirinden etkilenmeden metodu geliştirene kadar büyük ölçüde ara vermişti. 1950'lerde matris yapısal analizler uçak ve inşaat yapılarının analizlerinde kullanıma girmişti. Yapıları tahmin eden giriş ağları, bir yapıyı simule eden matris denklemlerini meydana getirmek için kullanılmıştı ve ilk dijital bilgisayarlar mukayese edilecek olunursa küçük problemleri (100 serbestlik dereceli tarzında) çözmek için kullanılmıştı. Yer değiştirmelerin bilinmeyen olduğu yer değiştirme metodu da aynı zamanda 1950'lerde önerilmiş ve kullanılmıştı.

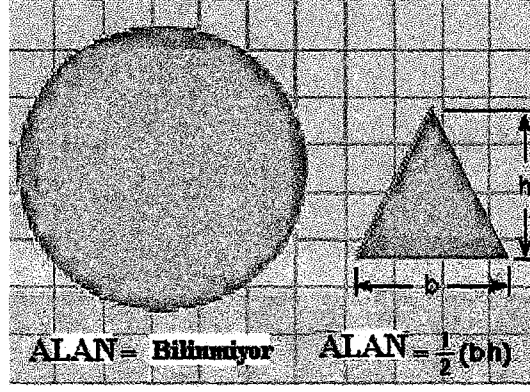
“Sonlu elemanlar” terminolojisi ilk olarak 1960'da Cough tarafından kullanılmıştı, ve yeni elemanlar geniş türdeki uygulamaları kapsamaları için hızla geliştirilmişti. Elemanlar ilk olarak aslında sezgi ile ve fiziksel tartışma ile geliştirilmişti fakat yavaş yavaş teorik matematik kurumu gelişti. Sonlu elemanlar analizi bir işlevselin mümkün olduğunca azaltılması ile değişik problemlerin çözülebilmesi metodu olarak görüldü.

Bilgisayar endüstrisindeki patlayıcı gelişmeler sonlu elemanlar analizlerinin gelişmesine büyük ölçüde yardım etti. Yüksek depolama kapasitesindeki daha hızlı bilgisayarlar daha büyük problemlerin yürütülmesine, fiziksel durumların daha doğru modellenmesine müsaade etti.

1970'ler boyunca sonlu elemanlar programları genellikle bir ana iskelet bilgisayara veya mini-süper bilgisayar üzerine bağlı oldu. 1980'lerde bilgisayarlardaki ilerlemeler büyük sonlu elemanlar programlarının kişisel bilgisayarlarda çalışmasını mümkün kıldı. Bugün 100.000 serbestlik derecenin üzerindeki problemler bir laptop bilgisayar tarafından çalıştırılmaktadır.

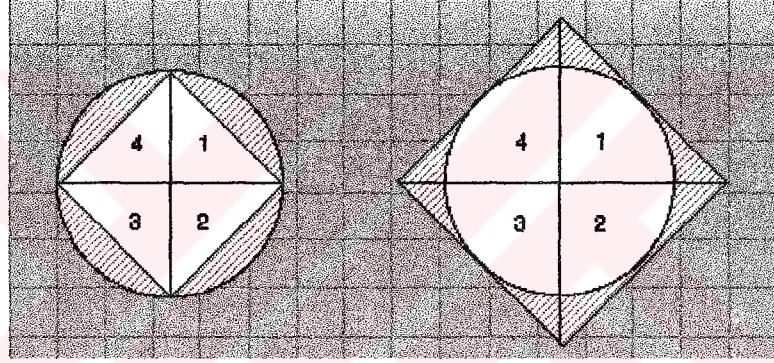
1.1.3 Sonlu Elemanlar Analizi Kavramına Basit Bir Yaklaşım

Geneldeki sonlu elemanların sağ duyulu temel kavramını ve özeldeki sonlu elemanları örneklendirmek için, bir dairenin alanının bulunmasını göz önünde tutalım. Farz edelim ki; dairenin alanının nasıl hesaplanacağını bilmiyoruz fakat üçgenin alan formülünü biliyoruz.



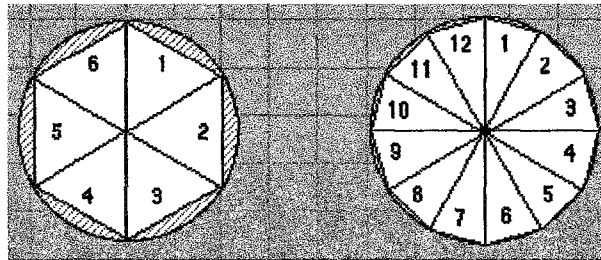
Şekil 1.3 Daire ve Üçgen Modeli

Üçgenin alanının hesaplanabilmesinden dolayı, aşağıda gösterildiği gibi daireyi iki farklı şekilde üçgenlere bölebiliriz.



Şekil 1.4 Bölünmüş Daire Modeli

Başlamak için, dört üçgen kullanılmıştır. Birinci şekilde, üçgenler dairenin bazı alanlarını hesaba katmadan dairenin içine çizilmiştir. Bu dairenin alanının gerçekten daha az tahmin edilmesine yol açar. İkinci şekilde daire dört üçgen tarafından şekillendirilmiş çokgen içerisinde kalmaktadır. Bu şekilde dairenin alanının fazla tahmin edilmesine yol açar.



Şekil 1.5 Bölünmüş Daire Modeli2

Eğer daireyi artan sayıda üçgen ile kaydetmeye devam edersek örneğin altı tane üçgen hata taralı alanla gösterildiği gibi azalır. Eğer üçgenlerin sayısını iki katına çıkarırsak dairenin alanını hemen hemen tam olarak hesaplayabiliriz.

Böylece dairenin tahmini alanını çözümü veya denklemi bilinen geometrik bir eleman yani üçgen kullanarak hesaplayabiliriz. Üçgen bilinmeyen alanların hesaplanmasında esas eleman olarak rol oynar. Böylece el kitabı tipi çözümü olmayan problemleri çözerken, bilinen bir çözümü olan temel elemanların kullanan bir yaklaşım kullanabiliriz.

Sonlu elemanlar analizi aynı esasa dayanır. Yapısı, davranışı çok iyi saptanan basit elemanlara tekrar bölünebildiği veya idealleştirilebildiği için, mühendislik problemlerini çözmek için güçlü bir sayısal tekniktir.

Çoğu sonlu eleman programı 'yer değiştirme metodunu' esas almaktadır. Yer değiştirme için çözülen bilinmeyen değişken aşağıdaki şekildedir:

$$R=K*U$$

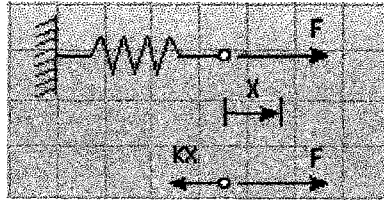
Burada:

R = dış kuvvet

K = eleman katılığı

U = yer değiştirme

Bu yaylar için Hooke Kanunu'nu ile benzerdir. $F=-k*x$

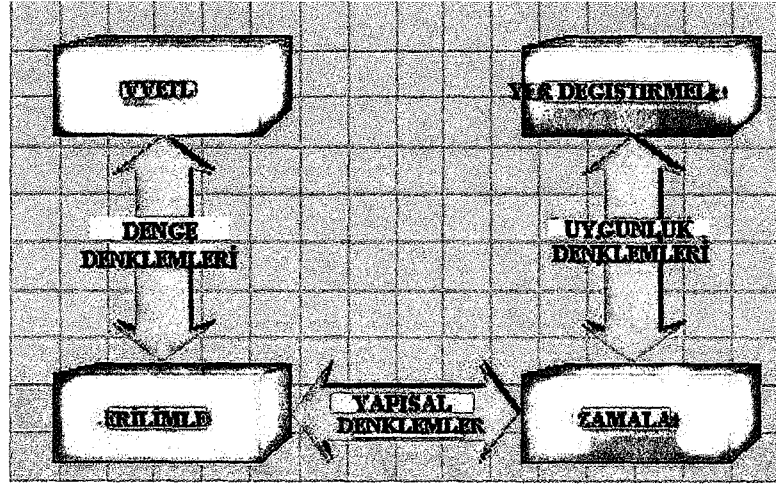


Şekil 1.6 Yay Modeli

hesaplanan yer değiştirmeler esas alınmış, uzamalar ve gerilmeler ayarlanmıştır.

Gereken denklemler uygun yapısal teoriden ve aşağıdaki denklemleri uygulayarak elde edilmiştir:

1. Gerilmeleri uygulanan kuvvetlere nakleden denge denklemleri
2. Uzamaları, yer değiştirmelere nakleden uygunluk denklemleri.
3. Gerilmeleri uzamalara nakleden yapısal denklemler.



Şekil 1.7 Sonlu Elemanlar Metodunu Oluşturan Denklemlerin Analizi

4. Denge, uygunluk ve yapısal ilişkiler yer değiştirme esaslı sonlu elemanlar analizi denklemlerini şekillendirmek için kullanılır. Büyük sayıdaki eş zamanlı denklem matris formuna sokulabilir:

$$[K] \cdot \{D\} = \{R\}$$

Burada:

$[K]$ = evrensel katılık matrisi

$\{D\}$ = yer değiştirme vektörü

$\{R\}$ = yük vektörü

Matris denklemi daha sonra yer değiştirme vektörü $\{D\}$ için çözülür. Denklemleri çözmek doğrudan kuvvetlerden yer değiştirmelere çıkmamıza müsaade eder. Daha sonra gerilimler ve uzamalar yer değiştirme sonuçlarından hesaplanır.

Sonlu elemanlar denge denklemlerinin çözümü $[K] \cdot \{D\} = \{R\}$ şeklindeki bir matris denkleminin çözümünü gerektirir.

Eş zamanlı lineer denklemlerden oluşan bir sistemi çözmek için her birinin kendi değerleri olan iki ana tip çözücü vardır. Yani direkt ve iteratif çözücüler.

Direkt çözücüler birçok sayıda sonlu eleman programı tarafından kullanılan Gauss eliminasyon tekniğini temel almıştır. Bu çözücüler güçlü, çok genel, fakat çok büyük problemler için yavaşlardır ve çalışmak için büyük miktarda disk boşluğuna gereksinmektedirler.

İteratif çözümler küçük disk depolama gerektirir ve aşırı derece hızlı olabilirler.

1.1.4 Sonlu Eleman Çözüm Metodu

Sonlu elemanlar metodunu kullanarak bir problemi çözmeye metodu aşağıdaki adımları içerir:

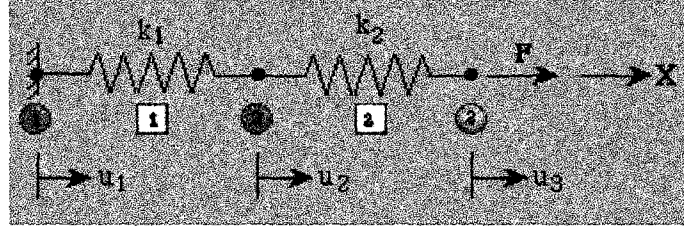
1. Problemi teşhis etmek, geometrik ve malzeme karakteristikleri, ve problemin uygun sonlu eleman yazılımı ile modellenebileceğine karar verilmesi.
2. Problem geometrisini CAD sistemi veya geometrik biçimlendirici kullanılarak yaratılması.
3. Malzeme özelliklerinin tayin edilmesi, sonlu eleman modeli üzerine sınır şartlarının yani sınırlandırmaların uygulanması, model üzerinde yüklemelerin tanımlanması.
4. Kullanıcı tarafından seçilen ağ elemanları ile ağ yapısının, düğümlerin ve ayarlama oluşturulması.
5. Tamamlanan sonlu eleman modelinin analiz için sunulması.
6. Sonuçları değerlendirmek ve yorumlamak.

Modelin analize sunulmasından önce yapılan işlemler bir ön işlemci kullanılarak yerine getirilir. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak modelin analiz edilmesi işlemci tarafından yapılır. Sonra post-processor(sonradan işlemci) analiz sonuçlarını kolay anlama, değerlendirme, ve yorumlama için kullanır.

1.1.5 İki Yay Modeli

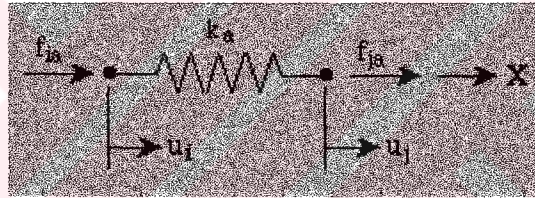
Sonlu eleman yöntemini örneklendirmek ve içerdiği matematik konusunda bilgi vermek amacıyla, hareketin sadece X eksenine doğrultusunda olduğunu farz ederek iki yaylı basit bir model örneği alacağız.

- Bu modeli çözmek için, her yay bir eleman olarak adlandırılır(kutularda numaralandırılmış) ve bitiş noktaları bununla birlikte bağlantı noktaları düğüm noktaları olarak adlandırılır.(daireler içinde numaralandırılmış)



Şekil 1.8 Basit İki Yaylı Model

- Üç düğüm noktasının yer değiştirmesi u_1 , u_2 ve u_3 için bu model çözülecektir.
- Üç düğüm noktasının X eksenindeki yer değiştirmelerinin hesaplanması için u_1 bir değişken olmasından dolayı her bir düğüm noktası bir serbestlik derecesine sahiptir.
- Sistem toplam üç serbestlik derecelidir.
- Sadece bir yay olduğunu düşünelim:



Şekil 1.9 Basit Tek Yaylı Model

- Eğer i ve j düğüm noktalarının hareketine izin verilirse, yayın sıkışması veya uzamasından dolayı yay üzerinde meydana gelen kuvvetler(sağ taraf artı yön olarak alınmıştır):

$$\begin{aligned} f_{ia} &= -k_a * u_i + k_a * u_j = k_a * (u_j - u_i) \\ f_{ja} &= k_a * u_i - k_a * u_j = k_a * (u_i - u_j) \end{aligned}$$

- Bu denklemler bir tek elaman içim matris formunda yazılırsa:

$$\begin{Bmatrix} f_{ia} \\ f_{ja} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_a & k_a \\ k_a & -k_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix}$$

$$\{f\} = [k] * \{u\}$$

f: kuvvet vektörü

k: katılık matrisi

u: yer değiştirme vektörü

- Daha sonra bu denklemleri her bir yay elemanı için yazarsak:

$$1.\text{yay için : } \begin{Bmatrix} f_{11} \\ f_{21} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 & k_1 \\ k_1 & -k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$$

$$2.\text{yay için: } \begin{Bmatrix} f_{22} \\ f_{32} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_2 & k_2 \\ k_2 & -k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}$$

- Eřitlikten düğüm noktasında kuvvetlerin toplamı sıfır olmalıdır. Genel olarak i düğüm noktasındaki diş kuvvetin F_i olduğunu kabul edersek:

$$F_1 + f_{11} = 0$$

$$F_2 + f_{21} + f_{22} = 0$$

$$F_3 + f_{32} = 0$$

- İki yayın matris formundaki denklemlerini yukarıdaki eşitlik denklemleri ile birleştirirsek aşağıdaki denklemleri elde ederiz:

$$-F_1 = -k_1 * u_1 + k_1 * u_2$$

$$-F_2 = k_1 * u_1 - k_1 * u_2 - k_2 * u_2 + k_2 * u_3$$

$$-F_3 = -k_2 * u_2 - k_2 * u_3$$

veya matris formunda:

$$\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & (k_1 + k_2) & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}$$

$$\{K\} = [D] * [R]$$

burada:

K: evrensel katılık matrisi

D: global yer değiştirme vektörü

R: global yük vektörü

**bireysel katılık matrisleri global katılık matrisi içinde görülebilirler.*

- Global katılık matrisi [K] köşegensel olarak simetriktir.

- Eğer matris denklemini, denklemin her iki tarafını da global katılık matrisinin tersiyle yani $[K]^{-1}$ ile çarparak çözecek olursak veya Gauss eliminasyon yöntemiyle çözersek çözüme ulaşamayız. Bunun nedeni katılık matrisinin tekil olmasıdır, yani bunun anlamı $[K]$ matrisinin determinantının sıfır olması demektir. Fiziksel olarak bunun anlamı kütle hiçbir nokta sabitlenmeden uzayda herhangi bir pozisyonda dengede olabilir demektir. böylece rijit kütle hareketine olanak sağlanmaktadır.
- Bununla birlikte eğer orijinal modelimize geri dönüp bakarsak sol taraf duvara sabitlenmiştir, o nedenle $u_1=0$. Aynı zamanda ikinci düğüm noktasındaki dış kuvvet de sıfırdır.
- $u_1=0$ olması katılık matrisinde ilk sütunun sıfırlanmasına müsaade eder. Bu işlemi yapmamız çözümü değiştirmez ve geriye iki bilinmeyenli üç denklemin kalmasını sağlar.
- Daha sonra son iki denklemini seçebiliriz ve $F_2=0$ olarak alırız. Yeni elde edilen denklem:

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ F \end{Bmatrix}$$

- Şimdi katılık matrisi büyük değildir. Bu demektir ki denklemleri matrisin tersini alarak ve Gauss eliminasyon yöntemiyle kolayca çözebiliriz.
- Açıkladığımız bu yay modeli sonlu elemanlar analizinin içerdiği temel kuralları içeren çok basit bir örnektir.

2. ARKA KOVAN İÇİN HESAPLAMALAR

Arka kovanın Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 144, Ek1' de gösterilmiştir.

Diferansiyel sisteminde kullanılan dişliler spiral konik dişlilerdir. Bu konik dişlilerin dişlerine etki eden kuvvetler teğetsel kuvvet F_u , radyal kuvvet F_r ve eksenel kuvvet F_a 'dır.

2.1 I. Vites 4×2 Durumu

$$M_{b11} = 769365 \text{ N.mm}$$

$$d_{m1} = 48.11 \text{ mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b11}}{d_{m1}} = \frac{2 * 769365}{48.11} = 31983.579N$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 31983.579N$$

Spiral Konik Dişliler için Eksenel Kuvvet Formülü:

$$F_a = F_u * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\sin \delta_{01}}{\cos \beta_m} \pm \tan \beta_m * \cos \delta_{01})N \quad (2.1)$$

Spiral Konik Dişliler için Radyal Kuvvet Formülü:

$$F_r = F_u * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\cos \delta_{01}}{\cos \beta_m} \mp \tan \beta_m * \sin \delta_{01})N \quad (2.2)$$

$$F_{u2} = F_{u1}; \quad F_{a2} = F_{r1}; \quad F_{r2} = F_{a1}$$

Burada tahrik eden dişli yani mahruti(pinyon dişli) sol el spiraldir. Motor mili araç ileri giderken daima saat ibreleri yönünde dönmektedir. Dolayısıyla mahruti dişlide saat ibreleri yönünde dönmektedir. Tahrik olunan dişli yani ayna dişli sağ el spiraldir ve saat ibrelerinin tersine dönmektedir. Böylece;

$$F_{a1} = F_{u1} * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\sin \delta_{01}}{\cos \beta_m} + \tan \beta_m * \cos \delta_{01})N \quad (2.3)$$

$$F_{a2} = F_{u2} * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\sin \delta_{01}}{\cos \beta_m} - \tan \beta_m * \cos \delta_{01})N \quad (2.4)$$

$$F_{r1} = F_{u1} * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\cos \delta_{01}}{\cos \beta_m} - \tan \beta_m * \sin \delta_{01})N \quad (2.5)$$

$$F_{r2} = F_{u2} * (\tan \alpha_{n0} * \frac{\cos \delta_{01}}{\cos \beta_m} + \tan \beta_m * \sin \delta_{01})N \quad (2.6)$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{\frac{43}{Z_1}} = 0.186 \Rightarrow \delta_{01} = 10.539$$

β_m = ayna eğim açısı

$\beta_m = 26.96^\circ$

α_{n0} = normal kavrama açısı

$$\alpha_{n0} = 20^\circ$$

$$F_{a2} = 31983.579 * \left(\tan 20^\circ * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539 \right) = -13605.079N$$

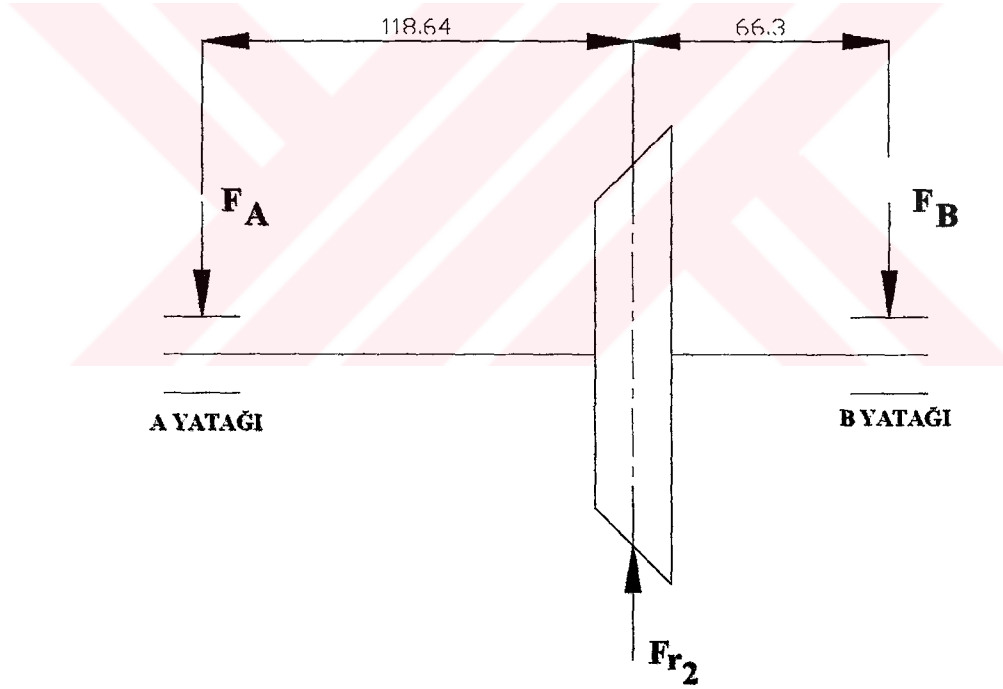
$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -13605.079N$$

NOT: Eğer bulunan aksenal kuvvet pozitif işaretli ise, kuvvet koni zirvesinden uzağa yönelmektedir. Negatif işaret zirveye doğru hareketin olduğunu göstermektedir.

$$F_{r2} = 31983.579 * \left(\tan 20^\circ * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539 \right) = 15815.67N$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 15815.67N$$

1. Durum



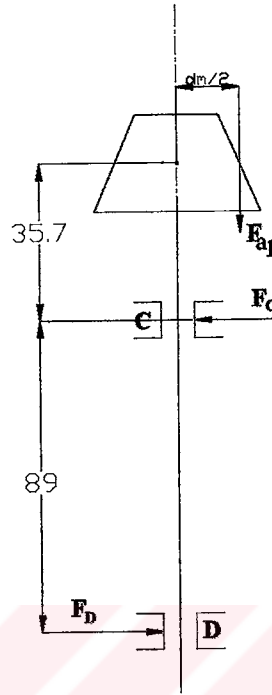
Şekil 2.1 Arka kovan ayna dişli 1. durum modeli

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{15815.67 * 66.3}{184.94} = 5669.833N$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{15815.67 * 118.64}{184.94} = 10145.836N$$

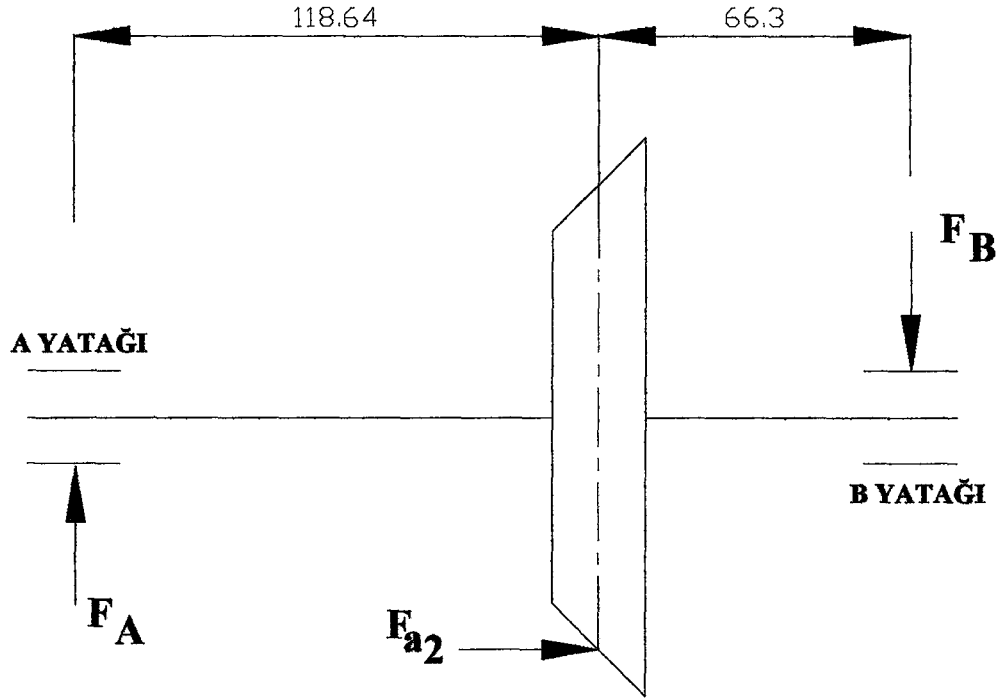


Şekil 2.2 Arka kovan mahrutu dişli 1. durum modeli

$$F_C * 89 = F_D * 89 = F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2}$$

$$F_C = F_D = \frac{15815.67 * 48.11}{2 * 89} = 4274.673N$$

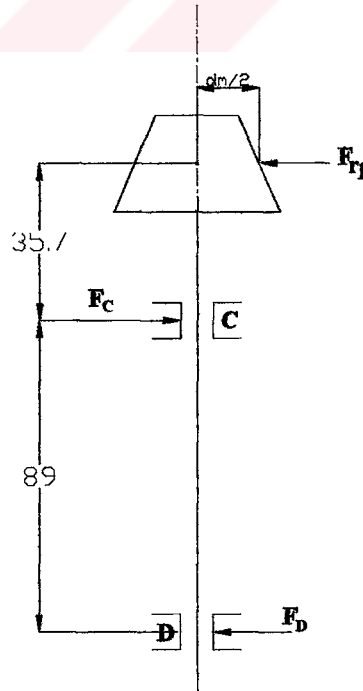
2.Durum



Şekil 2.3 Arka kovan ayna dişli 2. durum modeli

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{d_{m2}}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{13605.079 * 186.5 / 2}{184.94} = 6859.92N$$



Şekil 2.4 Arka kovan mahrutu dişli 2. durum modeli

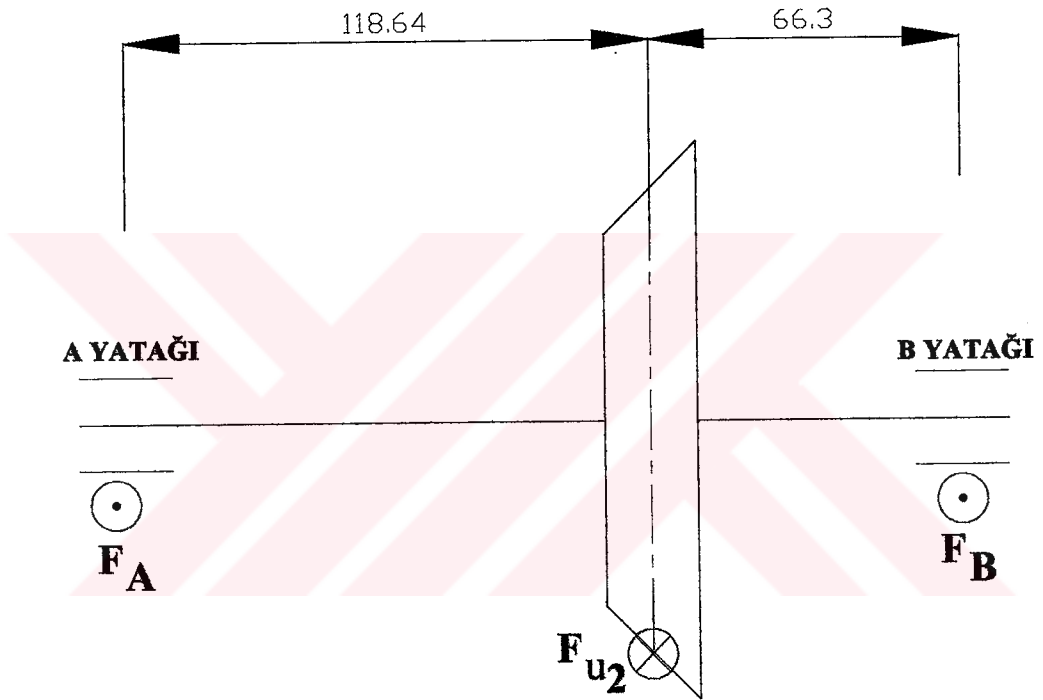
$$F_C * 89 = F_{T1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{13605.079 * 89}{124.7} = 9710.12N$$

$$F_D * 89 = F_{T1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{13605.079 * 35.7}{89} = 5457.318N$$

3.Durum



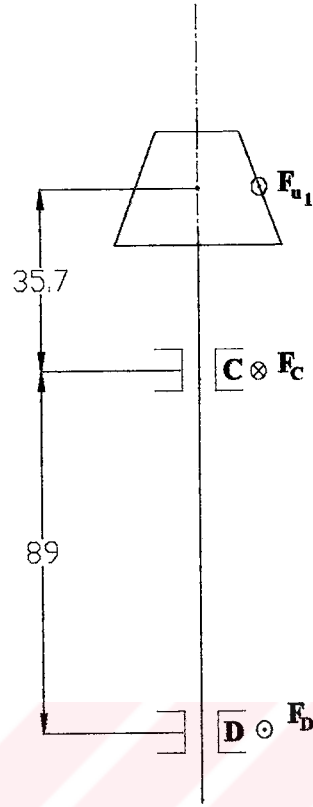
Şekil 2.5 Arka kovan ayna dişli 3. durum modeli

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{31983.579 * 66.3}{184.94} = 11465.941N$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{31983.579 * 118.64}{184.94} = 20517.637N$$



Şekil 2.6 Arka kovan mahrutli dişli 3. durum modeli

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{31983.579 * 124.7}{89} = 44812.94N$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{31983.579 * 35.7}{89} = 12829.368N$$

2.2 II. Vites 4×2 Durumu

1.Durum

$$M_{b12} = 419328N.mm$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b12}}{d_{m1}} = \frac{2 * 419328}{48.11} = 17432.051N$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 17432.051\text{N}$$

$$F_{a2} = 17432.051 * (\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539) = -7414.075\text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -7414.075\text{N}$$

$$F_{r2} = 17432.051 * (\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539) = 8618.406\text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 8618.406\text{N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{8618.406 * 66.3}{184.94} = 3089.652\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{8618.406 * 118.64}{184.94} = 5528.753\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2}$$

$$F_C = F_D = \frac{8618.406 * 48.11}{2 * 89} = 2329.39\text{N}$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{7414.075 * 93.25}{184.94} = 3738.306\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{7414.075 * 89}{124.7} = 5291.521\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{7414.075 * 35.7}{89} = 2973.96\text{N}$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{17432.051 * 66.3}{184.94} = 6249.29\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{17432.051 * 118.64}{184.94} = 11182.75\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{17432.051 * 124.7}{89} = 24424.45\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{17432.051 * 35.7}{89} = 6992.40\text{N}$$

2.3 III. Vites 4×2 Durumu**1.Durum**

$$M_{b13} = 279153\text{N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b13}}{d_{m1}} = \frac{2 * 279153}{48.11} = 11604.78\text{N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 11604.78\text{N}$$

$$F_{a2} = 11604.78 * \left(\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539 \right) = -4935.512\text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -4935.512\text{N}$$

$$F_{r2} = 11604.78 * \left(\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539 \right) = 5737.403\text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 5737.403\text{N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{5737.403 * 66.3}{184.94} = 2056.828\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{5737.403 * 118.64}{184.94} = 3680.574\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2}$$

$$F_C = F_D = \frac{5737.403 * 48.11}{2 * 89} = 1550.71\text{N}$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{4935.512 * 93.25}{184.94} = 2488.571\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{4935.512 * 89}{124.7} = 3522.538\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{4935.512 * 35.7}{89} = 1979.75\text{N}$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{11604.78 * 66.3}{184.94} = 4160.251\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{11604.78 * 118.64}{184.94} = 7444.528\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{11604.78 * 124.7}{89} = 16259.731\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{11604.78 * 35.7}{89} = 4654.951\text{N}$$

2.4 IV. Vites 4×2 Durumu

1.Durum

$$M_{b14} = 193500\text{N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b14}}{d_{m1}} = \frac{2 * 193500}{48.11} = 8044.065\text{N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 8044.065\text{N}$$

$$F_{a2} = 8044.065 * (\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539) = -3421.14\text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -3421.14\text{N}$$

$$F_{r2} = 8044.065 * (\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539) = 3976.985\text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 3976.985\text{N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{3976.985 * 66.3}{184.94} = 1425.727\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{3976.985 * 118.64}{184.94} = 2551.257N$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 89 = F_D * 89$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = \frac{3976.985 * 48.11}{2 * 89} = 1074.903N$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{3421.14 * 93.25}{184.94} = 1724.998N$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{3421.14 * 89}{124.7} = 2441.711N$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{3421.14 * 35.7}{89} = 1372.299N$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{8044.065 * 66.3}{184.94} = 2883.754N$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{8044.065 * 118.64}{184.94} = 5160.31N$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{8044.065 * 124.7}{89} = 11270.729\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{8044.065 * 35.7}{89} = 3226.642\text{N}$$

2.5 V. Vites 4×2 Durumu

1.Durum

$$M_{b15} = 151290\text{N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b14}}{d_{m1}} = \frac{2 * 151290}{48.11} = 6289.336\text{N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 6289.336\text{N}$$

$$F_{a2} = 6289.336 * \left(\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539 \right) = -2674.854\text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -2674.854\text{N}$$

$$F_{r2} = 6289.336 * \left(\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539 \right) = 3109.447\text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 3109.447\text{N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{3109.447 * 66.3}{184.94} = 1114.72\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{3109.447 * 118.64}{184.94} = 1994.726\text{N}$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 89 = F_D * 89$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = \frac{3109.447 * 48.11}{2 * 89} = 840.424\text{N}$$

2. Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{2674.854 * 93.25}{184.94} = 1348.708\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{2674.854 * 89}{124.7} = 1909.077\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{2674.854 * 35.7}{89} = 1072.947\text{N}$$

3. Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{6289.336 * 66.3}{184.94} = 2254.693\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{6289.336 * 118.64}{184.94} = 4034.642\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{6289.336 * 124.7}{89} = 8812.137\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{6289.336 * 35.7}{89} = 2522.801N$$

2.6 I. Vites 4×4 Durumu

1. Durum

$$M_{b16} = 773212N.mm$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b16}}{d_{m1}} = \frac{2 * 773212}{48.11} = 32143.504N$$

$$F_{a2} = 32143.504 * (\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539) = -13670.632N$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -13670.632N$$

$$F_{r2} = 32143.504 * (\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539) = 15891.748N$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 15891.748N$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{15891.748 * 66.3}{184.94} = 5697.106N$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{15891.748 * 118.64}{184.94} = 10194.641N$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 89 = F_D * 89$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = \frac{15891.748 * 48.11}{2 * 89} = 4295.235N$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{13670.632 * 93.25}{184.94} = 6892.973\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{13670.632 * 89}{124.7} = 9756.906\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{13670.632 * 35.7}{89} = 5483.613\text{N}$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{32143.504 * 66.3}{184.94} = 11523.274\text{N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{32143.504 * 118.64}{184.94} = 20620.229\text{N}$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{32143.504 * 124.7}{89} = 45037.021\text{N}$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{32143.504 * 35.7}{89} = 12893.517\text{N}$$

2.7 II. Vites 4×4 Durumu

1. Durum

$$M_{b17} = 421425 \text{ N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b17}}{d_{m1}} = \frac{2 * 421425}{48.11} = 17519.226 \text{ N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 17519.226 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 17519.226 * \left(\tan 20^\circ * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539 \right) = -7450.926 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -7450.926 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 17519.226 * \left(\tan 20^\circ * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539 \right) = 8661.505 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 8661.505 \text{ N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{8661.505 * 66.3}{184.94} = 3105.103 \text{ N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{8661.505 * 118.64}{184.94} = 5556.401 \text{ N}$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 89 = F_D * 89$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = \frac{8661.505 * 48.11}{2 * 89} = 2341.039 \text{ N}$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{7450.926 * 93.25}{184.94} = 3756.887N$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{7450.926 * 89}{124.7} = 5317.822N$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{7450.926 * 35.7}{89} = 2988.742N$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{17519.226 * 66.3}{184.94} = 6280.548N$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{17519.226 * 118.64}{184.94} = 11238.677N$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{17519.226 * 124.7}{89} = 24546.60N$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{17519.226 * 35.7}{89} = 7027.374N$$

2.8 III. Vites 4×4 Durumu

1.Durum

$$M_{b18} = 280549 \text{ N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b18}}{d_{m1}} = \frac{2 * 280549}{48.11} = 11662.814 \text{ N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 11662.814 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 11662.814 * \left(\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 26.96} - \tan 26.96 * \cos 10.539 \right) = -4960.194 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -4960.194 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 11662.814 * \left(\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 26.96} + \tan 26.96 * \sin 10.539 \right) = 5766.095 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 5766.095 \text{ N}$$

$$F_A * 184.94 = F_{r2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{5766.095 * 66.3}{184.94} = 2067.114 \text{ N}$$

$$F_B * 184.94 = F_{r2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{5766.095 * 118.64}{184.94} = 3698.98 \text{ N}$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 89 = F_D * 89$$

$$F_C * 89 = F_D * 89 = \frac{5766.095 * 48.11}{2 * 89} = 1558.465 \text{ N}$$

2.Durum

$$F_A * 184.94 = F_B * 184.94 = F_{a2} * \frac{186.5}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{4960.194 * 93.25}{184.94} = 2474.196N$$

$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{6682.792 * 89}{124.7} = 4769.594N$$

$$F_D * 89 = F_{r1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{6682.792 * 35.7}{89} = 2680.625N$$

3.Durum

$$F_A * 184.94 = F_{u2} * 66.3$$

$$F_A = \frac{11662.814 * 66.3}{184.94} = 4181.056N$$

$$F_B * 184.94 = F_{u2} * 118.64$$

$$F_B = \frac{11662.814 * 118.64}{184.94} = 7481.757N$$

$$F_C * 89 = F_{u1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{11662.814 * 124.7}{89} = 16341.043N$$

$$F_D * 89 = F_{u1} * 35.7$$

$$F_D = \frac{11662.814 * 35.7}{89} = 4678.229N$$

2.9 Ömür Hesapları

$$\boxed{F_N = \sqrt{F_u^2 + F_r^2 + F_a^2}} \quad (2.9)$$

Cosmos/Works programı kullanılarak oluşturulan arka kovanın ağ yapısı Sayfa 145, Ek 2' de gösterilmiştir.

3 vites durumu için Cosmos/Works programında yapılan yüklemeler ve sınır şartlarının resimleri Sayfa 146, 147, 148, Ek 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir.

Cosmos/Works programı kullanılarak yapılan gerilme analizleri sonucunda kovan üzerinde A, B, C ve D bölgesi olmak üzere dört kritik bölge belirlenmiştir. Bu bölgeler Sayfa 149, 150, Ek 5, 6'da gösterilmiştir. Belirlenen bu kritik bölgelerde meydana gelen bileşke gerilmeler yani Von Mises gerilmeleri belirlediğimiz üç yükleme durumu için de gerilme dağılımını gösteren renk skalasından okunarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.9.1 I. Vites 4×2 Durumu (Sayfa 149,150 Ek 5, 6)

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(6.395 * 10^1)^2 + (4.027 * 10)^2 + (6.257 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 98.113 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(7.969 * 10)^2 + (4.027 * 10^2)^2 + (1.721 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 445.124 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(1.443 * 10^{-3})^2 + (1.342 * 10^1)^2 + (4.693 * 10^1)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 48.811 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(7.996)^2 + (1.790 * 10^1)^2 + (1.408 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 142.158 \text{ N/mm}^2$$

2.9.2 II. Vites 4×2 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(1.743 \cdot 10)^2 + (2.194 \cdot 10)^2 + (1.155 \cdot 10^2)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 118.85 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(1.307 \cdot 10)^2 + (2.194 \cdot 10)^2 + (1.155 \cdot 10^2)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 118.28 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(4.357)^2 + (2.439)^2 + (9.959 \cdot 10^{-4})^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 4.993 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(7.865 \cdot 10^{-4})^2 + (1.951 \cdot 10)^2 + (1.155 \cdot 10^2)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 117.136 \text{ N/mm}^2$$

2.9.3 III. Vites 4×2 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(8.701)^2 + (1.461 \cdot 10)^2 + (8.542)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 19.029 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(5.236 \cdot 10^{-4})^2 + (1.298 \cdot 10)^2 + (7.688 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 77.968 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(5.236 \cdot 10^{-4})^2 + (2.444 \cdot 10^{-4})^2 + (6.630 \cdot 10^{-4})^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 8.794 \cdot 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(5.236 \cdot 10^{-4})^2 + (6.492)^2 + (7.688 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 77.153 \text{ N/mm}^2$$

2.9.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(8.041)^2 + (1.013 \cdot 10)^2 + (1.776 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 21.97 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(3.692 \cdot 10^{-4})^2 + (7.876)^2 + (5.329 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 53.868 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(3.629 \cdot 10^{-4})^2 + (1.694 \cdot 10^{-4})^2 + (4.596 \cdot 10^{-4})^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 6.096 \cdot 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(3.629 \cdot 10^{-4})^2 + (4.500)^2 + (4.737 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 47.583 \text{ N/mm}^2$$

2.9.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(6.287)^2 + (3.519)^2 + (1.852 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 19.872 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(2.838 \cdot 10^{-4})^2 + (7.037)^2 + (4.166 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 42.25 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(2.838 \cdot 10^{-4})^2 + (1.324 \cdot 10^{-4})^2 + (3.593 \cdot 10^{-4})^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 4.766 \cdot 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(2.838 \cdot 10^{-4})^2 + (2.639)^2 + (3.703 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 37.123 \text{ N/mm}^2$$

2.9.6 I. Vites 4×4 Durumu (Sayfa 151, 152, 153, 154, 155, 156 Ek 7, 8, 9, 10, 11, 12)

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(2.410 * 10)^2 + (3.729 * 10)^2 + (4.716 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 64.772 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(1.450 * 10^{-3})^2 + (3.729 * 10)^2 + (1.415 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 146.331 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(1.450 * 10^{-3})^2 + (4.432 * 10^{-4})^2 + (6.288 * 10)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 62.88 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(1.450 * 10^{-3})^2 + (9.323)^2 + (1.415 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 141.806 \text{ N/mm}^2$$

2.9.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(1.313 * 10)^2 + (1.225 * 10)^2 + (1.290 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 22.11 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(7.904 * 10^{-4})^2 + (1.960 * 10)^2 + (1.032 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 105.044 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(7.904 * 10^{-4})^2 + (3.689 * 10^{-4})^2 + (1.001 * 10^{-3})^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 8.779 * 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(7.904 * 10^{-4})^2 + (3.689 * 10^{-4})^2 + (1.032 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 103.2 \text{ N/mm}^2$$

2.9.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(8.744)^2 + (1.333 * 10)^2 + (8.585)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 18.106 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(5.830)^2 + (1.333 * 10)^2 + (7.726 * 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 78.617 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(5.262 * 10^{-4})^2 + (2.882 * 10^{-4})^2 + (6.868 * 10)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 68.68 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(5.262 * 10^{-4})^2 + (2.882 * 10^{-4})^2 + (6.868 * 10)^2}$$

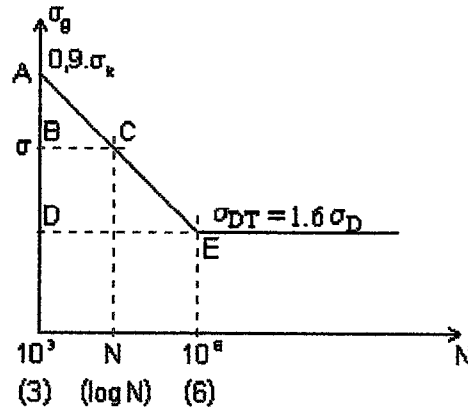
$$(\sigma_D)_{Bil} = 68.68 \text{ N/mm}^2$$

- Aracın her bir vitesdeki çalışma sürelerinin ve oranlarının tespiti için yapılan testin sonuçları Mak. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu'nun "Gtd model 4×4 askeri aracın aktarma elemanlarının birikimli hasar durumlarına göre ömür değerlendirmeleri" yüksek lisans tezinden alınmıştır ve bu tezdeki sayfa ve çizelge numaraları belirtilmiştir. (Ayaroğlu, 2002)
- Sayfa 54, Çizelge 2.3;

Çizelge 2.1 Aracın Arazide(%35), Şehir İçinde(%65) ve Genel Kullanım Oranları

	Arazide gerçekleşen %	Arazide (%35)	Şehir içi gerçekleşen %	Şehir içi (%65)	Arazi+Şehir içi Kullanım %'si (yuvarlatılmış)	Her Bir Viteste Kullanım Oranı	Arazi Vitesi Kendi İçinde Çalışma %'si
1.Vites 4×2	3.43	1.20	2.55	1.66	3	$C_1=0.03$	
1.Vites 4×4	1.53	0.54			0.5	$C_6=0.005$	$C'_6=0.07$
2.Vites 4×2	34.57	12.10	23.76	15.44	28	$C_2=0.28$	
2.Vites 4×4	19.22	6.73			7	$C_7=0.07$	$C'_7=0.87$
3.Vites 4×2	31.91	11.17	50.87	33.07	44	$C_3=0.43$	
3.Vites 4×4	1.44	0.50			0.5	$C_8=0.005$	$C'_8=0.06$
4.Vites 4×2	7.90	2.77	15.97	10.38	13	$C_4=0.13$	
4.Vites 4×4					0		
5.Vites 4×2			6.85	4.45	4	$C_5=0.04$	
5.Vites 4×4					0		
Toplam	100.00	35.00	100.00	65.00	100	1.0	1.0

Aracın 4×4 I. vites konumunda %1.53, 4×4 II. vites konumunda %19.22 ve 4×4 III. vites konumunda %1.44 çalışma oranları tespit edilmiş olup, 4×4 konumlarının kendi içinde çalışma oranları şöyledir; I. vites için $C'_6=0.07$, II. vites için $C'_7=0.87$, III. vites için $C'_8=0.06$ 'dır. araç toplam ömrünün %8'ini ($C_0=C_6+C_7+C_8=0.08$) 4×4 konumunda geçirmektedir.



Şekil 2.7 Arka kovan için Wöhler Diyagramı

Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının sayfa 87, tablo-3.1' den dökme demir için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.6\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

Arka kovan malzemesi olarak sfero dökme demir; DDK50 (GGG50) kullanılmıştır. DDK50'nin malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=350 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=500 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_D=210 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_D=12.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{DT}=1.6\sigma_D=1.6*210=336 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{AD} = \frac{\overline{BC}}{DE}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 336} = \frac{\log N - 3}{6 - 3}$$

$$\frac{0.9*500 - \sigma_g}{0.9*500 - 336} = \frac{\log N - 3}{3}$$

$$\frac{450 - \sigma_g}{450 - 336} = \frac{\log N - 3}{3} \Rightarrow \log N = \frac{1350 - 3\sigma_g}{114} + 3$$

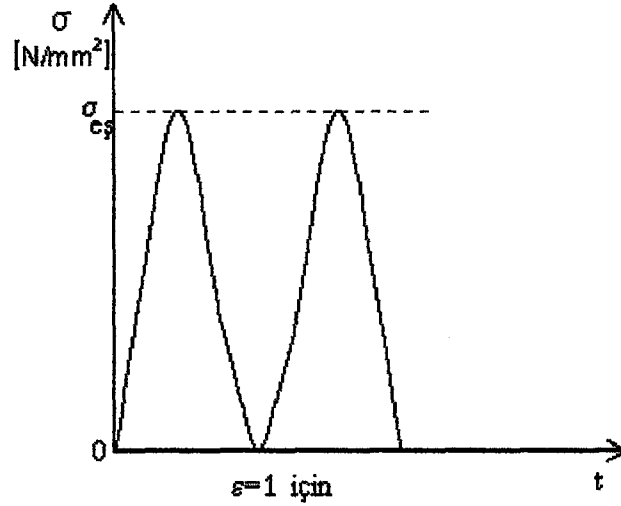
$$\log N = \frac{1350 + 342 - 3\sigma_g}{114} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38}$$

(2.10)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ϵ =Kavrama Oranı



Şekil 2.8 Eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

Gerilme analizleri için belirlediğimiz ve Sayfa 149, 150 Ek 5, 6'da gösterdiğimiz dört bölge için ömür hesapları yaparsak:

2.10 A Bölgesi için Ömür Hesapları (Sayfa 149, Ek 5)

PALMGREN-MINER denklemi;

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}} \quad (2.11)$$

$$\frac{0.03}{98.113} + \frac{0.28}{118.85} + \frac{0.43}{19.029} + \frac{0.13}{21.97} + \frac{0.04}{19.872} + \frac{0.07}{64.772} + \frac{0.87}{22.11} + \frac{0.06}{18.106} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 12.998 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{12.998/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.171$$

$$\log N = 14.670$$

$$\Rightarrow N_{eşA} = 10^{14.670} = 4.677 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{e\text{şA}} = N_{e\text{şA}} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{e\text{şA}} = N_{e\text{şA}} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{şA}} = 4.677 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{şA}} = 2.126 * 10^{11} \text{ km}$$

2.11 B Bölgesi için Ömür Hesapları (Sayfa 149, Ek 5)

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{e\text{ş}}}$$

$$\frac{0.03}{445.124} + \frac{0.28}{118.28} + \frac{0.43}{77.968} + \frac{0.13}{53.868} + \frac{0.04}{42.25} + \frac{0.07}{146.331} + \frac{0.87}{105.044} + \frac{0.06}{78.617} = \frac{1}{\sigma_{e\text{ş}}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{e\text{ş}} = 47.999 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{e\text{ş}}}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{47.999/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.631$$

$$\log N = 14.211$$

$$\Rightarrow N_{e\text{şB}} = 10^{14.211} = 1.625 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{e\text{şA}} = N_{e\text{şB}} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{e\text{şB}} = N_{e\text{şB}} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{şB}} = 1.625 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{şB}} = 7.389 * 10^{10} \text{ km}$$

2.12 C Bölgesi için Ömür Hesapları (Sayfa 150, Ek 6)

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{48.811} + \frac{0.28}{4.993} + \frac{0.43}{8.794 * 10^{-4}} + \frac{0.13}{6.096 * 10^{-4}} + \frac{0.04}{4.766 * 10^{-4}} + \frac{0.07}{62.88} + \frac{0.87}{8.779 * 10^{-4}} + \frac{0.06}{68.68} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 5.626 * 10^{-4} \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{5.626 * 10^{-4} / 2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 7.402 * 10^{-6}$$

$$\log N = 14.841$$

$$\Rightarrow N_{eşA} = 10^{14.841} = 6.934 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşC} = N_{eşC} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778$ m; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşC} = N_{eşC} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşC} = 6.934 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşC} = 3.15 * 10^{11} \text{ km}$$

2.13 D Bölgesi için Ömür Hesapları (Sayfa 150, Ek 6)

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{142.158} + \frac{0.28}{117.136} + \frac{0.43}{77.153} + \frac{0.13}{47.583} + \frac{0.04}{37.123} + \frac{0.07}{141.806} + \frac{0.87}{103.2} + \frac{0.06}{68.68} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 45.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{45.91/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.604$$

$$\log N = 14.238$$

$$\Rightarrow N_{eşD} = 10^{14.238} = 1.729 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşD} = N_{eşD} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778$ m; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşD} = N_{eşD} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşD} = 1.729 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşD} = 7.862 * 10^{10} \text{ km}$$

- Sonuç olarak araç B bölgesinde $\epsilon=1$ için minimum $L_{eşB}$ değeri bulunmuştur. Mak. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu'nun "Gtd model 4×4 askeri aracın aktarma elemanlarının birikimli hasar durumlarına göre ömür değerlendirmeleri" yüksek lisans tezinde belirttiği gibi araç ömrünün %8'ini ($C_0=0.08$) 4×4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür;

$$L_{eşBeff} = \frac{L_{eşB}}{0.08} = \frac{7.389 * 10^{10}}{0.08} = 9.236 * 10^{11} \text{ km}$$

3. ARKA AYNA DIŞLİ İÇİN ÖMÜR HESABI

Arka köprü ayna dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 170, Ek 25'de verilmiştir. 1. Vites 4×4 ve 2. Vites 4×4 durumları için gerilme analiz resimleri Sayfa 171, 172 Ek 26, 27'de verilmiştir.

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{2.263 \cdot 10^2} + \frac{0.28}{8.768 \cdot 10} + \frac{0.43}{5.958 \cdot 10} + \frac{0.13}{4.130 \cdot 10} + \frac{0.04}{3.179 \cdot 10} + \frac{0.07}{1.650 \cdot 10^2} + \frac{0.87}{8.811 \cdot 10} + \frac{0.06}{5.866 \cdot 10} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

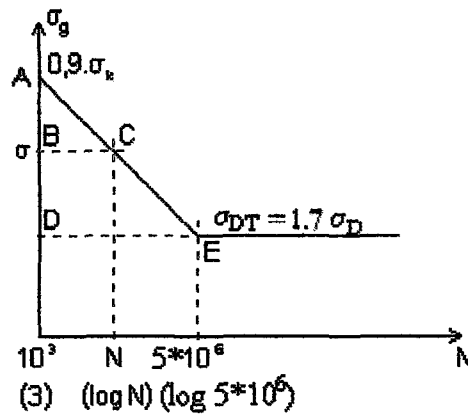
$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 38.065 \text{ N/mm}^2$$

Ayna dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının sayfa 87, tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT} = 1.7 \sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K = 930 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 3.1 Arka ayna dişli için Wöhler Diyagramı

$$\sigma_{DT} = 1.7 \sigma_D$$

$$\sigma_D = 0.44 \sigma_K \Rightarrow \sigma_{DT} = 1.7 * 0.44 * \sigma_K = 1.7 * 0.44 * 930 = 695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9 \cdot 930 - \sigma_g}{0.9 \cdot 930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

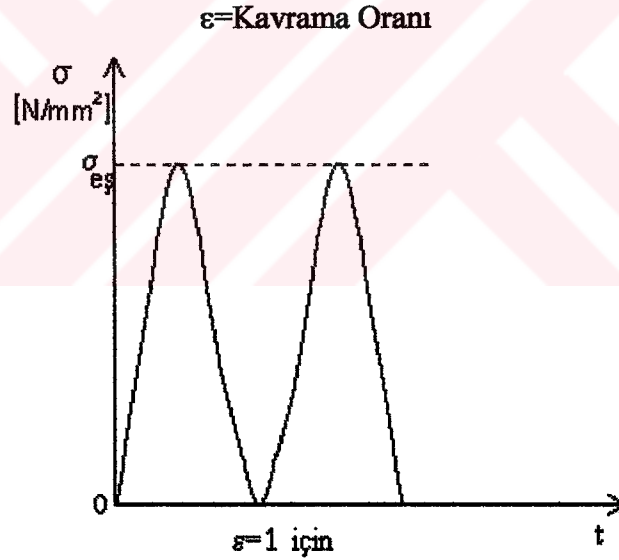
$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

(3.1)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:



Şekil 3.2 Arka ayna dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{38.065/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{19.032}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.398$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{24.398} = 2.5 * 10^{24} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 2.5 * 10^{24} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 1.136 * 10^{21} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{1.136 * 10^{21}}{0.08} = 1.42 * 10^{22} \text{ km}$$

4. ARKA MAHRUTİ DİŞLİ İÇİN ÖMÜR HESABI

Arka köprü mahrutü dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 164, Ek 19'da verilmiştir. 1. Vites 4×4 ve 2. Vites 4×4 durumları için gerilme analiz resimleri Sayfa 165, 166 Ek 20, 21'de verilmiştir.

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{4.864 \cdot 10^2} + \frac{0.28}{2.010 \cdot 10^2} + \frac{0.43}{1.338 \cdot 10^2} + \frac{0.13}{9.275 \cdot 10} + \frac{0.04}{7.252 \cdot 10} + \frac{0.07}{3.706 \cdot 10^2} + \frac{0.87}{2.020 \cdot 10^2} + \frac{0.06}{1.345 \cdot 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

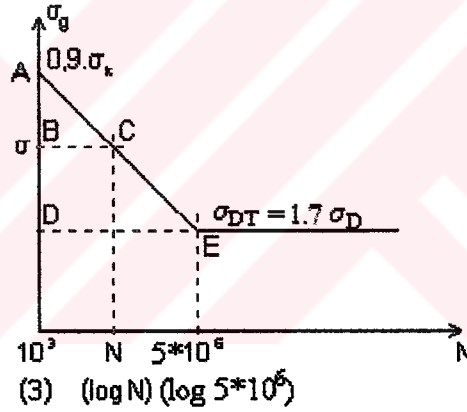
$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 86.478 \text{ N/mm}^2$$

Mahruti dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$



Şekil 4.1 Arka mahruti dişli için Wöhler Diyagramı

$$\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$$

$$\sigma_D=0.44\sigma_K \Rightarrow \sigma_{DT}=1.7 \cdot 0.44 \cdot \sigma_K = 1.7 \cdot 0.44 \cdot 930 = 695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9 \cdot 930 - \sigma_g}{0.9 \cdot 930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

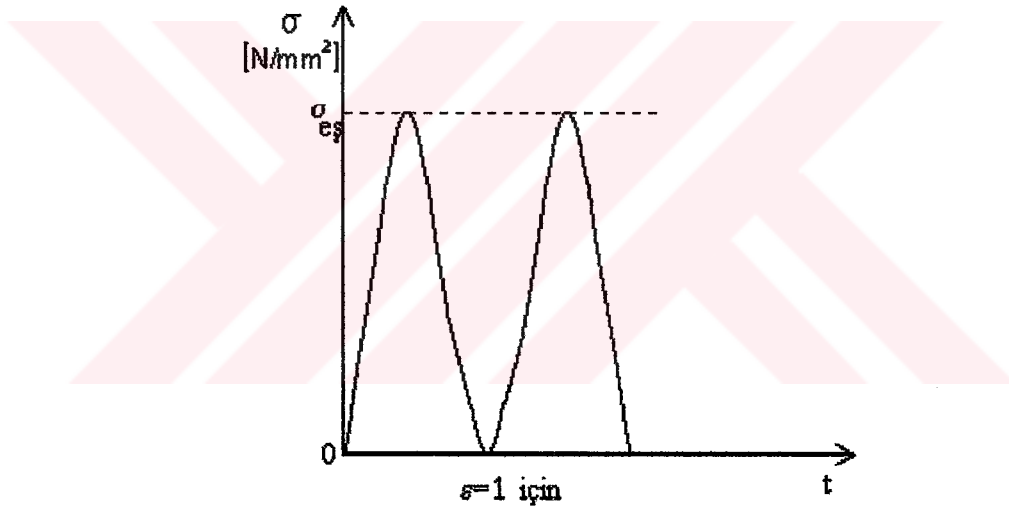
$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

(3.2)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ε =Kavrama Oranı



Şekil 4.2 Arka mahrutli dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{86.478/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{43.239}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 23.764$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{23.764} = 5.807 * 10^{23} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 5.807 * 10^{23} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 2.64 * 10^{20} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{2.64 * 10^{20}}{0.08} = 3.3 * 10^{21} \text{ km}$$

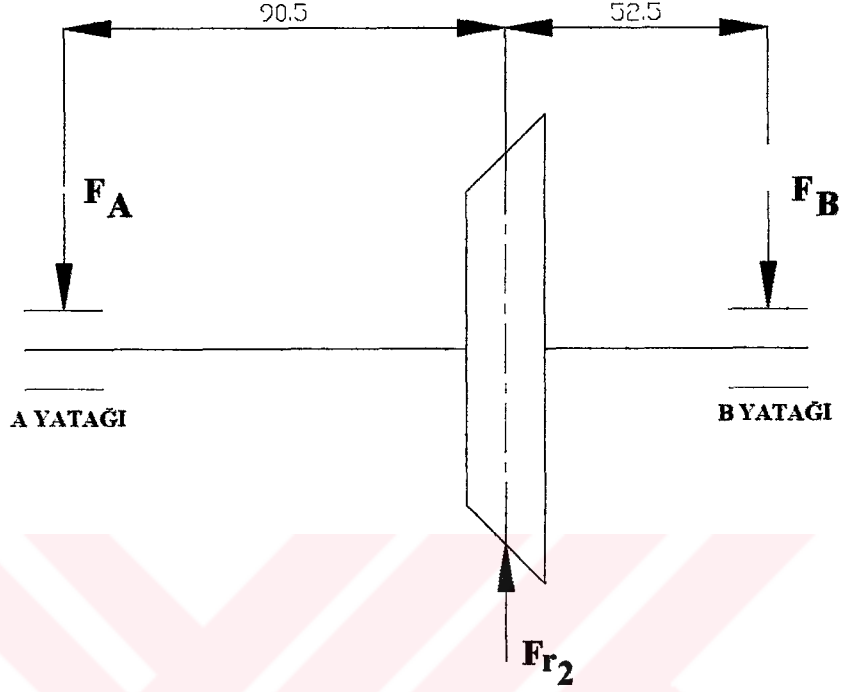
5. ÖN KOVAN İÇİN HESAPLAMALAR

Ön kovanın Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 157 Ek13' de gösterilmiştir.

Diferansiyel sisteminde kullanılan dişliler spiral konik dişlilerdir. Bu konik dişlilerin dişlerine etki eden kuvvetler teğetsel kuvvet F_u , radyal kuvvet F_r ve aksenal kuvvet F_a 'dır.

5.1 I.Vites 4×4 Durumu

1.Durum



Şekil 5.1 Ön kovan ayna dişli 1. durum modeli

$$M_{b11} = 773212 \text{ N.mm}$$

$$d_{m1} = 38.98 \text{ mm} \quad \text{bölüm dairesi çapı}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b11}}{d_{m1}} = \frac{2 * 773212}{38.98} = 39672.242 \text{ N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 39672.242 \text{ N}$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{1}{\frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{1}{\frac{43}{8}} = 0.186 \Rightarrow \delta_{01} = 10.539^\circ$$

β_m = ayna eğim açısı

$$\beta_m = 19.77^\circ$$

α_{n0} = normal kavrama açısı

$$\alpha_{n0} = 20^\circ$$

$$F_{a2} = 39672.242 * \left(\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 19.77} - \tan 19.77 * \cos 10.539 \right) = -11212.402N$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -11212.402N$$

$$F_{r2} = 39672.242 * \left(\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 19.77} + \tan 19.77 * \sin 10.539 \right) = 17693.191N$$

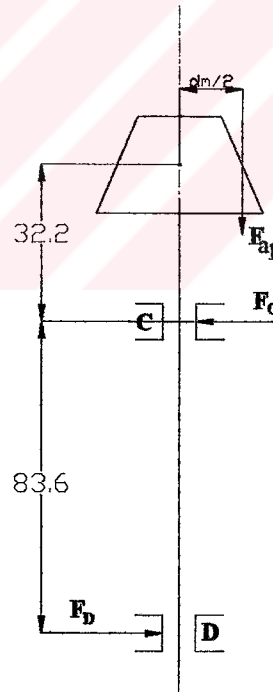
$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 17693.191$$

$$F_A * 143 = F_{r2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{17693.191 * 52.5}{143} = 6495.751N$$

$$F_B * 143 = F_{r2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{17693.191 * 90.5}{143} = 11197.439N$$

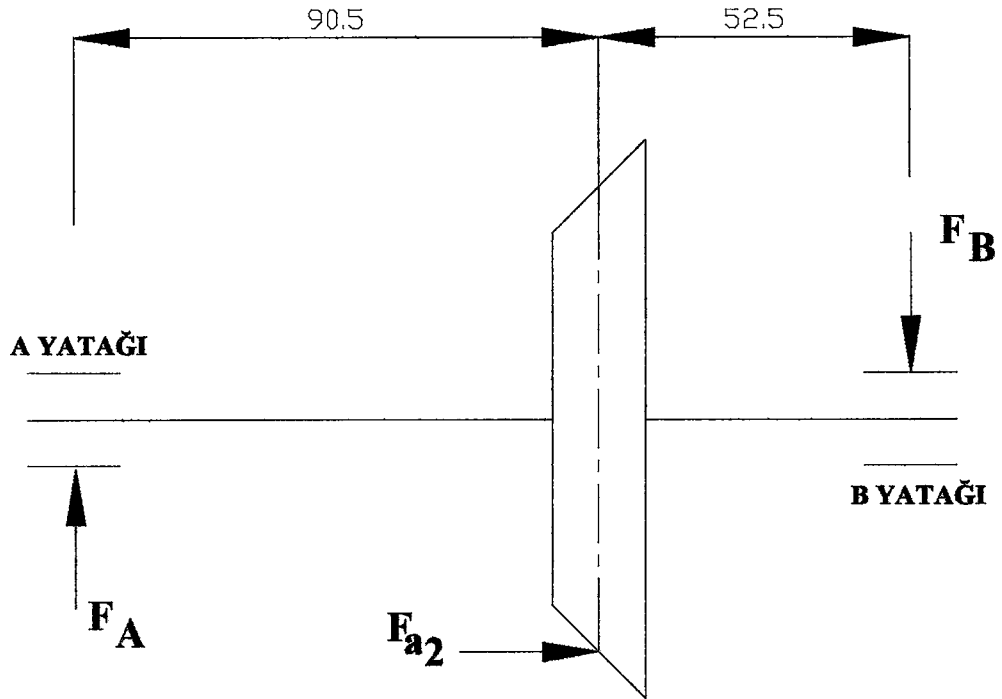


Şekil 5.2 Ön kovan mahrutu dişli 1. durum modeli

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 83.6 = F_D * 83.6$$

$$F_C * 83.6 = F_D * 83.6 = \frac{17693.191 * 38.98}{2 * 83.6} = 4124.883N$$

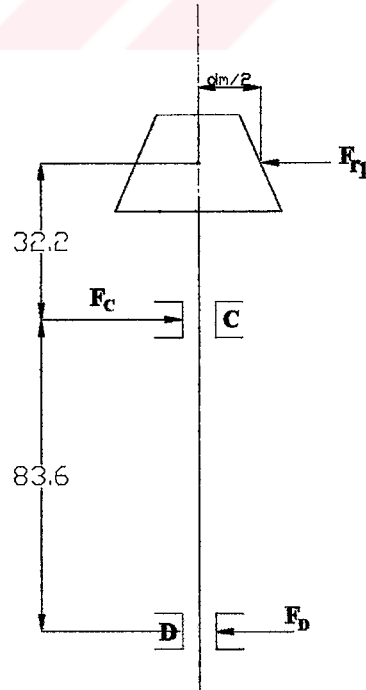
2.Durum



Şekil 5.3 Ön kovan ayna dişli 2. durum modeli

$$F_A \cdot 143 = F_B \cdot 143 = F_{a2} \cdot \frac{d_{m2}}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{11212.402 \cdot 156.52 / 2}{143} = 6136.241 \text{ N}$$



Şekil 5.4 Ön kovan mahruti dişli 2. durum modeli

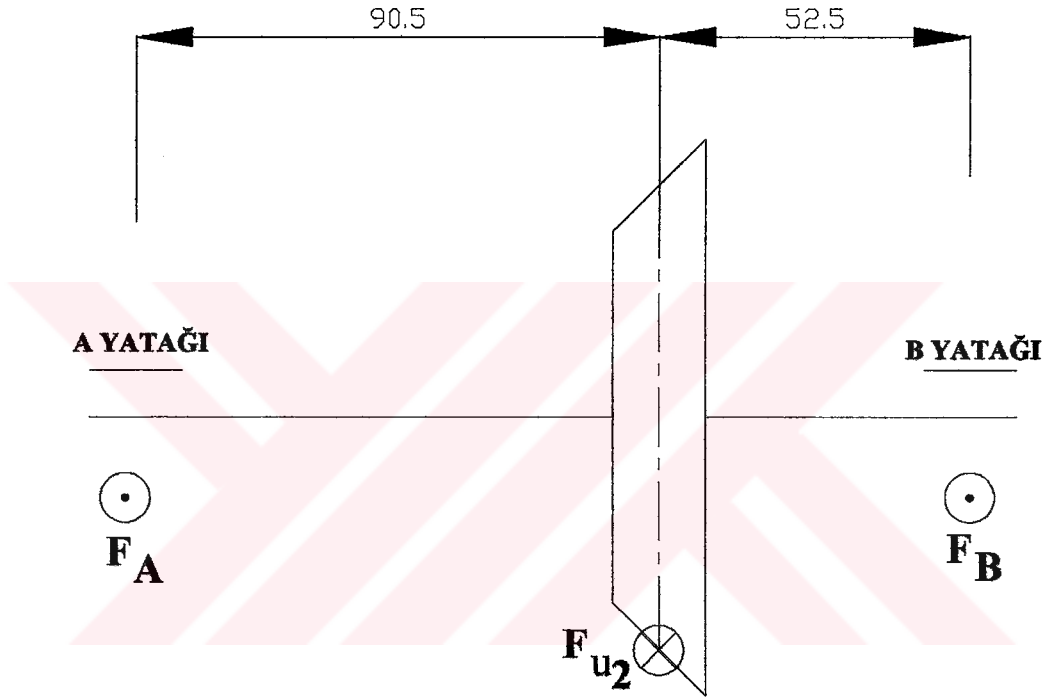
$$F_C * 89 = F_{r1} * 124.7$$

$$F_C = \frac{11212.402 * 83.6}{115.8} = 8094.618\text{N}$$

$$F_D * 83.6 = F_{r1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{11212.402 * 32.2}{83.6} = 4318.952\text{N}$$

3.Durum



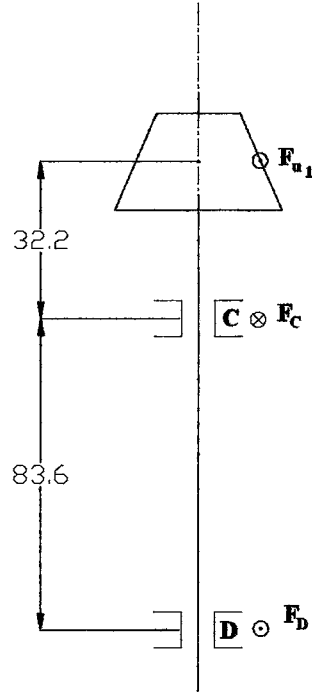
Şekil 5.5 Ön kovan ayna dişli 3. durum modeli

$$F_A * 143 = F_{u2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{39672.242 * 52.5}{143} = 14564.983\text{N}$$

$$F_B * 143 = F_{u2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{39672.242 * 90.5}{143} = 25107.258\text{N}$$



Şekil 5.6 Ön kovan mahrutu dişli 3. durum modeli

$$F_C * 83.6 = F_{u1} * 115.8$$

$$F_C = \frac{39672.242 * 115.8}{83.6} = 54952.698\text{N}$$

$$F_D * 83.6 = F_{u1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{39672.242 * 32.2}{83.6} = 15280.456\text{N}$$

5.2 II.Vites 4×4 Durumu

1.Durum

$$M_{b12} = 421425\text{N.mm}$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b12}}{d_{m1}} = \frac{2 * 421425}{38.98} = 21622.626\text{N}$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 21622.626\text{N}$$

$$F_{a2} = 21622.626 * (\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 19.77} - \tan 19.77 * \cos 10.539) = -6097.580N$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -6097.580N$$

$$F_{r2} = 21622.626 * (\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 19.77} + \tan 19.77 * \sin 10.539) = 9643.348N$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 9643.348N$$

$$F_A * 143 = F_{r2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{9643.348 * 52.5}{143} = 3540.39N$$

$$F_B * 143 = F_{r2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{9643.348 * 90.5}{143} = 6102.958N$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 83.6 = F_D * 83.6$$

$$F_C * 83.6 = F_D * 83.6 = \frac{9643.348 * 38.98}{2 * 83.6} = 2248.192N$$

2.Durum

$$F_A * 143 = F_B * 143 = F_{a2} * \frac{d_{m2}}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{6097.580 * 156.52 / 2}{143} = 3337.039N$$

$$F_C * 83.6 = F_{r1} * 115.8$$

$$F_C = \frac{9170.349 * 115.8}{83.6} = 12702.469N$$

$$F_D * 83.6 = F_{r1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{9170.349 * 32.2}{83.6} = 3532.12N$$

3.Durum

$$F_A * 143 = F_{u2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{21622.626 * 52.5}{143} = 7938.376N$$

$$F_B * 143 = F_{u2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{21622.626 * 90.5}{143} = 13684.249N$$

$$F_C * 83.6 = F_{u1} * 115.8$$

$$F_C = \frac{21622.626 * 115.8}{83.6} = 29950.958N$$

$$F_D * 83.6 = F_{u1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{21622.626 * 32.2}{83.6} = 8328.332N$$

5.3 III.Vites 4×4 Durumu**1.Durum**

$$M_{b13} = 280549N.mm$$

$$F_{u1} = \frac{2 * M_{b13}}{d_{m1}} = \frac{2 * 280549}{38.98} = 14394.51N$$

$$F_{u1} = F_{u2} = 14394.51N$$

$$F_{a2} = 14394.51 * \left(\tan 20 * \frac{\sin 10.539}{\cos 19.77} - \tan 19.77 * \cos 10.539 \right) = -4059.251N$$

$$F_{a2} = F_{r1} \Rightarrow F_{r1} = -4059.251N$$

$$F_{r2} = 14394.51 * \left(\tan 20 * \frac{\cos 10.539}{\cos 19.77} + \tan 19.77 * \sin 10.539 \right) = 6419.723N$$

$$F_{r2} = F_{a1} \Rightarrow F_{a1} = 6419.723\text{N}$$

$$F_A * 143 = F_{r2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{6419.723 * 52.5}{143} = 2356.891\text{N}$$

$$F_B * 143 = F_{r2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{6419.723 * 90.5}{143} = 4062.831\text{N}$$

$$F_{a1} * \frac{d_{m1}}{2} = M = F_C * 83.6 = F_D * 83.6$$

$$F_C * 83.6 = F_D * 83.6 = \frac{6419.723 * 38.98}{2 * 83.6} = 1496.655\text{N}$$

2.Durum

$$F_A * 143 = F_B * 143 = F_{a2} * \frac{d_{m2}}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{4059.251 * 156.52 / 2}{143} = 2221.517\text{N}$$

$$F_C * 83.6 = F_{T1} * 115.8$$

$$F_C = \frac{6104.84 * 115.8}{83.6} = 8456.225\text{N}$$

$$F_D * 83.6 = F_{T1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{6104.84 * 32.2}{83.6} = 2351.385\text{N}$$

3.Durum

$$F_A * 143 = F_{u2} * 52.5$$

$$F_A = \frac{14394.51 * 52.5}{143} = 5284.697\text{N}$$

$$F_B * 143 = F_{u2} * 90.5$$

$$F_B = \frac{14394.51 * 90.5}{143} = 9109.812N$$

$$F_C * 83.6 = F_{u1} * 115.8$$

$$F_C = \frac{14394.51 * 115.8}{83.6} = 19938.806N$$

$$F_D * 83.6 = F_{u1} * 32.2$$

$$F_D = \frac{14394.51 * 32.2}{83.6} = 5544.296N$$

5.4 Ömür Hesapları

$$F_N = \sqrt{F_u^2 + F_r^2 + F_a^2} \quad (5.1)$$

Cosmos/Works programı kullanılarak yapılan gerilme analizleri sonucunda kovan üzerinde A, B, C ve D bölgesi olmak üzere dört kritik bölge belirlenmiştir. Bu bölgeler Sayfa 149, 150, Ek 5, 6' da gösterilmiştir. Belirlenen bu kritik bölgelerde meydana gelen bileşke gerilmeler yani Von Mises gerilmeleri belirlediğimiz üç yükleme durumu için de gerilme dağılımını gösteren renk skalasından okunarak hesaplamalar yapılmıştır.

5.4.1 I. Vites 4×4 Durumu (Sayfa 158, 159, 160, 161, 162, 163 Ek 14, 15, 16, 17, 18, 19)

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(2.485 * 10)^2 + (1.440 * 10)^2 + (8.490 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 89.626N/mm^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(2.237 * 10)^2 + (1.440 * 10)^2 + (1.132 * 10^2)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 116.28N/mm^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(2.982 * 10)^2 + (1.440 * 10)^2 + (8.490 * 10)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 91.129N/mm^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(4.975)^2 + (1.28 * 10)^2 + (8.490 * 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 86.003 \text{ N/mm}^2$$

5.4.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(1.529 * 10)^2 + (2.078 * 10)^2 + (4.627 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 52.976 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(1.147 * 10)^2 + (2.078 * 10)^2 + (6.170 * 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 66.107 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(1.147 * 10)^2 + (4.620)^2 + (5.142 * 10)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 52.885 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(1.276)^2 + (1.616)^2 + (4.627 * 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 46.315 \text{ N/mm}^2$$

5.4.3 III. Vites 4×4 Durumu

$$(\sigma_A)_{Bil} = \sqrt{(1.018 * 10)^2 + (1.230 * 10)^2 + (2.237 * 10)^2}$$

$$(\sigma_A)_{Bil} = 27.483 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = \sqrt{(6.785)^2 + (1.383 * 10)^2 + (2.982 * 10)^2}$$

$$(\sigma_B)_{Bil} = 75.393 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = \sqrt{(7.663)^2 + (3.075)^2 + (2.237 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_C)_{Bil} = 23.845 \text{ N/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = \sqrt{(0.849)^2 + (7.686)^2 + (2.982 \cdot 10)^2}$$

$$(\sigma_D)_{Bil} = 30.806 \text{ N/mm}^2$$

5.5 A Bölgesi için (Sayfa 149, Ek 5)

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}} \quad (5.2)$$

$$\frac{0.07}{89.626} + \frac{0.87}{52.967} + \frac{0.06}{27.483} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 51.574 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{51.574/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.678$$

$$\log N = 14.164$$

$$\Rightarrow N_{eşA} = 10^{14.164} = 1.458 \cdot 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşA} = N_{eşA} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778 \text{ m}$; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşA} = N_{eşA} \cdot \pi \cdot \frac{0.778}{5.375} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşA} = 1.458 \cdot 10^{14} \cdot \pi \cdot \frac{0.778}{5.375} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşA} = 6.633 \cdot 10^{10} \text{ km}$$

5.6 B Bölgesi için (Sayfa 149, Ek 5)

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{116.28} + \frac{0.87}{66.107} + \frac{0.06}{75.393} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 68.689 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{68.689/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.903$$

$$\log N = 13.938$$

$$\Rightarrow N_{eşB} = 10^{13.938} = 8.669 * 10^{13} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşA} = N_{eşB} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778 \text{ m}$; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşB} = N_{eşB} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşB} = 8.669 * 10^{13} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşB} = 3.942 * 10^{10} \text{ km}$$

5.7 C Bölgesi için (Sayfa 150, Ek 6)

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{91.129} + \frac{0.87}{52.885} + \frac{0.06}{23.845} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 50.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{50.67/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.666$$

$$\log N = 14.175$$

$$\Rightarrow N_{eşA} = 10^{14.175} = 1.496 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşC} = N_{eşC} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778 \text{ m}$; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşC} = N_{eşC} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşC} = 1.496 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşC} = 6.803 * 10^{10} \text{ km}$$

5.8 D Bölgesi için (Sayfa 150, Ek 6)

$$\frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{86.003} + \frac{0.87}{46.315} + \frac{0.06}{30.806} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 46.312 \text{ N/mm}^2$$

$$\log N = 14.842 - \frac{\sigma_g}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38}$$

$$\log N = 14.842 - \frac{46.312/2}{38} \Rightarrow \log N = 14.842 - 0.609$$

$$\log N = 14.232$$

$$\Rightarrow N_{eşD} = 10^{14.232} = 1.706 * 10^{14} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eşD} = N_{eşD} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eşD} = N_{eşD} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşD} = 1.706 * 10^{14} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eşD} = 7.758 * 10^{10} \text{ km}$$

- Sonuç olarak araç B bölgesinde $\epsilon=1$ için minimum $L_{eşB}$ değeri bulunmuştur. Mak. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu'nun "Gtd model 4x4 askeri aracın aktarma elemanlarının birikimli hasar durumlarına göre ömür değerlendirmeleri" yüksek lisans tezinde belirttiği gibi araç ömrünün %8'ini ($C_0=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür;

$$L_{eşBeff} = \frac{L_{eşB}}{0.08} = \frac{3.942 * 10^{10}}{0.08} = 4.927 * 10^{11} \text{ km}$$

6. ÖN KÖPRÜ AYNA DİŞLİSİ İÇİN HESAPLAMALAR

Ön köprü ayna dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 173, Ek 28'de verilmiştir. 1. Vites 4x4 ve 2. Vites 4x4 durumları için gerilme analiz resimleri Sayfa 174, 175 Ek 29, 30'da verilmiştir.

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{1.654 \cdot 10^2} + \frac{0.87}{9.013 \cdot 10} + \frac{0.06}{1.008 \cdot 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

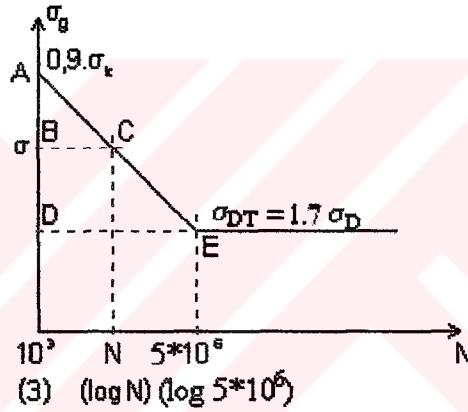
$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 93.71 \text{ N/mm}^2$$

Ayna dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının sayfa 87, tablo-3.1' den ıslah çeliği için çekme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$



Şekil 6.1 Ön köprü ayna dişlisi için Wöhler diyagramı

$$\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$$

$$\sigma_D=0.44\sigma_k \Rightarrow \sigma_{DT}=1.7 \cdot 0.44 \cdot \sigma_k = 1.7 \cdot 0.44 \cdot 930 = 695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9 \cdot 930 - \sigma_g}{0.9 \cdot 930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

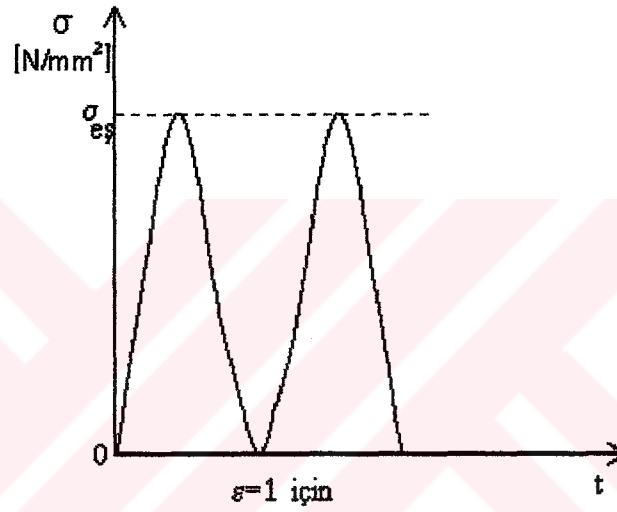
$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

(6.1)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ε =Kavrama Oranı



Şekil 6.2 Ön Köprü ayna dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{93.71/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{46.855}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 23.670$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{23.670} = 4.677 * 10^{23} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t = 0.778$ m; teker çapı

$i = 5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 4.677 * 10^{23} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 6.770 * 10^{19} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{6.770 * 10^{19}}{0.08} = 8.462 * 10^{20} \text{ km}$$

7. ÖN KÖPRÜ MAHRUTİ DİŞLİSİ İÇİN HESAPLAMALAR

Ön köprü ayna dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 167, Ek 22'de verilmiştir. 1. Vites 4×4 ve 2. Vites 4×4 durumları için gerilme analiz resimleri Sayfa 168, 169 Ek 23, 24'da verilmiştir.

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{2.778 * 10^2} + \frac{0.87}{1.514 * 10^2} + \frac{0.06}{1.008 * 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

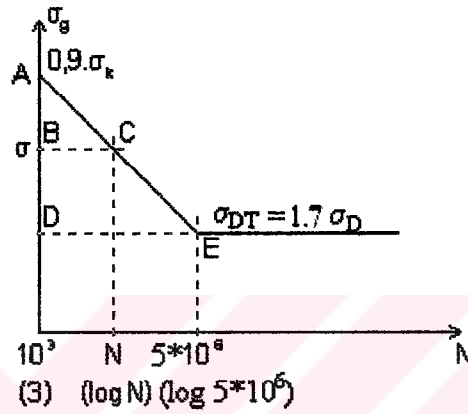
$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 151.662 \text{ N/mm}^2$$

Ayna dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için çekme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$



Şekil 7.1 Ön köprü mahrutu dişli için Wöhler diyagramı

$$\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$$

$$\sigma_D=0.44\sigma_K \Rightarrow \sigma_{DT}=1.7*0.44*\sigma_K=1.7*0.44*930=695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9*930 - \sigma_g}{0.9*930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

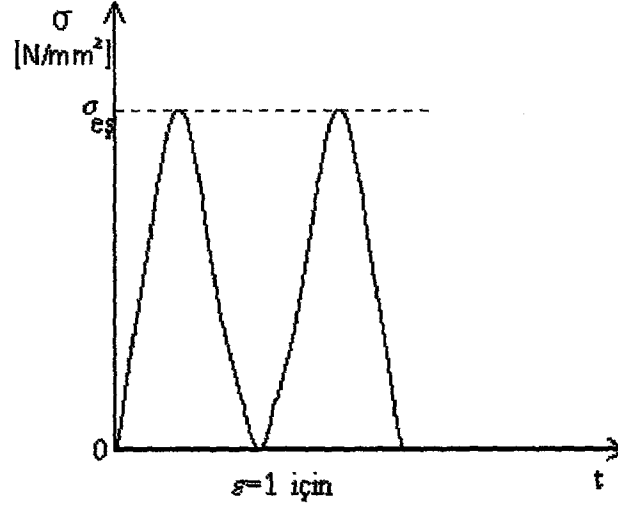
$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\boxed{\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}}$$

(6.1)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ε =Kavrama Oranı



Şekil 7.2 Ön köprü mahrutu dişli için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{151.662/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{75.831}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 22.912$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{22.912} = 8.165 \cdot 10^{22} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{e\dot{s}} = N_{e\dot{s}} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\dot{s}} = 8.165 * 10^{22} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\dot{s}} = 3.712 * 10^{19} \text{ km}$$

$$L_{e\dot{s} \text{ eff}} = \frac{L_{e\dot{s}}}{0.08} = \frac{3.712 * 10^{19}}{0.08} = 4.641 * 10^{20} \text{ km}$$

8. RULMAN ÖMRÜ HESAPLARI

Rulman hesabı katalog değerine ve gerçek ömür değerine göre olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Rulman hesaplarında TIMKEN firmasının konik makaralı rulman kataloğundan yararlanılmıştır.

8.1 Katalog Değerine Göre Ömür Hesabı

8.1.1 Arka Köprü Mahruti İç Rulmanı

Rulman parça numarası: 31594-31520A

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 228-229'dan:

$C_{90} = 22700 \text{ N}$; $X = 0.49$, $Y = 1.49$ olarak bulunur.

$$F_R = \sqrt{A_{rc}^2 + A_{uc}^2} \quad (8.1)$$

Dinamik eşdeğer radyal yük:

$$P_{e\dot{s}} = X * F_R + Y * F_a \quad (8.2)$$

$$\Rightarrow F_R = \sqrt{(9170.12)^2 + (44812.94)^2} = 45741.564 \text{ N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.49 * 45741.564 + 1.49 * 13605.079$$

$$P_{e\dot{s}} = 42684.934 \text{ N}$$

Mak. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu'nun "Gtd model 4×4 askeri aracın aktarma elemanlarının birikimli hasar durumlarına göre ömür değerlendirmeleri" yüksek lisans tezi Sayfa 52, Çizelge 2.4'ten alınmıştır. (Ayaroğlu, 2002)

8.1.1.1 I. Vites 4×2 Durumu

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 1} = 394.186 \text{ dev/dak}$$

Timken konik makaralı rulman kataloğuna göre rulman ömrü:

$$L_{10} = \left(\frac{C_{90}}{P_{eş}} \right)^{10/3} * 90 * 10^6 \text{ (devir)}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C_{90}}{P_{eş}} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{n} \right) \text{ (saat)}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{42684.934} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{394.186} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 463.787 \text{ saat}$$

Çizelge 8.1 Motor ortalama tork değerleri (N.m)

		ÖLÇÜMLER									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Ort. Tork.
1. VİTES	Devir	1200	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000		
	Tork	156	184	208	224	224	220	214	208		205
2. VİTES	Devir	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500	
	Tork	184	208	224	224	220	214	208	200	192	208
3. VİTES	Devir	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500		
	Tork	208	224	224	220	214	208	200	192		211
4. VİTES	Devir	2000	2250	2500	2750	3000	3200				
	Tork	224	224	220	214	208	202				215
5. VİTES	Devir	2500	2750	3000	3250	3500	3600				
	Tork	220	214	208	200	194	192				205

8.1.1.2 II. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(7128.967)^2 + (24424.45)^2} = 25443.583\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.49 * 25443.583 + 1.49 * 8532.28$$

$$P_{eş} = 25180.452\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2500}{5.375 * 1} = 465.116\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{25180.452}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{465.116}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 2283.255\text{saat}$$

8.1.1.3 III. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(4745.861)^2 + (16259.731)^2} = 16938.183$$

$$P_{eş} = 0.49 * 16938.138 + 1.49 * 5709.551$$

$$P_{eş} = 16806.918\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2625}{5.375 * 1} = 488.372\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{16806.918}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{488.372}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 8364.171\text{saat}$$

8.1.1.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3289.68)^2 + (11270.729)^2} = 11741.01\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.49 * 11741.01 + 1.49 * 3957.679$$

$$P_{e\dot{s}} = 11650.036\text{N}$$

$$n_{\text{mahruți}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3200}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2616.666\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruți}} = \frac{2616.666}{5.375 * 1} = 486.821\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{11650.036}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{486.821}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 28463.437\text{saat}$$

8.1.1.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2572.07)^2 + (8812.137)^2} = 9179.831\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.49 * 9179.831 + 1.49 * 3094.353$$

$$P_{e\dot{s}} = 9108.703\text{N}$$

$$n_{\text{mahruți}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500 + 3600}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 3100\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruți}} = \frac{3100}{5.375 * 1} = 576.744\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{9108.703}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{576.744}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 54559.917\text{saat}$$

8.1.1.6 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(13145.327)^2 + (45037.021)^2} = 46916.232\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.49 * 46916.232 + 1.49 * 15814.603$$

$$P_{eş} = 46552.712\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{46552.712}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 698.20\text{saat}$$

8.1.1.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(7164.62)^2 + (24546.60)^2} = 25570.83\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.49 * 25570.83 + 1.49 * 8619.459$$

$$P_{eş} = 25372.70\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{25372.70}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 4473.073\text{saat}$$

8.1.1.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(4769.594)^2 + (16341.043)^2} = 17022.887\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.49 * 17022.887 + 1.49 * 5738.104$$

$$P_{eş} = 16890.989\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{16890.989}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 16534.71\text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_1}{L_{h1}} + \frac{C_2}{L_{h2}} + \frac{C_3}{L_{h3}} + \frac{C_4}{L_{h4}} + \frac{C_5}{L_{h5}} + \frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.03}{351.45} + \frac{0.28}{2283.255} + \frac{0.43}{8364.171} + \frac{0.13}{28463.437} + \frac{0.04}{54559.917} + \frac{0.07}{698.20} + \frac{0.87}{4473.073} + \frac{0.06}{16534.711} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 1775.926\text{saat}$$

$$\Rightarrow L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{1775.926}{0.08} = 22199.075\text{saat}$$

8.1.2 Arka Köprü Mahruti Dış Rulmanı

Rulman parça numarası: 02872-02820

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 166-167'den:

$C_{90}=15800\text{ N}$; $X=0.45$, $Y=1.32$ olarak bulunur.

$$F_R = \sqrt{A_{rD}^2 + A_{uD}^2} \quad (8.3)$$

Dinamik eşdeğer radyal yük:

$$P_{eş} = X * F_R + Y * F_a \quad (8.4)$$

8.1.2.1 I. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(7357.79)^2 + (12829.368)^2} = 14789.515N$$

$$P_{eş} = 0.45 * 14789.515 + 1.32 * 15780.346$$

$$P_{eş} = 27485.338N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 1} = 394.186 \text{ dev/dak}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C_{90}}{P_{eş}} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{n} \right) (\text{saat})$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{27485.338} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{394.186} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 601.160 \text{ saat}$$

8.1.2.2 II. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(9988.565)^2 + (17432.051)^2} = 20090.988N$$

$$P_{eş} = 0.45 * 20090.988 + 1.32 * 8532.28$$

$$P_{eş} = 20303.554N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 1} = 465.116 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{20303.554} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{465.116} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 1398.029 \text{ saat}$$

8.1.2.3 III. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2667.286)^2 + (4654.951)^2} = 5364.97$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.45 * 5364.97 + 1.32 * 5709.551$$

$$P_{e\text{ş}} = 9950.843 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2625}{5.375 * 1} = 488.372 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{9950.843} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{488.372} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 14341.60 \text{ saat}$$

8.1.2.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1848.878)^2 + (3226.642)^2} = 3718.812 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.45 * 3718.812 + 1.32 * 3957.679$$

$$P_{e\text{ş}} = 6897.601 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3200}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2616.666 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2616.666}{5.375 * 1} = 486.821 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{6897.601} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{486.821} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 48805.10 \text{ saat}$$

8.1.2.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1445.564)^2 + (3226.642)^2} = 3535.657 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.45 * 3535.657 + 1.32 * 3094.353$$

$$P_{eş} = 5675.591 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500 + 3600}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 3100 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{3100}{5.375 * 1} = 576.744 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{5675.591} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{576.744} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 78906.59 \text{ saat}$$

8.1.2.6 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(7387.985)^2 + (12893.517)^2} = 14860.185 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.45 * 14860.185 + 1.32 * 15814.603$$

$$P_{eş} = 27562.359 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{27562.359} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 1197.129 \text{ saat}$$

8.1.2.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(4026.686)^2 + (7027.374)^2} = 8099.27 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.45 * 8099.27 + 1.32 * 8619.459$$

$$P_{e\text{ş}} = 15022.357 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{15022.357} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 7669.881 \text{ saat}$$

8.1.2.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2680.625)^2 + (4678.229)^2} = 5391.806 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.45 * 5391.806 + 1.32 * 5738.104$$

$$P_{e\text{ş}} = 10000.610 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{10000.610} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 28351.274 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_1}{L_{h1}} + \frac{C_2}{L_{h2}} + \frac{C_3}{L_{h3}} + \frac{C_4}{L_{h4}} + \frac{C_5}{L_{h5}} + \frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.03}{601.160} + \frac{0.28}{1398.029} + \frac{0.43}{14341.60} + \frac{0.13}{48805.101} + \frac{0.04}{78906.59} + \frac{0.07}{1197.129} + \frac{0.87}{7669.881} + \frac{0.06}{28351.274} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 2186.48 \text{ saat}$$

$$L_{eşeff} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{2186.48}{0.08} = 27331 \text{ saat}$$

8.1.3 Ön Köprü Mahruti İç Rulmanı

Rulman parça numarası: HM88610-HM88649

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 170-171'den:

$C_{90}=18400 \text{ N}$; $X=0.55$, $Y=1.10$ olarak bulunur.

$$F_R = \sqrt{A_{rC}^2 + A_{uC}^2} \quad (8.5)$$

Dinamik eşdeğer radyal yük:

$$P_{eş} = X * F_R + Y * F_a \quad (8.6)$$

8.1.3.1 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(12146.80)^2 + (54952.698)^2} = 56279.159\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.55 * 56279.159 + 1.10 * 17693.191$$

$$P_{e\dot{s}} = 50416.047\text{N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{18400}{50416.047}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 265.807\text{saat}$$

8.1.3.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(12702.469)^2 + (29950.958)^2} = 32533.253\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.55 * 32533.253 + 1.10 * 9643.348$$

$$P_{e\dot{s}} = 28500.971\text{N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{18400}{28500.971}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 1507.705\text{saat}$$

8.1.3.3 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(8456.225)^2 + (19938.806)^2} = 21657.879N$$

$$P_{eş} = 0.55 * 21657.879 + 1.10 * 6419.723$$

$$P_{eş} = 18973.528N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{18400}{18973.528} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 5573.23 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.07}{265.807} + \frac{0.87}{1507.705} + \frac{0.06}{5573.23} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 1174.88 \text{ saat}$$

$$L_{eşeff} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{1174.88}{0.08} = 14686 \text{ saat}$$

8.1.4 Ön Köprü Mahruti Dış Rulmanı

Rulman parça numarası: 02872-02820

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 166-167'den:

$C_{90} = 15800 \text{ N}$; $X = 0.45$, $Y = 1.32$ olarak bulunur.

$$F_R = \sqrt{A_{rD}^2 + A_{uD}^2} \quad (8.7)$$

Dinamik eşdeğer radyal yük:

$$P_{eş} = X * F_R + Y * F_a \quad (8.8)$$

8.1.4.1 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(6480.578)^2 + (15280.456)^2} = 16597.898N$$

$$P_{eş} = 0.45 * 16597.898 + 1.32 * 17693.191$$

$$P_{eş} = 30824.066N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{30824.066} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 824.604 \text{ saat}$$

8.1.4.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(12702.469)^2 + (8328.322)^2} = 15189.261N$$

$$P_{eş} = 0.45 * 15189.261 + 1.32 * 9643.348$$

$$P_{eş} = 19564.386N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{19564.386} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 3179.751 \text{ saat}$$

8.1.4.3 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2351.385)^2 + (5544.296)^2} = 6022.31 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.45 * 6022.31 + 1.32 * 6419.723$$

$$P_{eş} = 11184.073 \text{ N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{11184.073} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 19528.869 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.07}{824.604} + \frac{0.87}{3179.751} + \frac{0.06}{19528.869} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 2765.73 \text{ saat}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{27765.731}{0.08} = 347071.637 \text{ saat}$$

8.1.5 Arka Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı

8.1.5.1 A Yatağı için

Rulman parça numarası: 025577-25522

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90}=21700 \text{ N}$; $X=0.33$, $Y=1.79$ olarak bulunur.

8.1.5.1.1 I. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(5657.169)^2 + (11465.941)^2} = 12785.592 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.33 * 12785.592 + 1.79 * 18342.971$$

$$P_{eş} = 37053.163 \text{ N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 1} = 394.186 \text{ dev/dak}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C_{90}}{P_{e\dot{s}}}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{n}\right) (\text{saat})$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{37053.163}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{394.186}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 639.61 \text{ saat}$$

8.1.5.1.2 II. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3058.77)^2 + (6249.29)^2} = 6957.707 \text{ N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.33 * 6957.707 + 1.79 * 9988.565$$

$$P_{e\dot{s}} = 20175.574 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 1} = 465.116 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{20175.574}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{465.116}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 4111.26 \text{ saat}$$

8.1.5.1.3 III. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2046.84)^2 + (4160.251)^2} = 4636.51 \text{ N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.33 * 4636.51 + 1.79 * 6649.538$$

$$P_{e\dot{s}} = 13432.721 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2625}{5.375 * 1} = 488.372 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{13432.721} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{488.372} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 15169.292 \text{ saat}$$

8.1.5.1.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1418.806)^2 + (2883.754)^2} = 3213.883 \text{ N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.33 * 3213.883 + 1.79 * 4609.249$$

$$P_{e\dot{s}} = 9311.137 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3200}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2616.666 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2616.666}{5.375 * 1} = 486.821 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{9311.137} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{486.821} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 51695.91 \text{ saat}$$

8.1.5.1.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1109.308)^2 + (2254.693)^2} = 2512.808 \text{ N}$$

$$P_{e\dot{s}} = 0.33 * 2512.808 + 1.79 * 3603.789$$

$$P_{e\dot{s}} = 7280.008 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500 + 3600}{6}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 3100 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{3100}{5.375 * 1} = 576.744 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{7280.008} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{576.744} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 99093.002 \text{ saat}$$

8.1.5.1.6 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(5669.45)^2 + (11523.274)^2} = 12842.449 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.33 * 12842.449 + 1.79 * 18418.228$$

$$P_{e\text{ş}} = 37206.636 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{37206.636} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 1268.043 \text{ saat}$$

8.1.5.1.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3090.029)^2 + (6280.548)^2} = 6999.54 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.33 * 6999.54 + 1.79 * 10038.516$$

$$P_{e\text{ş}} = 20278.791 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{20278.791} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 8124.132 \text{ saat}$$

8.1.5.1.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2057.079)^2 + (4181.056)^2} = 4659.699 \text{ N}$$

$$P_{e\text{ş}} = 0.33 * 4659.699 + 1.79 * 6682.792$$

$$P_{e\text{ş}} = 13499.898 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{13499.898} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 30030.709 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_1}{L_{h1}} + \frac{C_2}{L_{h2}} + \frac{C_3}{L_{h3}} + \frac{C_4}{L_{h4}} + \frac{C_5}{L_{h5}} + \frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.03}{639.61} + \frac{0.28}{4111.26} + \frac{0.43}{15169.292} + \frac{0.13}{51695.911} + \frac{0.04}{99093.002} + \frac{0.07}{1268.043} + \frac{0.87}{8124.132} + \frac{0.06}{30030.709}$$

$$= \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 3219.95 \text{ saat}$$

$$L_{eşeff} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{3219.95}{0.08} = 40249.375 \text{ saat}$$

8.1.5.2 B Yatağı için

Rulman parça numarası: 025577-25522

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90}=21700 \text{ N}$; $X=0.33$, $Y=1.79$ olarak bulunur.

8.1.5.2.1 I. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1985.044)^2 + (4034.642)^2} = 4496.524 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.33 * 4496.524 + 1.79 * 18342.971$$

$$P_{eş} = 34317.771 \text{ N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 1} = 394.186 \text{ dev/dak}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C_{90}}{P_{eş}} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{n} \right) (\text{saat})$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{34317.771} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{394.186} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 825.895 \text{ saat}$$

8.1.5.2.2 II. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(5473.50)^2 + (11182.75)^2} = 12450.425\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.33 * 12450.425 + 1.79 * 9988.565$$

$$P_{eş} = 21988.171\text{N}$$

$$n_{mahru\text{ti}} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahru\text{ti}} = \frac{2500}{5.375 * 1} = 465.116\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{21988.171}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{465.116}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 3086.27\text{saat}$$

8.1.5.2.3 III. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3662.707)^2 + (7444.528)^2} = 8296.771\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.33 * 8269.771 + 1.79 * 6649.538$$

$$P_{eş} = 14640.607\text{N}$$

$$n_{mahru\text{ti}} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahru\text{ti}} = \frac{2625}{5.375 * 1} = 488.372\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{14640.607}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{488.372}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 11401.247\text{saat}$$

8.1.5.2.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2538.872)^2 + (5160.31)^2} = 5751.058N$$

$$P_{eş} = 0.33 * 5751.058 + 1.79 * 4609.249$$

$$P_{eş} = 10148.404N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3200}{6}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2616.666 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2616.666}{5.375 * 1} = 486.821 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{10148.404} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{486.821} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 38798.812 \text{ saat}$$

8.1.5.2.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$F_R = \sqrt{(1985.044)^2 + (4034.642)^2} = 4496.524N$$

$$P_{eş} = 0.33 * 4496.524 + 1.79 * 3603.789$$

$$P_{eş} = 7934.635N$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 1; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500 + 3600}{6}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 3100 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{3100}{5.375 * 1} = 576.744 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{7934.635} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{576.744} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 74371.242 \text{ saat}$$

8.1.5.2.6 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(10145.152)^2 + (20620.229)^2} = 22980.817N$$

$$P_{eş} = 0.33 * 22980.817 + 1.79 * 18418.228$$

$$P_{eş} = 40552.297N$$

$$n_{mahru\text{ti}} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahru\text{ti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{40552.297} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 951.691 \text{ saat}$$

8.1.5.2.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(5529.429)^2 + (11238.677)^2} = 12525.272N$$

$$P_{eş} = 0.33 * 12525.272 + 1.79 * 10038.516$$

$$P_{eş} = 22102.288N$$

$$n_{mahru\text{ti}} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahru\text{ti}} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{22102.288} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 21193.015 \text{ saat}$$

8.1.5.2.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3681.024)^2 + (7481.757)^2} = 8338.262\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.33 * 8338.262 + 1.79 * 6682.792$$

$$P_{eş} = 14713.824\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{14713.824} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 22512.391\text{saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_1}{L_{h1}} + \frac{C_2}{L_{h2}} + \frac{C_3}{L_{h3}} + \frac{C_4}{L_{h4}} + \frac{C_5}{L_{h5}} + \frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.03}{825.895} + \frac{0.28}{3086.27} + \frac{0.43}{11401.247} + \frac{0.13}{38798.812} + \frac{0.04}{74371.242} + \frac{0.07}{951.691} + \frac{0.87}{21193.015} + \frac{0.06}{22512.391} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 3497.457\text{saat}$$

$$L_{eşeff} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{3497.457}{0.08} = 43718.212\text{saat}$$

8.1.6 Ön Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı

8.1.6.1 A Yatağı için

Rulman parça numarası: LM501349-LM501310

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90}=15100$ N; $X=0.40$, $Y=1.50$ olarak bulunur.

8.1.6.1.1 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(6495.751)^2 + (14654.983)^2} = 16030.075\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.40 * 16030.075 + 1.50 * 16825.353$$

$$P_{eş} = 31650.059\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{31650.059}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 649.048\text{saat}$$

8.1.6.1.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(3540.39)^2 + (7938.376)^2} = 8692.075\text{N}$$

$$P_{eş} = 0.40 * 8692.075 + 1.50 * 9170.349$$

$$P_{eş} = 17232.353\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2500 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{17232.353} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 4173.685 \text{ saat}$$

8.1.6.1.3 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(2356.891)^2 + (5284.697)^2} = 5786.446 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.40 * 5786.446 + 1.50 * 6104.84$$

$$P_{eş} = 11471.838 \text{ N}$$

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2625 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{11471.838} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 15429.289 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.07}{649.048} + \frac{0.87}{4173.685} + \frac{0.06}{15429.289} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 3123.166 \text{ saat}$$

$$L_{e\check{s}eff} = \frac{L_{e\check{s}}}{0.08} = \frac{3123.166}{0.08} = 39039.575\text{saat}$$

8.1.6.2 B Yatağı için

Rulman parça numarası: LM501349-LM501310

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90}=15100$ N; $X=0.40$, $Y=1.50$ olarak bulunur.

:8.1.6.2.1 I. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(11197.439)^2 + (14564.983)^2} = 18371.754\text{N}$$

$$P_{e\check{s}} = 0.40 * 18371.754 + 1.50 * 16825.353$$

$$P_{e\check{s}} = 32586.731\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{32586.731}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 589.056\text{saat}$$

8.1.6.2.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(6102.958)^2 + (13684.249)^2} = 14983.483\text{N}$$

$$P_{e\check{s}} = 0.40 * 14983.483 + 1.50 * 9170.349$$

$$P_{e\check{s}} = 19748.916\text{N}$$

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{9}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2500 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruiti} = \frac{2500}{5.375 * 2.01} = 231.401 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{19748.916} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{231.401} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 2649.783 \text{ saat}$$

8.1.6.2.3 III. Vites 4×4 Durumu

$$F_R = \sqrt{(4062.831)^2 + (9109.812)^2} = 9974.731 \text{ N}$$

$$P_{eş} = 0.40 * 9974.731 + 1.50 * 6104.84$$

$$P_{eş} = 13147.152 \text{ N}$$

$$n_{mahruiti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000 + 3250 + 3500}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2625 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruiti} = \frac{2625}{5.375 * 2.01} = 242.971 \text{ dev / dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{13147.152} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{242.971} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 9794.92 \text{ saat}$$

Eşdeğer Ömür:

$$\frac{C_6'}{L_{h6}} + \frac{C_7'}{L_{h7}} + \frac{C_8'}{L_{h8}} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\frac{0.07}{589.056} + \frac{0.87}{2649.783} + \frac{0.06}{9794.92} = \frac{1}{L_{heş}}$$

$$\Rightarrow L_{heş} = 2206.10 \text{ saat}$$

$$L_{e\check{s}eff} = \frac{L_{e\check{s}}}{0.08} = \frac{2206.10}{0.08} = 27576.25\text{saat}$$

8.2 Gerçek Ömür Hesabı

8.2.1 Arka Köprü Mahruti İç Rulmanı

Rulman parça numarası: 31594-31520A

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 228-229'dan:

$C_{90}=22700$ N; $X=0.49$, $Y=1.49$ olarak bulunur.

$$A_{R_n} = F_{R_n} = \sqrt{A_{r_n}^2 + A_{u_n}^2}$$

(8.9)

$$A_{R_1} = F_{R_1} = \sqrt{A_{r_1}^2 + A_{u_1}^2} = \sqrt{(13091.61)^2 + (44812.94)^2} = 46686.077\text{N}$$

$$A_{R_2} = F_{R_2} = \sqrt{(7128.967)^2 + (24424.45)^2} = 25443.583\text{N}$$

$$A_{R_3} = F_{R_3} = \sqrt{(4745.861)^2 + (16259.731)^2} = 16938.183\text{N}$$

$$A_{R_4} = F_{R_4} = \sqrt{(3289.68)^2 + (11270.729)^2} = 11741.01\text{N}$$

$$A_{R_5} = F_{R_5} = \sqrt{(2572.07)^2 + (8812.137)^2} = 9179.831\text{N}$$

$$A_{R_6} = F_{R_6} = \sqrt{(13145.327)^2 + (45037.021)^2} = 46913.232\text{N}$$

$$A_{R_7} = F_{R_7} = \sqrt{(7164.62)^2 + (24546.60)^2} = 25570.83\text{N}$$

$$A_{R_8} = F_{R_8} = \sqrt{(4769.594)^2 + (16341.043)^2} = 17022.887\text{N}$$

$$\frac{C_1}{A_{R_1}} + \frac{C_2}{A_{R_2}} + \frac{C_3}{A_{R_3}} + \frac{C_4}{A_{R_4}} + \frac{C_5}{A_{R_5}} + \frac{C_6'}{A_{R_6}} + \frac{C_7'}{A_{R_7}} + \frac{C_8'}{A_{R_8}} = \frac{1}{A_{R_{e\check{s}}}}$$

$$\frac{0.03}{46686.077} + \frac{0.28}{25443.583} + \frac{0.43}{16938.183} + \frac{0.13}{11741.01} + \frac{0.04}{9179.831} + \frac{0.07}{46913.232} + \frac{0.87}{25570.83} + \frac{0.06}{17022.887}$$

$$= \frac{1}{A_{R_{e\dot{s}}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{e\dot{s}}} = F_{R_{e\dot{s}}} = 10928.559\text{N}$$

$$\frac{C_1}{A_{a_1}} + \frac{C_2}{A_{a_2}} + \frac{C_3}{A_{a_3}} + \frac{C_4}{A_{a_4}} + \frac{C_5}{A_{a_5}} + \frac{C_6'}{A_{a_6}} + \frac{C_7'}{A_{a_7}} + \frac{C_8'}{A_{a_8}} = \frac{1}{A_{a_{e\dot{s}}}}$$

$$\frac{0.03}{15780.346} + \frac{0.28}{8532.28} + \frac{0.43}{5709.551} + \frac{0.13}{3957.679} + \frac{0.04}{3094.353} + \frac{0.07}{15814.603} + \frac{0.87}{8619.459} + \frac{0.06}{5738.104}$$

$$= \frac{1}{A_{a_{e\dot{s}}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{e\dot{s}}} = F_{a_{e\dot{s}}} = 3681.594\text{N}$$

Eşdeğer radyal yük:

$$P_{e\dot{s}} = X * F_{R_{e\dot{s}}} + Y * F_{a_{e\dot{s}}}$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 0.49 * 10928.559 + 1.49 * 3681.594$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 10840.568\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4x4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{22700}{10840.568} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 89825.006\text{saat}$$

8.2.2 Arka Köprü Mahrutu Dış Rulmanı

Rulman parça numarası: 02872-02820

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 166-167'den:

$C_{90}=15800$ N; $X=0.45$, $Y=1.32$ olarak bulunur.

$$A_{R1} = F_{R1} = \sqrt{(7357.79)^2 + (12829.368)^2} = 14789.51\text{N}$$

$$A_{R2} = F_{R2} = \sqrt{(4006.64)^2 + (6992.40)^2} = 8058.959\text{N}$$

$$A_{R3} = F_{R3} = \sqrt{(2667.286)^2 + (4654.951)^2} = 5364.977\text{N}$$

$$A_{R4} = F_{R4} = \sqrt{(3289.68)^2 + (11270.729)^2} = 11741.01\text{N}$$

$$A_{R5} = F_{R5} = \sqrt{(1445.564)^2 + (2522.801)^2} = 2907.607\text{N}$$

$$A_{R6} = F_{R6} = \sqrt{(7387.985)^2 + (12893.517)^2} = 14860.185\text{N}$$

$$A_{R7} = F_{R7} = \sqrt{(4026.686)^2 + (7027.374)^2} = 8099.27\text{N}$$

$$A_{R8} = F_{R8} = \sqrt{(2680.625)^2 + (4678.229)^2} = 5391.806\text{N}$$

$$\frac{C_1}{A_{R1}} + \frac{C_2}{A_{R2}} + \frac{C_3}{A_{R3}} + \frac{C_4}{A_{R4}} + \frac{C_5}{A_{R5}} + \frac{C_6'}{A_{R6}} + \frac{C_7'}{A_{R7}} + \frac{C_8'}{A_{R8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.03}{14789.51} + \frac{0.28}{8058.959} + \frac{0.43}{5364.977} + \frac{0.13}{11741.01} + \frac{0.04}{2907.607} + \frac{0.07}{14860.185} + \frac{0.87}{8099.27} + \frac{0.06}{5391.806} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 3773.487\text{N}$$

$$\frac{C_1}{A_{a1}} + \frac{C_2}{A_{a2}} + \frac{C_3}{A_{a3}} + \frac{C_4}{A_{a4}} + \frac{C_5}{A_{a5}} + \frac{C_6'}{A_{a6}} + \frac{C_7'}{A_{a7}} + \frac{C_8'}{A_{a8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.03}{15780.346} + \frac{0.28}{8532.28} + \frac{0.43}{5709.551} + \frac{0.13}{3957.679} + \frac{0.04}{3094.353} + \frac{0.07}{15814.603} + \frac{0.87}{8619.459} + \frac{0.06}{5738.104}$$

$$= \frac{1}{A_{a_{e\dot{s}}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{e\dot{s}}} = F_{a_{e\dot{s}}} = 3681.594\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = X * F_{R_{e\dot{s}}} + Y * F_{a_{e\dot{s}}}$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 0.45 * 3773.487 + 1.32 * 3681.594$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 6557.773\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4x4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{6557.773} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 143410.565 \text{saat}$$

8.2.3 Ön Köprü Mahruti İç Rulmanı

Rulman parça numarası: HM88610-HM88649

Timken konik makaralı rulman kataloğu sayfa 170-171'den:

$C_{90}=18400 \text{ N}$; $X=0.55$, $Y=1.10$ olarak bulunur.

$$A_{R_1} = F_{R_1} = \sqrt{(12146.80)^2 + (54952.698)^2} = 56279.159\text{N}$$

$$A_{R_2} = F_{R_2} = \sqrt{(12702.469)^2 + (29950.958)^2} = 32533.253\text{N}$$

$$A_{R_3} = F_{R_3} = \sqrt{(8456.225)^2 + (19938.806)^2} = 21657.879\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{R6}} + \frac{C_7'}{A_{R7}} + \frac{C_8'}{A_{R8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{56279.159} + \frac{0.87}{32533.253} + \frac{0.06}{21657.879} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 32513.956N$$

$$\frac{C_6'}{A_{a6}} + \frac{C_7'}{A_{a7}} + \frac{C_8'}{A_{a8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{17693.191} + \frac{0.87}{9643.348} + \frac{0.06}{6419.723} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{eş}} = F_{a_{eş}} = 9659.954N$$

$$P_{eş} = X * F_{R_{eş}} + Y * F_{a_{eş}}$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 0.55 * 32513.956 + 1.10 * 9659.954$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 28508.625N$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4×4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{18400}{28508.625} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 1777.43 \text{ saat}$$

8.2.4 Ön Köprü Mahrutu Dış Rulmanı

Rulman parça numarası: 02872-02820

Timken konik makaralı rulman kataloğu sayfa 166-167'den:

$C_{90}=15800$ N; $X=0.45$, $Y=1.32$ olarak bulunur.

$$A_{R_1} = F_{R_1} = \sqrt{(6480.578)^2 + (15280.456)^2} = 16597.898\text{N}$$

$$A_{R_2} = F_{R_2} = \sqrt{(12702.469)^2 + (8328.332)^2} = 15189.267\text{N}$$

$$A_{R_3} = F_{R_3} = \sqrt{(2351.385)^2 + (5544.296)^2} = 6022.31\text{N}$$

$$\frac{C_1}{A_{R_1}} + \frac{C_2}{A_{R_2}} + \frac{C_3}{A_{R_3}} + \frac{C_4}{A_{R_4}} + \frac{C_5}{A_{R_5}} + \frac{C_6'}{A_{R_6}} + \frac{C_7'}{A_{R_7}} + \frac{C_8'}{A_{R_8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{16597.898} + \frac{0.87}{15189.267} + \frac{0.06}{6022.31} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 13994.304\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{a_6}} + \frac{C_7'}{A_{a_7}} + \frac{C_8'}{A_{a_8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{17693.191} + \frac{0.87}{9643.348} + \frac{0.06}{6419.723} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{eş}} = F_{a_{eş}} = 9659.954\text{N}$$

$$P_{eş} = X * F_{R_{eş}} + Y * F_{a_{eş}}$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 0.45 * 13994.304 + 1.32 * 9659.954$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 19048.576\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4×4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{\text{tr}}}$$

$$i_{\text{tr}} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15800}{19048.576} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 4101.416 \text{ saat}$$

8.2.5 Arka Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı

Rulman parça numarası: 25577-25522

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90} = 21700 \text{ N}$; $X = 0.33$, $Y = 1.79$ olarak bulunur.

8.2.5.1 A Yatağı için

$$A_{R1} = F_{R1} = \sqrt{(5657.169)^2 + (11465.941)^2} = 12785.592 \text{ N}$$

$$A_{R2} = F_{R2} = \sqrt{(3058.77)^2 + (6249.29)^2} = 6957.707 \text{ N}$$

$$A_{R3} = F_{R3} = \sqrt{(2046.84)^2 + (4160.251)^2} = 4636.511 \text{ N}$$

$$A_{R4} = F_{R4} = \sqrt{(1418.806)^2 + (2883.754)^2} = 3213.883 \text{ N}$$

$$A_{R5} = F_{R5} = \sqrt{(1109.308)^2 + (2254.693)^2} = 2512.808 \text{ N}$$

$$A_{R6} = F_{R6} = \sqrt{(5669.45)^2 + (11523.274)^2} = 12842.449 \text{ N}$$

$$A_{R7} = F_{R7} = \sqrt{(3090.029)^2 + (6280.548)^2} = 6999.54 \text{ N}$$

$$A_{R8} = F_{R8} = \sqrt{(2395.745)^2 + (4181.056)^2} = 4818.798 \text{ N}$$

$$\frac{C_1}{AR_1} + \frac{C_2}{AR_2} + \frac{C_3}{AR_3} + \frac{C_4}{AR_4} + \frac{C_5}{AR_5} + \frac{C_6'}{AR_6} + \frac{C_7'}{AR_7} + \frac{C_8'}{AR_8} = \frac{1}{AR_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{12785.592} + \frac{0.28}{6957.707} + \frac{0.43}{4636.511} + \frac{0.13}{3213.883} + \frac{0.04}{2512.808} + \frac{0.07}{12842.449} + \frac{0.87}{6999.54} + \frac{0.06}{4818.798} = \frac{1}{AR_{eş}}$$

$$\Rightarrow AR_{eş} = FR_{eş} = 2994.949N$$

$$\frac{C_1}{Aa_1} + \frac{C_2}{Aa_2} + \frac{C_3}{Aa_3} + \frac{C_4}{Aa_4} + \frac{C_5}{Aa_5} + \frac{C_6'}{Aa_6} + \frac{C_7'}{Aa_7} + \frac{C_8'}{Aa_8} = \frac{1}{Aa_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{18342.971} + \frac{0.28}{9988.565} + \frac{0.43}{6649.538} + \frac{0.13}{4609.249} + \frac{0.04}{3603.789} + \frac{0.07}{18418.228} + \frac{0.87}{10038.516} + \frac{0.06}{6682.792} = \frac{1}{Aa_{eş}}$$

$$\Rightarrow Aa_{eş} = Fa_{eş} = 4290.329N$$

$$Peş = X * FR_{eş} + Y * Fa_{eş}$$

$$\Rightarrow Peş = 0.33 * 2994.949 + 1.79 * 4290.329$$

$$\Rightarrow Peş = 8668.022N$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4×4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{8668.022}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 162901.257 \text{ saat}$$

8.2.5.2 B Yatağı için

$$A_{R1} = F_{R1} = \sqrt{(10152.821)^2 + (20517.637)^2} = 22892.208 \text{ N}$$

$$A_{R2} = F_{R2} = \sqrt{(5473.50)^2 + (11182.75)^2} = 12450.425 \text{ N}$$

$$A_{R3} = F_{R3} = \sqrt{(3662.707)^2 + (7444.528)^2} = 8296.771 \text{ N}$$

$$A_{R4} = F_{R4} = \sqrt{(2538.872)^2 + (5160.31)^2} = 5751.058 \text{ N}$$

$$A_{R5} = F_{R5} = \sqrt{(1985.044)^2 + (4034.642)^2} = 4496.524 \text{ N}$$

$$A_{R6} = F_{R6} = \sqrt{(10145.152)^2 + (20620.229)^2} = 22980.817 \text{ N}$$

$$A_{R7} = F_{R7} = \sqrt{(5529.429)^2 + (11238.677)^2} = 12525.272 \text{ N}$$

$$A_{R8} = F_{R8} = \sqrt{(3681.024)^2 + (7481.757)^2} = 8338.262 \text{ N}$$

$$\frac{C_1}{A_{R1}} + \frac{C_2}{A_{R2}} + \frac{C_3}{A_{R3}} + \frac{C_4}{A_{R4}} + \frac{C_5}{A_{R5}} + \frac{C_6'}{A_{R6}} + \frac{C_7'}{A_{R7}} + \frac{C_8'}{A_{R8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.03}{22892.208} + \frac{0.28}{12450.425} + \frac{0.43}{8296.771} + \frac{0.13}{5751.058} + \frac{0.04}{4496.524} + \frac{0.07}{22980.817} + \frac{0.87}{12525.272} + \frac{0.06}{8338.262} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 5352.496 \text{ N}$$

$$\frac{C_1}{A_{a1}} + \frac{C_2}{A_{a2}} + \frac{C_3}{A_{a3}} + \frac{C_4}{A_{a4}} + \frac{C_5}{A_{a5}} + \frac{C_6'}{A_{a6}} + \frac{C_7'}{A_{a7}} + \frac{C_8'}{A_{a8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.03}{18342.971} + \frac{0.28}{9988.565} + \frac{0.43}{6649.538} + \frac{0.13}{4609.249} + \frac{0.04}{3603.789} + \frac{0.07}{18418.228} + \frac{0.87}{10038.516} + \frac{0.06}{6682.792}$$

$$= \frac{1}{A_{a_{e\dot{s}}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{e\dot{s}}} = F_{a_{e\dot{s}}} = 4290.329\text{N}$$

$$P_{e\dot{s}} = X * F_{R_{e\dot{s}}} + Y * F_{a_{e\dot{s}}}$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 0.33 * 5352.496 + 1.79 * 4290.329$$

$$\Rightarrow P_{e\dot{s}} = 9446.012\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4×4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{\text{mahruti}} = \frac{n_{\text{motorort}}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{21700}{9446.012}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 122582.455\text{saat}$$

8.2.6 Ön Köprü İstavroz Kutusu Rulmanı

Rulman parça numarası: LM501349-LM501310

Timken konik makaralı rulman katalogu sayfa 176-177'den:

$C_{90}=15100\text{ N}$; $X=0.40$, $Y=1.50$ olarak bulunur.

8.2.6.1 A Yatağı için

$$A_{R_1} = F_{R_1} = \sqrt{(6495.751)^2 + (14564.983)^2} = 15947.837\text{N}$$

$$A_{R_2} = F_{R_2} = \sqrt{(3540.39)^2 + (7938.376)^2} = 8692.075\text{N}$$

$$A_{R_3} = F_{R_3} = \sqrt{(2356.891)^2 + (5284.697)^2} = 5786.446\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{R_6}} + \frac{C_7'}{A_{R_7}} + \frac{C_8'}{A_{R_8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{15947.837} + \frac{0.87}{8692.075} + \frac{0.06}{5786.446} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 8707.043\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{a_6}} + \frac{C_7'}{A_{a_7}} + \frac{C_8'}{A_{a_8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{16825.353} + \frac{0.87}{9170.349} + \frac{0.06}{6104.84} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{eş}} = F_{a_{eş}} = 9186.141\text{N}$$

$$P_{eş} = X * F_{R_{eş}} + Y * F_{a_{eş}}$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 0.40 * 8707.043 + 1.50 * 9186.141$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 17262.028\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4x4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{mahruti} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{motorort} = 2118.75\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{mahruti} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11\text{dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{17262.028}\right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11}\right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 4898.566\text{saat}$$

8.2.6.2 B Yatağı için

$$A_{R1} = F_{R1} = \sqrt{(11197.439)^2 + (14564.983)^2} = 18371.754\text{N}$$

$$A_{R2} = F_{R2} = \sqrt{(6102.958)^2 + (13684.249)^2} = 14983.483\text{N}$$

$$A_{R3} = F_{R3} = \sqrt{(4062.831)^2 + (9109.812)^2} = 9974.731\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{R6}} + \frac{C_7'}{A_{R7}} + \frac{C_8'}{A_{R8}} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{18371.754} + \frac{0.87}{14983.483} + \frac{0.06}{9974.731} = \frac{1}{A_{R_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{R_{eş}} = F_{R_{eş}} = 14729.854\text{N}$$

$$\frac{C_6'}{A_{a6}} + \frac{C_7'}{A_{a7}} + \frac{C_8'}{A_{a8}} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\frac{0.07}{16825.353} + \frac{0.87}{9170.349} + \frac{0.06}{6104.84} = \frac{1}{A_{a_{eş}}}$$

$$\Rightarrow A_{a_{eş}} = F_{a_{eş}} = 9186.141\text{N}$$

$$P_{eş} = X * F_{R_{eş}} + Y * F_{a_{eş}}$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 0.40 * 14729.854 + 1.50 * 9186.141$$

$$\Rightarrow P_{eş} = 19671.153\text{N}$$

- Maksimum yatak kuvveti 1. vites 4×4 pozisyonunda meydana gelmektedir:

$$n_{mahru\text{ti}} = \frac{n_{motorort}}{i_{12} * i_{tr}}$$

$$i_{tr} = 2.01; i_{12} = 5.375$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = \frac{1200 + 1500 + 1750 + 2000 + 2250 + 2500 + 2750 + 3000}{8}$$

$$\Rightarrow n_{\text{motorort}} = 2118.75 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow n_{\text{mahruti}} = \frac{2118.75}{5.375 * 2.01} = 196.11 \text{ dev/dak}$$

$$\Rightarrow L_{10} = \left(\frac{15100}{19671.153} \right)^{10/3} * \left(\frac{1.5 * 10^6}{196.11} \right)$$

$$\Rightarrow L_{10} = 3168.012 \text{ saat}$$

9. ARKA KÖPRÜ AKS VE İSTAVROZ DİŞLİSİ İÇİN ÖMÜR HESABI

$$Z_1 = 16$$

$$Z_2 = 10$$

$$b_1 = 24.5 \text{ mm}$$

$$b_2 = 18.60 \text{ mm}$$

$$d_{01} = 79.45 \text{ mm}$$

$$d_{02} = 49.66 \text{ mm}$$

$$m_1 = 4.966$$

$$m_2 = 4.966$$

$$\alpha_0 = 22.5^\circ$$

$$\gamma_1 = 58^\circ; \gamma_2 = 32^\circ$$

$$m_{m1} = m_1 - \frac{b_1 * \sin(\gamma_1)}{Z_1}$$

$$\Rightarrow m_{m1} = 3.667$$

$$d_{m1} = m_{m1} * Z_1$$

$$\Rightarrow d_{m1} = 58.672 \text{ mm}$$

$$m_{m2} = m_2 - \frac{b_2 * \sin(\gamma_2)}{Z_2}$$

$$\Rightarrow m_{m2} = 3.667$$

$$d_{m2} = m_{m2} * Z_2$$

$$\Rightarrow d_{m2} = 36.67 \text{ mm}$$

9.1 Arka Köprü Aks Dişlisi için Ömür Hesabı

Arka köprü aks dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 176, Ek 31'de verilmiştir. 1. Vites 4×4 durumu için gerilme analiz resmi Sayfa 177 Ek 32'de verilmiştir.

9.1.1 I . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b11} = 205000 * 4.17 * 5.375 * \eta * \frac{1}{4}$$

$$\eta = 0.9$$

$$\Rightarrow M_{b11} = 1033834.219 \text{Nmm}$$

$$F_{t11} = \frac{2 * M_{b11}}{d_{ml}} = \frac{2 * 1033834.219}{58.672} = 35241.144 \text{N}$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{16}{10} = 1.6$$

$$\Rightarrow \delta_{01} = 58^\circ$$

$$F_{r1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 35241.144 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 7735.422 \text{N}$$

$$F_{a1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 35241.144 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 12379.263 \text{N}$$

9.1.2 II . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b12} = 419328 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b12} = 2114710.416 \text{Nmm}$$

$$F_{t12} = \frac{2 * M_{b12}}{d_{ml}} = \frac{2 * 2114710.416}{58.672} = 72085.847 \text{N}$$

$$F_{r1} = F_{t12} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 72085.847 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 15822.825 \text{N}$$

$$F_{a1} = F_{t12} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 72085.847 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 25321.813 \text{N}$$

9.1.3 III . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b13} = 279153 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b13} = 1407794.75 \text{Nmm}$$

$$F_{t13} = \frac{2 * M_{b13}}{d_{m1}} = \frac{2 * 1407794.75}{58.672} = 47988.64 \text{N}$$

$$F_{r1} = F_{t13} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 47988.64 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 10533.494 \text{N}$$

$$F_{a1} = F_{t13} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 47988.64 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 16857.114 \text{N}$$

9.1.4 IV. Vites 4×2 Durumu

$$M_{b14} = 193500 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b14} = 975838.64 \text{Nmm}$$

$$F_{t14} = \frac{2 * M_{b14}}{d_{m1}} = \frac{2 * 975838.64}{58.672} = 33264.202 \text{N}$$

$$F_{r1} = F_{t14} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 33264.202 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 7301.483 \text{N}$$

$$F_{a1} = F_{t14} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 33264.202 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 11684.816 \text{N}$$

9.1.5 V. Vites 4×2 Durumu

$$M_{b15} = 151290 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b15} = 762969.653 \text{ Nmm}$$

$$F_{t15} = \frac{2 * M_{b15}}{d_{m1}} = \frac{2 * 762969.653}{58.672} = 26007.964 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{t15} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 26007.964 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 5708.741 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t15} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 26007.964 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 9135.896 \text{ N}$$

9.1.6 I. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b16} = 773212 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b16} = 3899380.605 \text{ Nmm}$$

$$F_{t16} = \frac{2 * M_{b16}}{d_{m1}} = \frac{2 * 3899380.605}{58.672} = 132921.345 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{t16} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 132921.345 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 29176.201 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t16} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 132921.345 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 46691.682 \text{ N}$$

9.1.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b17} = 421425 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b17} = 2125285.784 \text{ Nmm}$$

$$F_{t17} = \frac{2 * M_{b17}}{d_{m1}} = \frac{2 * 2125285.784}{58.672} = 72446.338 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{t17} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 72446.338 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 15901.952 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t17} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 72446.338 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 25448.444 \text{ N}$$

9.1.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b18} = 280549 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b18} = 1414834.98 \text{ Nmm}$$

$$F_{t18} = \frac{2 * M_{b18}}{d_{m1}} = \frac{2 * 1414834.98}{58.672} = 48228.626 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{t18} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 48228.626 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 10586.171 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t17} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 48228.626 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 16941.415 \text{ N}$$

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{e\vartheta}} \quad (9.1)$$

$$\frac{0.03}{1.042 * 10^2} + \frac{0.28}{2.132 * 10^2} + \frac{0.43}{1.419 * 10^2} + \frac{0.13}{9.837 * 10} + \frac{0.04}{7.691 * 10} + \frac{0.07}{3.931 * 10^2} + \frac{0.87}{2.142 * 10^2} + \frac{0.06}{1.426 * 10^2} = \frac{1}{\sigma_{e\vartheta}}$$

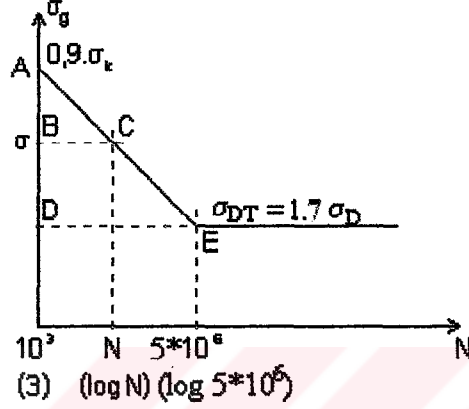
$$\Rightarrow \sigma_{e\vartheta} = 89.81 \text{ N/mm}^2$$

Aks dişlisi malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$



Şekil 9.1 Arka köprü aks dişlisi için Wöhler Diyagramı

$$\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$$

$$\sigma_D=0.44\sigma_K \Rightarrow \sigma_{DT}=1.7*0.44*\sigma_K=1.7*0.44*930=695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_g}{0.9\sigma_K - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9*930 - \sigma_g}{0.9*930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

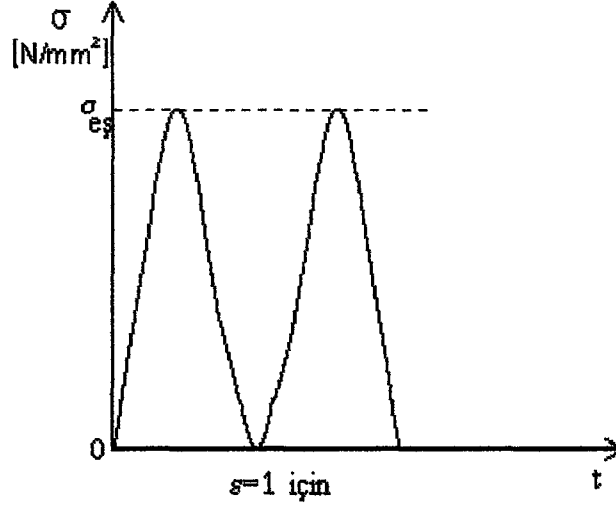
$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

(9.1)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ϵ =Kavrama Oranı



Şekil 9.2 Arka köprü aks dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{89.81/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{44.905}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 23.721$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{23.721} = 5.26 * 10^{23} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 5.26 * 10^{23} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 2.391 * 10^{20} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{2.391 * 10^{20}}{0.08} = 2.988 * 10^{21} \text{ km}$$

9.2 Arka Köprü İstavroz Dişlisi için Ömür Hesabı

Arka köprü istavroz dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 178, Ek 33'de verilmiştir. 1. Vites 4x4 durumu için gerilme analiz resmi Sayfa 179 Ek 34'de verilmiştir.

9.2.1 I . Vites 4x2 Durumu

$$M_{b21} = 205000 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b21} = 1033834.219 \text{ Nmm}$$

$$F_{t21} = F_{t11} = 35241.144 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 12379.263 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 7735.422 \text{ N}$$

9.2.2 II . Vites 4x2 Durumu

$$M_{b22} = 419328 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b22} = 2114710.416 \text{ Nmm}$$

$$F_{t22} = F_{t12} = 72085.847 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 25321.813 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 15822.825 \text{ N}$$

9.2.3 III . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b23} = 279153 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b23} = 1407794.75 \text{Nmm}$$

$$F_{t23} = F_{t13} = 47988.64 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 16857.114 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 10533.494 \text{N}$$

9.2.4 IV . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b24} = 193500 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b24} = 975838.64 \text{Nmm}$$

$$F_{t24} = F_{t14} = 33264.202 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 11684.816 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 7301.483 \text{N}$$

9.2.5 V . Vites 4×2 Durumu

$$M_{b25} = 151290 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b25} = 762969.653 \text{Nmm}$$

$$F_{t25} = F_{t15} = 26007.964 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 9135.896 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 5708.741 \text{N}$$

9.2.6 I . Vites 4×4 Durumu

$$M_{b26} = 773212 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b26} = 3899380.605 \text{Nmm}$$

$$F_{t26} = F_{t16} = 132921.345 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 46691.682 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 29176.201 \text{N}$$

9.2.7 II. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b27} = 421425 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b27} = 2125285.784 \text{Nmm}$$

$$F_{t27} = F_{t17} = 72446.338 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 46691.682 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 29176.201 \text{N}$$

9.2.8 III. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b28} = 280549 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b28} = 1414834.98 \text{Nmm}$$

$$F_{t28} = F_{t18} = 48228.626 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 16941.415 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 10586.171 \text{N}$$

$$\frac{C_1}{\sigma_1} + \frac{C_2}{\sigma_2} + \frac{C_3}{\sigma_3} + \frac{C_4}{\sigma_4} + \frac{C_5}{\sigma_5} + \frac{C_6'}{\sigma_6} + \frac{C_7'}{\sigma_7} + \frac{C_8'}{\sigma_8} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.03}{2.238 * 10^2} + \frac{0.28}{4.578 * 10^2} + \frac{0.43}{3.048 * 10^2} + \frac{0.13}{2.112 * 10^2} + \frac{0.04}{1.652 * 10^2} + \frac{0.07}{8.441 * 10^2} + \frac{0.87}{5.339 * 10^2} + \frac{0.06}{3.063 * 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

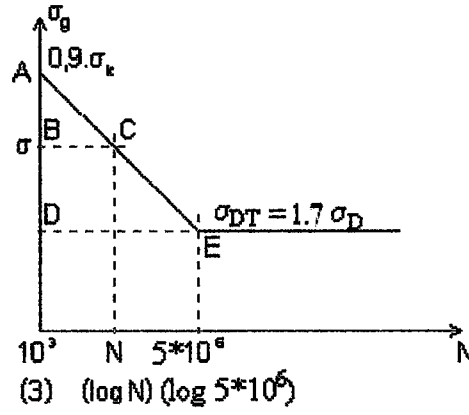
$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 203.151 \text{N/mm}^2$$

Mahruti dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$



Şekil 9.3 Arka köprü istavroz dişlisi için Wöhler diyagramı

$$\sigma_{DT} = 1.7\sigma_D$$

$$\sigma_D = 0.44\sigma_k \Rightarrow \sigma_{DT} = 1.7 * 0.44 * \sigma_k = 1.7 * 0.44 * 930 = 695.64 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}}$$

$$\frac{0.9\sigma_k - \sigma_g}{0.9\sigma_k - 695.64} = \frac{\log N - 3}{6.698 - 3}$$

$$\frac{0.9 * 930 - \sigma_g}{0.9 * 930 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698}$$

$$\frac{837 - \sigma_g}{837 - 695.64} = \frac{\log N - 3}{3.698} \Rightarrow \log N = \frac{3095.226 - 3.698\sigma_g}{141.36} + 3$$

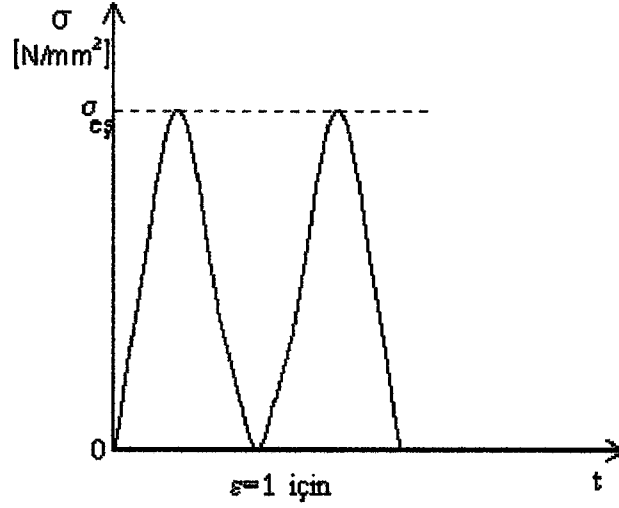
$$\log N = \frac{3095.226 + 424.08 - 3.698\sigma_g}{141.36} \Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

(9.2)

NOT: Dişlilerin kavramaya girip çıkmaları göz önünde tutulursa, gerilmelerin zamana göre değişimi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

ε =Kavrama Oranı



Şekil 9.4 Arka köprü istavroz dişlisi için eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

$$\sigma_{g1} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \Rightarrow \sigma_{g1} = \frac{\sigma_{eş} - 0}{2} = \frac{\sigma_{eş}}{2}$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{203.151/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{101.575}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 22.238$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{22.238} = 1.729 * 10^{22} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 1.729 * 10^{22} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 7.865 * 10^{18} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{7.865 * 10^{18}}{0.08} = 9.832 * 10^{19} \text{ km}$$

10. ÖN KÖPRÜ AKS VE İSTAVROZ DIŞLİSİ İÇİN ÖMÜR HESABI

$$Z_1 = 16$$

$$Z_2 = 10$$

$$b_1 = 21.5\text{mm}$$

$$b_2 = 17.70\text{mm}$$

$$d_{01} = 67.742\text{mm}$$

$$d_{02} = 42.34\text{mm}$$

$$m_1 = 4.234$$

$$m_2 = 4.234$$

$$\alpha_0 = 22.5^\circ$$

$$\gamma_1 = 58^\circ; \gamma_2 = 32^\circ$$

$$m_{m1} = m_1 - \frac{b_1 * \sin(\lambda_1)}{Z_1}$$

$$\Rightarrow m_{m1} = 3.094$$

$$d_{m1} = m_{m1} * Z_1$$

$$\Rightarrow d_{m1} = 49.51\text{mm}$$

$$m_{m2} = m_2 - \frac{b_2 * \sin(\lambda_2)}{Z_2}$$

$$\Rightarrow m_{m2} = 3.094$$

$$d_{m2} = m_{m2} * Z_2$$

$$\Rightarrow d_{m2} = 30.944\text{mm}$$

10.1 Ön Köprü Aks Dişlisi Ömür Hesabı

Ön köprü aks dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 180, Ek 35'de verilmiştir. 1. Vites 4×4 durumu için gerilme analiz resmi Sayfa 181 Ek 36'da verilmiştir.

10.1.1 I. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b11} = 205000 * 4.17 * 5.375 * \eta * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\eta = 0.9$$

$$\Rightarrow M_{b11} = 1039003.39 \text{ Nmm}$$

$$F_{t11} = \frac{2 * M_{b11}}{d_{m1}} = \frac{2 * 1039003.39}{49.51} = 41971.455 \text{ N}$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{16}{10} = 1.6$$

$$\Rightarrow \delta_{01} = 58^\circ$$

$$F_{r1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 41971.455 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 9212.723 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 41971.455 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 14743.439 \text{ N}$$

10.1.2 II. Vites 4×4 Durumu

$$M_{b12} = 421425 * 4.17 * 5.375 * \eta * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\eta = 0.9$$

$$\Rightarrow M_{b12} = 2135912.212 \text{ Nmm}$$

$$F_{t12} = \frac{2 * M_{b12}}{d_{m1}} = \frac{2 * 2135912.212}{49.51} = 86282.052 \text{ N}$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{16}{10} = 1.6$$

$$\Rightarrow \delta_{01} = 58^\circ$$

$$F_{r1} = F_{t12} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 86282.052 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 18938.888 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t12} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 86282.052 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 30308.557 \text{ N}$$

10.1.3 III . Vites 4×4 Durumu

$$M_{b13} = 280549 * 4.17 * 5.375 * \eta * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\eta = 0.9$$

$$\Rightarrow M_{b11} = 1421909.083 \text{ Nmm}$$

$$F_{t13} = \frac{2 * M_{b13}}{d_{m1}} = \frac{2 * 1421909.083}{49.51} = 57439.268 \text{ N}$$

$$\tan \delta_{01} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{16}{10} = 1.6$$

$$\Rightarrow \delta_{01} = 58^\circ$$

$$F_{r1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \cos \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 57439.268 * \tan 22.5 * \cos 58$$

$$\Rightarrow F_{r1} = 12607.904 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{t11} * \tan \alpha_0 * \sin \delta_{01}$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 57439.268 * \tan 22.5 * \sin 58$$

$$\Rightarrow F_{a1} = 20176.865 \text{ N}$$

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}} \quad (10.1)$$

$$\frac{0.07}{4.122 * 10^2} + \frac{0.87}{8.474 * 10^2} + \frac{0.06}{4.122 * 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 745.128 \text{ N/mm}^2$$

Ayna dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur.

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{745.128/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{372.564}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 15.149$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{15.149} = 1.409 * 10^{15} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 1.409 * 10^{15} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 6.408 * 10^{11} \text{ km}$$

10.2 Ön Köprü İstavroz Dişlisi Ömür Hesabı

Ön köprü istavroz dişlisinin Solidworks programı kullanılarak çizilmiş üç boyutlu modeli Sayfa 182, Ek 37'de verilmiştir. 1. Vites 4×4 durumu için gerilme analiz resmi Sayfa 183, Ek 38'de verilmiştir.

10.2.1 I. Vites 4×4

$$M_{b21} = 205000 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b21} = 1039003.39 \text{ Nmm}$$

$$F_{t21} = F_{t11} = 41971.45 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 14743.439 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 9212.723 \text{ N}$$

10.2.2 II . Vites 4×4

$$M_{b22} = 421425 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b22} = 2135912.212 \text{Nmm}$$

$$F_{t22} = F_{t12} = 86282.052 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 30308.557 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 18938.888 \text{N}$$

10.2.3 III . Vites 4×4

$$M_{b22} = 280549 * 4.17 * 5.375 * 0.9 * \frac{2.01}{2} * \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow M_{b23} = 1421909.083 \text{Nmm}$$

$$F_{t23} = F_{t13} = 57439.268 \text{N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} = 20176.865 \text{N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} = 12607.904 \text{N}$$

$$\frac{C_6'}{\sigma_1} + \frac{C_7'}{\sigma_2} + \frac{C_8'}{\sigma_3} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\frac{0.07}{2.969 * 10^2} + \frac{0.87}{6.103 * 10^2} + \frac{0.06}{4.063 * 10^2} = \frac{1}{\sigma_{eş}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{eş} = 552.8 \text{N/mm}^2$$

Ayna dişli malzemesi 42CrMo4 yani bir tür ıslah çeliğidir. Konstrüksiyon elemanlarında güvenilirlik ve ömür hesapları ders kitabının Sayfa 87, Tablo-3.1' den ıslah çeliği için eğilme dinamik zorlanması altında $\sigma_{DT}=1.7\sigma_D$ olarak bulunmuştur

42CrMo4'ün malzeme özellikleri:

$$\sigma_{AK}=590 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_K=930/\text{mm}^2$$

$$\log N = 24.896 - \frac{\sigma_g}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{\sigma_{eş}/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{552.8/2}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 24.896 - \frac{276.40}{38.226}$$

$$\Rightarrow \log N = 17.665$$

$$\Rightarrow N_{eş} = 10^{17.665} = 4.623 * 10^{17} \text{ yükçevrimi}$$

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{d_t}{i} * \frac{1}{1000}$$

$d_t=0.778$ m; teker çapı

$i=5.375$; diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş} = N_{eş} * \pi * \frac{0.778}{i} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 4.623 * 10^{17} * \pi * \frac{0.778}{5.375} * \frac{1}{1000}$$

$$L_{eş} = 2.102 * 10^{14} \text{ km}$$

$$L_{eş\text{eff}} = \frac{L_{eş}}{0.08} = \frac{2.102 * 10^{14}}{0.08} = 2.628 * 10^{15} \text{ km}$$

11. SONUÇLAR

Sonlu elemanlar metodu, modellemede sağladığı kolaylıklarla makine parçaların analizinde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ile modellemede çeşitli vites durumlarında tesis edilen modellerin muhtelif sınır şartlarında incelenmesi diferansiyel mekanizmasındaki elemanların yorulma ömrünü arttırmak için yapılacak ısıtma işlemi, taşıma ve bilya püskürtmesi işlemleri için bilgi sağlamaktadır. Bu bakımdan sonlu elemanlar metodu makine parçalarını kısa zamanda inceleyip sonuçları görmek için güvenilir bir tekniktir.

Diferansiyel mekanizmasında bulunan elemanların geliştirilen modellerinin muhtelif sınır şartlarında analizleri yapılmıştır. Elemanların kritik bölgeleri boyunca gerilme dağılımını gösteren grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerden yararlanılarak hesaplanan ömür değerleri daha önce yapılan çalışmalardaki hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar çalışmada uygulanan metodun ve izlenen yolun diferansiyel mekanizması elemanlarının muhtelif şartlarda fiziksel davranışını tatminkar derecede incelenmesini sağlayan bir metod olduğunu göstermektedir.

Çalışmada bulunan tüm eşdeğer ömür değerleri, motorun her vitede en yüksek burulma momenti (tork) vermesi durumlarında geçerlidir. Ancak sürekli olarak bu durumlar yaşanmayacağından ömür, hesapla bulunan değerlerden daha yüksek olacaktır.

Mak. Yük. Müh. Serdar Ayaroğlu'nun 'GTD Model Askeri Aracın Aktarma Elemanlarının Hasar Durumlarına Göre Ömür Değerlendirmeleri (2002)' yüksek lisans tezinde diğer metodlarla elde ettiği ömür değerlerinin, bu tezde sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen ömür değerleri ile karşılaştırılması ile ömür değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak sonlu elemanlar metodunun makina parçalarının ömür değerlerinin hesaplanmasında gerekli olan gerilme dağılımını bulmada çok iyi bir metod olduğu görülmüştür. Günümüzdeki bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler neticesiyle gerekli sınır şartlar altında makina parçalarının analizinde bu metodun büyük kolaylıklar sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akkurt, M., (2000), "Makina Elemanları", I-II. Cilt, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Ayaroğlu, M.S., (2002), GTD Model 4×4 Askeri Aracın Aktarma Elemanlarının Birikimli Hasar Durumlarına Göre Ömür Değerlendirmeleri, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Babalık, F.C., (1997), "Makina Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri", I. Cilt, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Bursa.

Erten, M., (1993), Dişli Çarklarda Yük Taşıma Kabiliyetinin ve Diş Dibi Gerilmelerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fetvacı, C., (2001), Düz Dişli Çarkların Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi ve Gerilimlerin İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Maitra, G.M., (1988), "Handbook of Gear Design", First Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.

Niemann, (1960), "Maschinenelemente II", Springer Verlag.

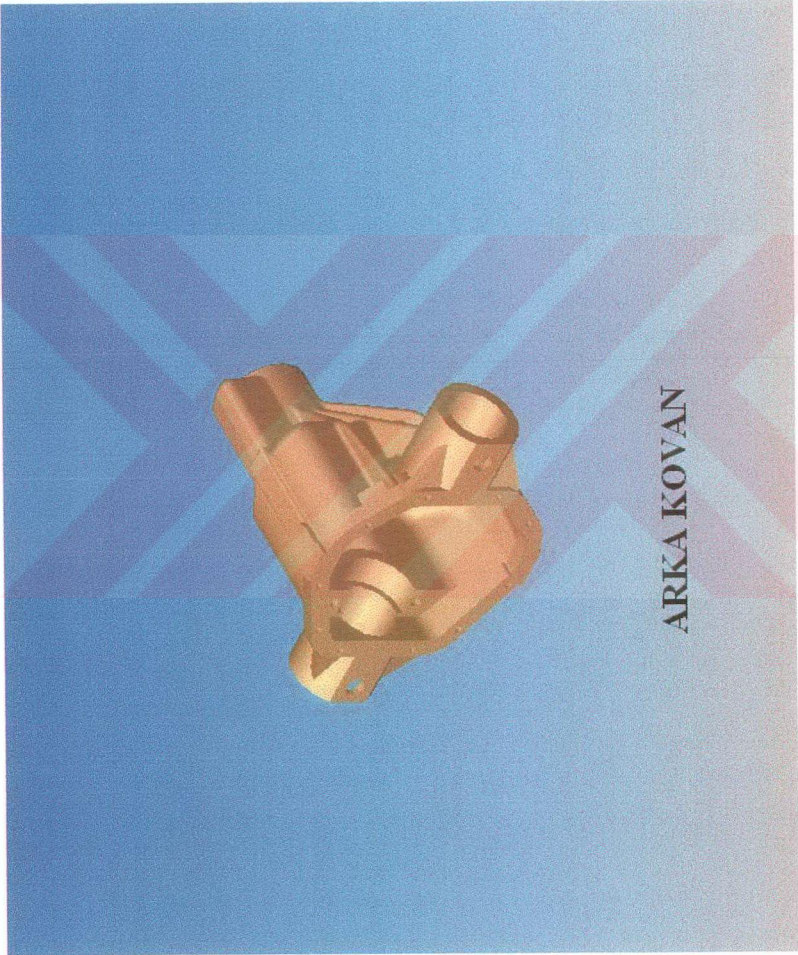
Tahralı, N. ve Dikmen, F., (1995), "Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik ve Ömür Hesapları", YTÜ Matbaası, İstanbul.

Timken, (1996), "Konik Makaralı Rulman Kataloğu", The Timken Company

EKLER

Eklerde diferansiyel mekanizmasının elemanlarının modellenmiş resimleri, sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen analiz resimleri ile modellerin ağ yapıları verilmiştir.



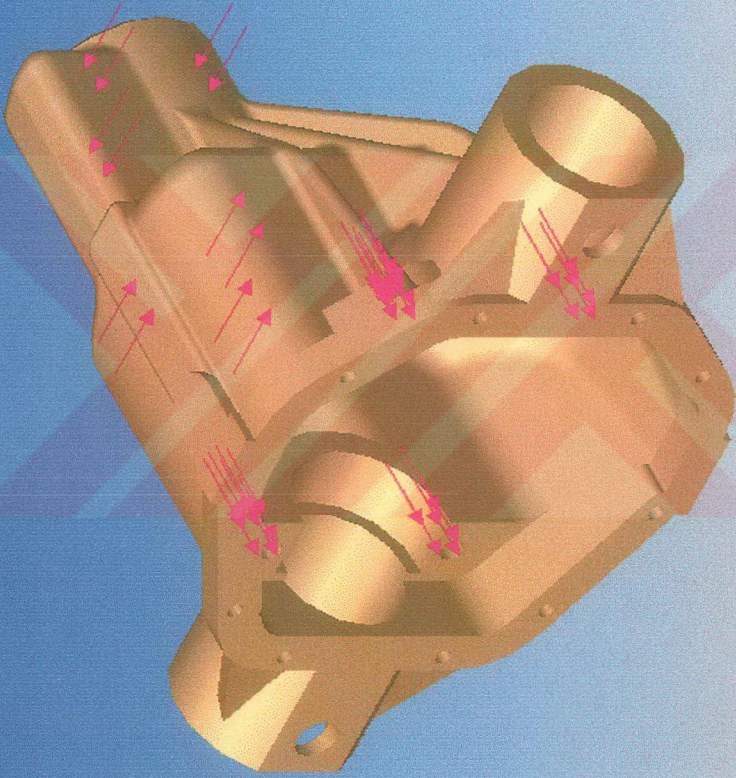


Ek 1 Arka Kovan Modeli

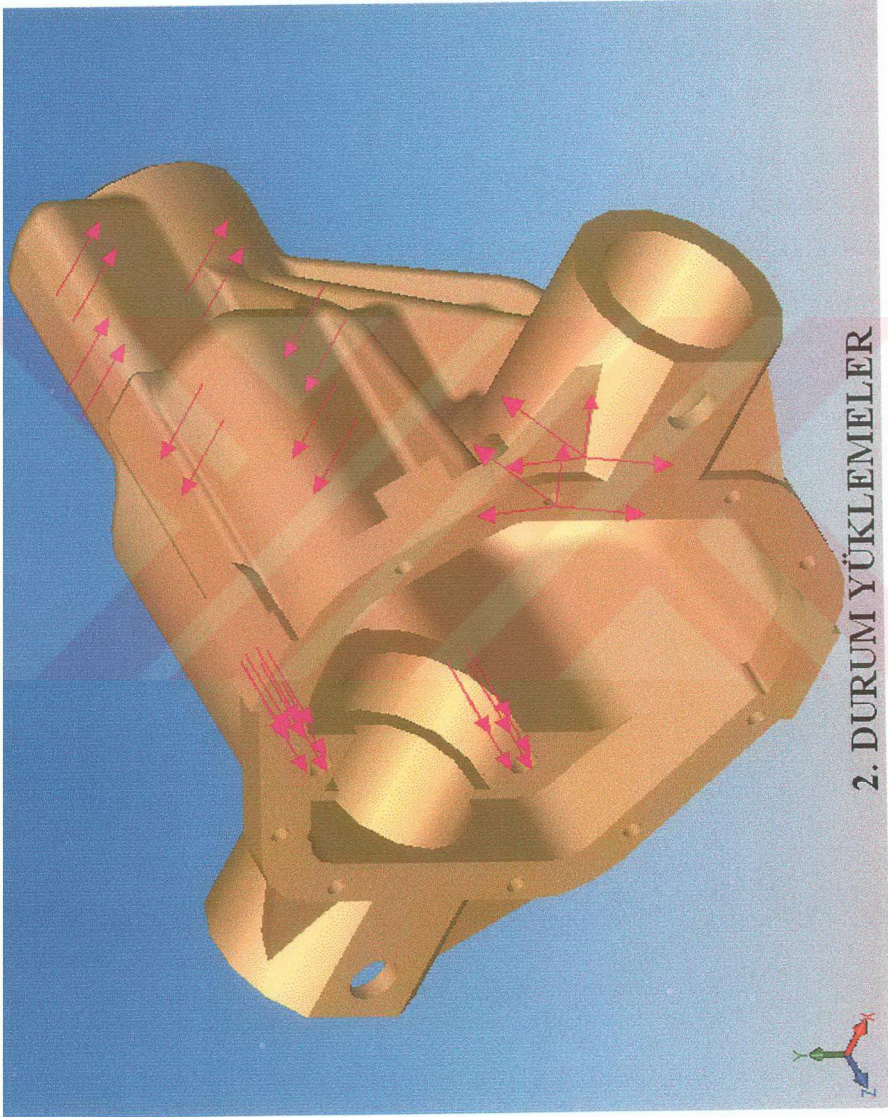


Ek 2 Arka Kovan Ağ Yapısı

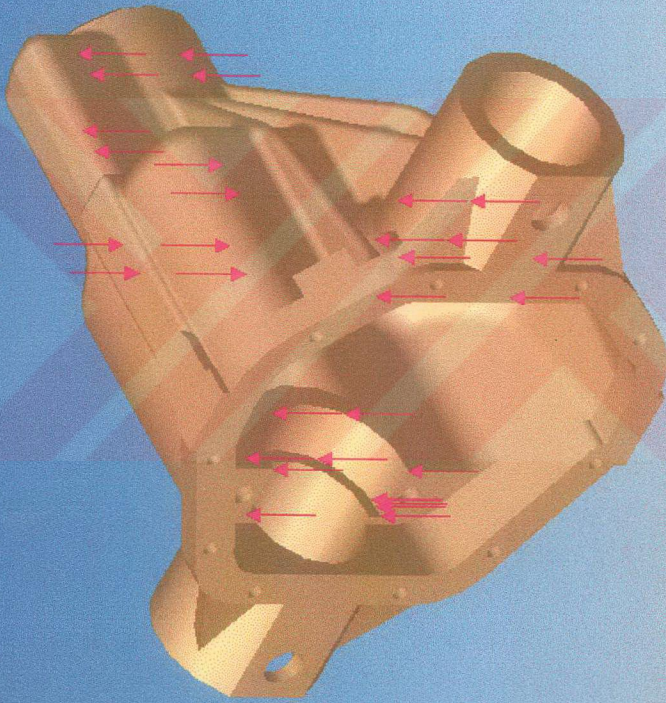
1. DURUM YÜKLEMELER



Ek3 1. Durum Yüklemler



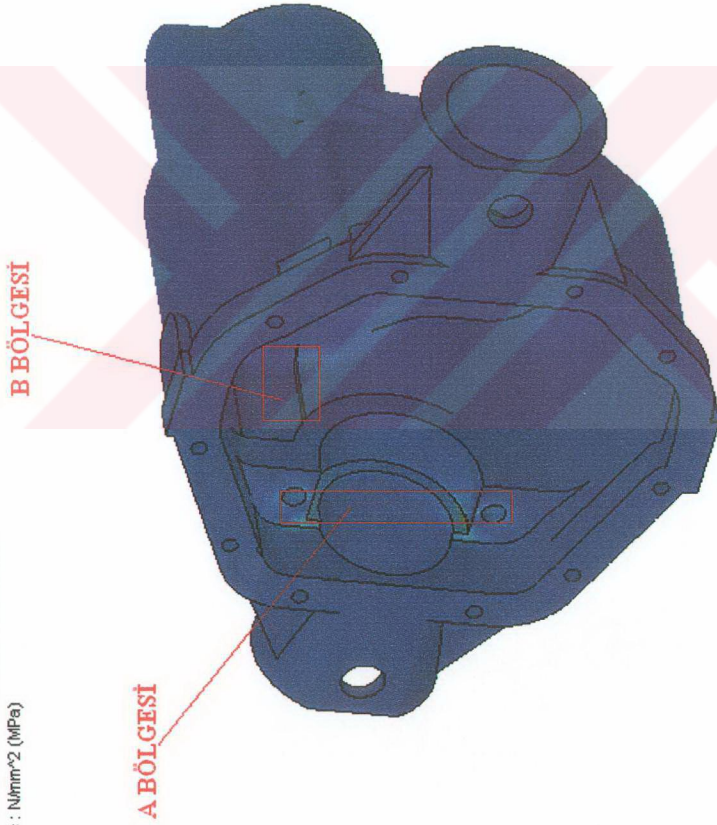
Ek4 2. Durum Yüklemeler



3. DURUM YÜKLEMELER



Ek 5 3. Durum Yüklemeler



1. VİTES 4*2 1. DURUM

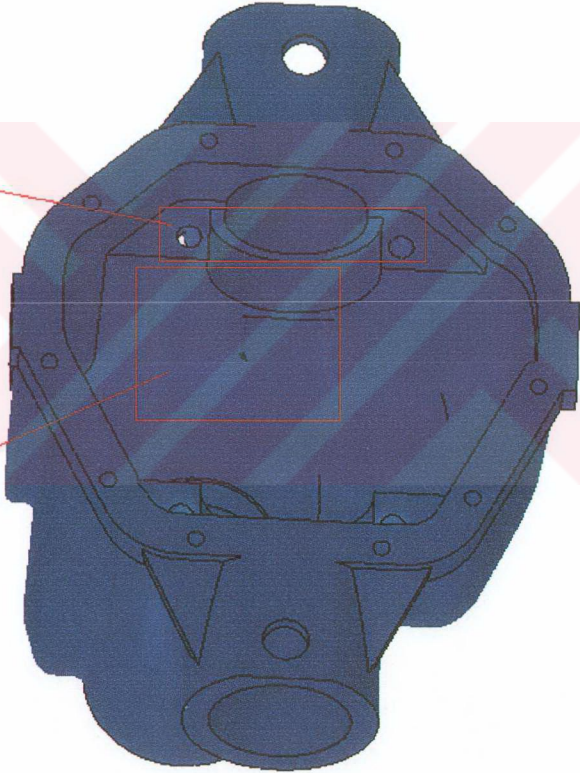
Units : N/mmm² (MPa)

Ek5 1. Vites 4×2 1. Durum



D BÖLGESİ

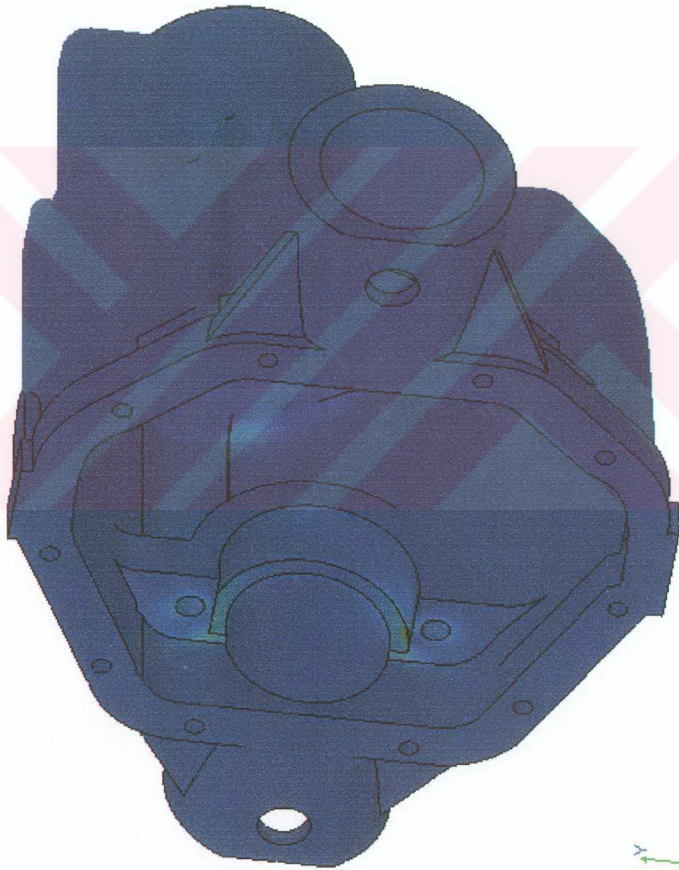
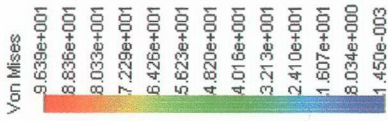
C BÖLGESİ



1. VİTES 4*2 1. DURUM



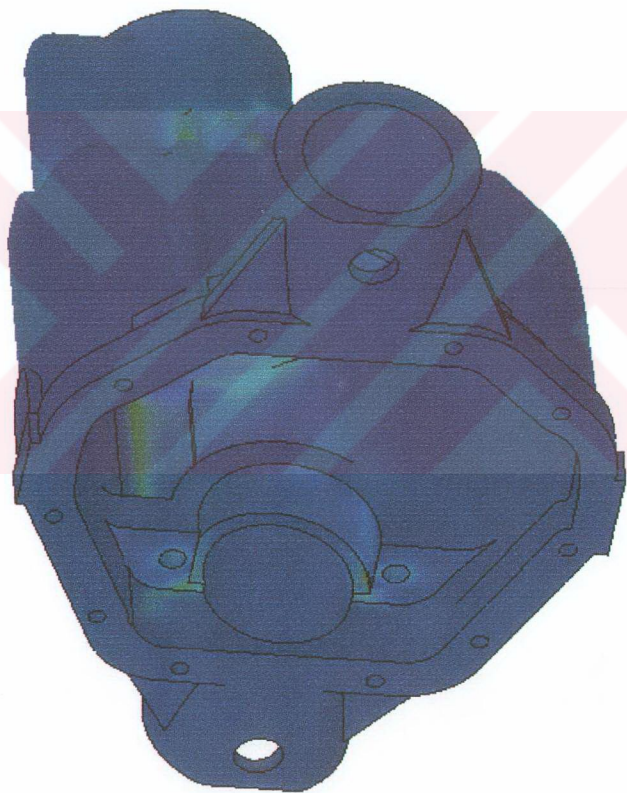
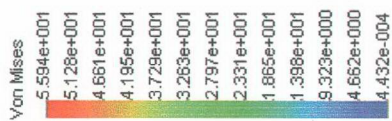
Ek6 1. Vites 4x2 1. Durum 2.Görüntü



1. VİTES 4*4 1. DURUM



Ek7 1. Vites 4x4 1. Durum



1. VİTES 4*4 2. DURUM

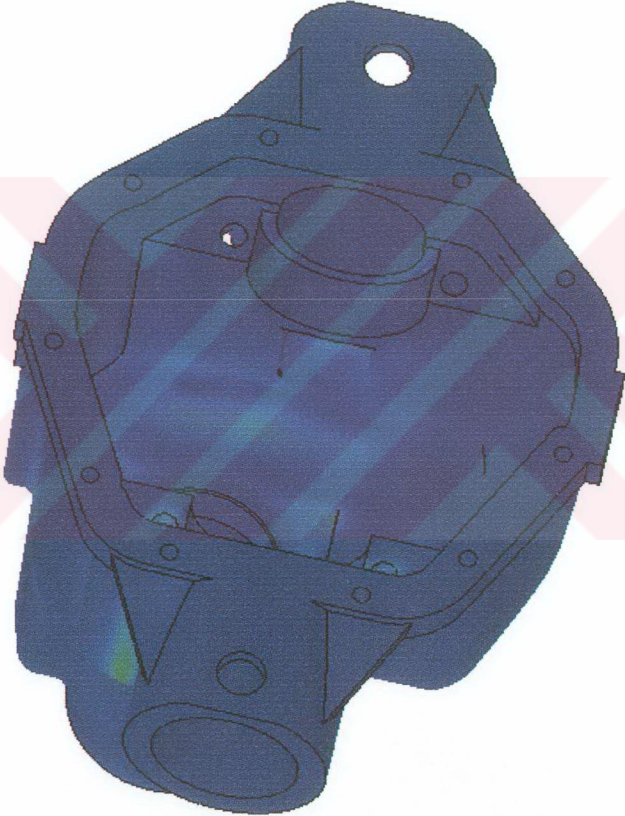


Units : N/mm² (MPa)

Ek9 1. Vites 4×4 2. Durum

Von Mises

5.594e+001
5.128e+001
4.661e+001
4.195e+001
3.729e+001
3.263e+001
2.797e+001
2.331e+001
1.865e+001
1.398e+001
9.323e+000
4.662e+000
4.432e-004



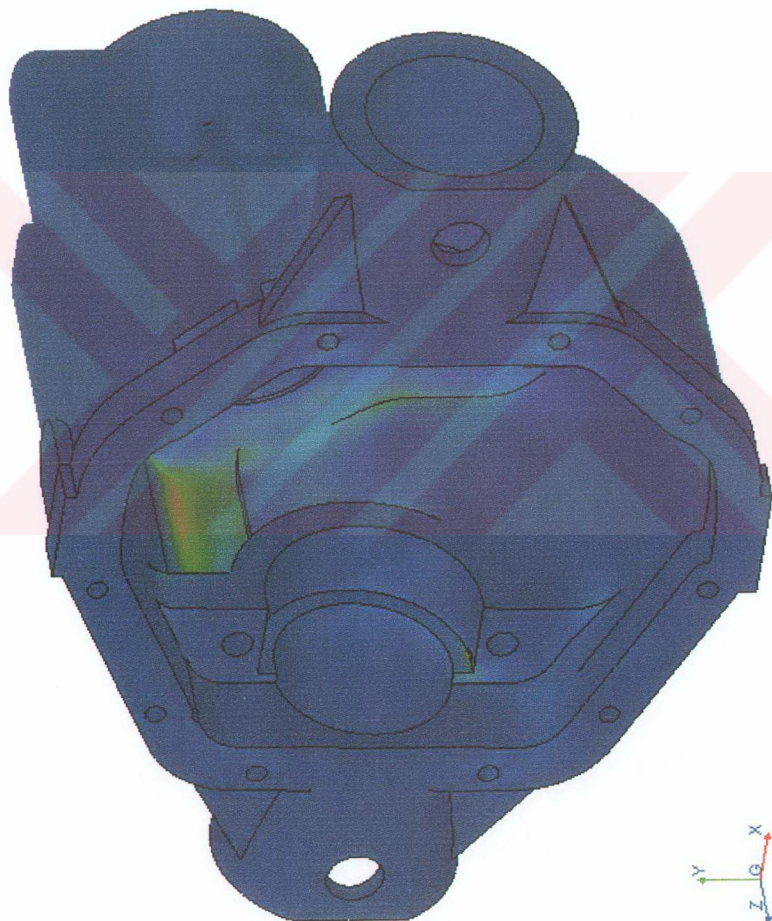
1. VİTES 4*4 2. DURUM



Ek10 1. Vites 4×4 2. Durum 2. Görünüş

Von Mises

1.886e+002
1.729e+002
1.572e+002
1.415e+002
1.258e+002
1.100e+002
9.433e+001
7.861e+001
6.288e+001
4.716e+001
3.144e+001
1.572e+001
2.390e-003



1. VİTES 4*4 3. DURUM

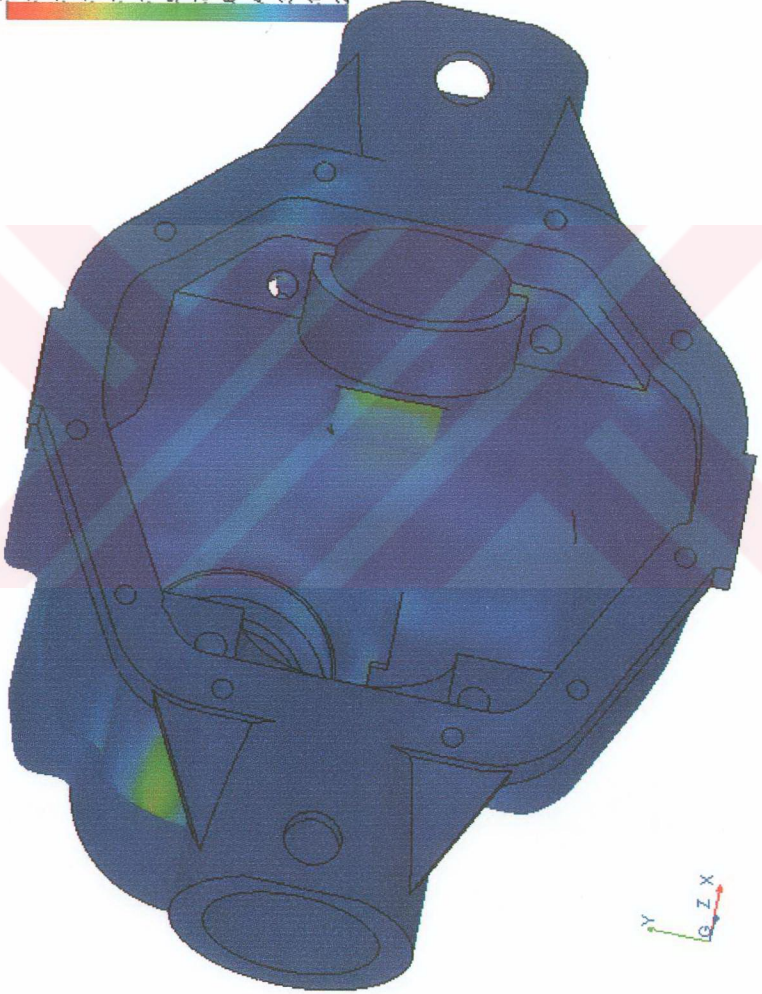
Ek11 1. Vites 4×4 3. Durum

1. VİTES 4*4 3. DURUM

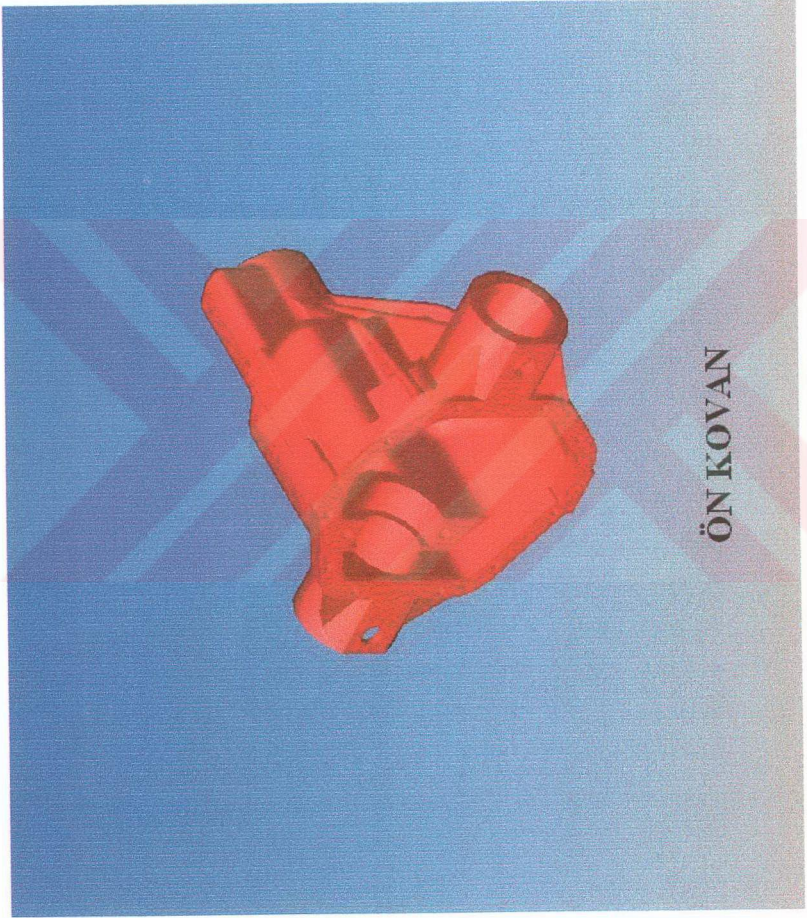
Units : N/mmm² (MPa)

Von Mises

1.886e+002
1.729e+002
1.572e+002
1.415e+002
1.258e+002
1.100e+002
9.433e+001
7.861e+001
6.288e+001
4.716e+001
3.144e+001
1.572e+001
2.390e-003



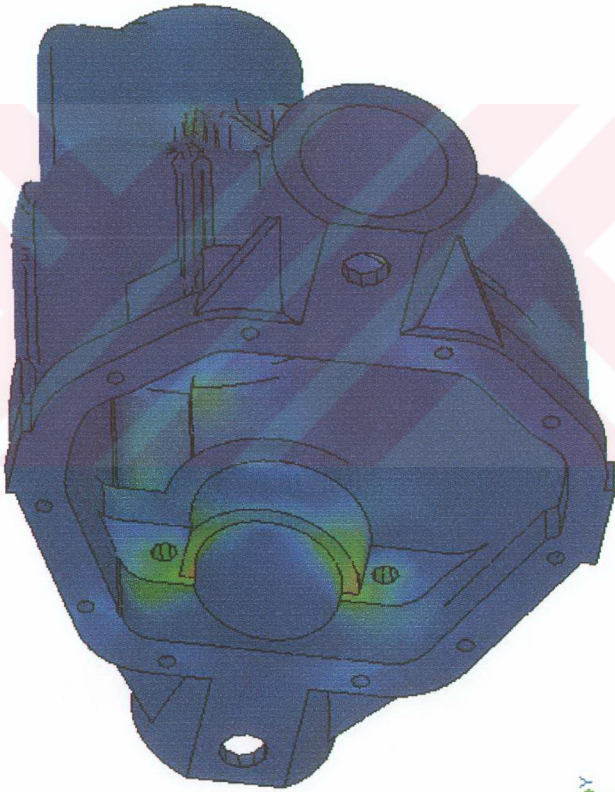
Ek12 1. Vites 4x4 3. Durum 2. Görünüş



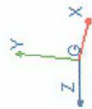
Ek13 Ön Kovan Modeli

Von Mises

2.962e+001
2.734e+001
2.485e+001
2.237e+001
1.989e+001
1.740e+001
1.492e+001
1.243e+001
9.945e+000
7.460e+000
4.975e+000
2.491e+000
5.578e-003



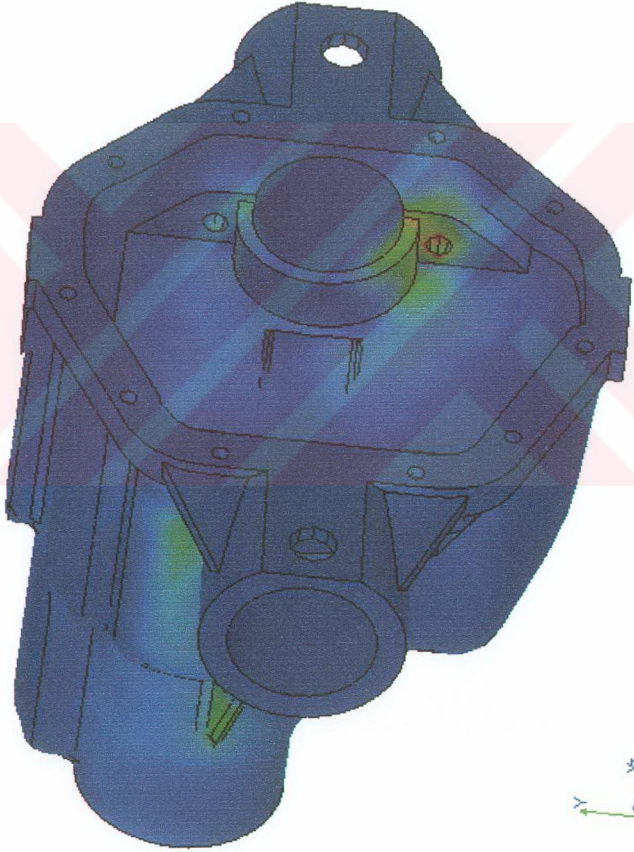
1. VİTES 4*4 1. DURUM



Ek14 Ön Kovan 1. Vites 4×4 1. Durum

Von Mises

2.982e+001
2.734e+001
2.485e+001
2.237e+001
1.989e+001
1.740e+001
1.492e+001
1.243e+001
9.945e+000
7.460e+000
4.975e+000
2.491e+000
5.578e-003

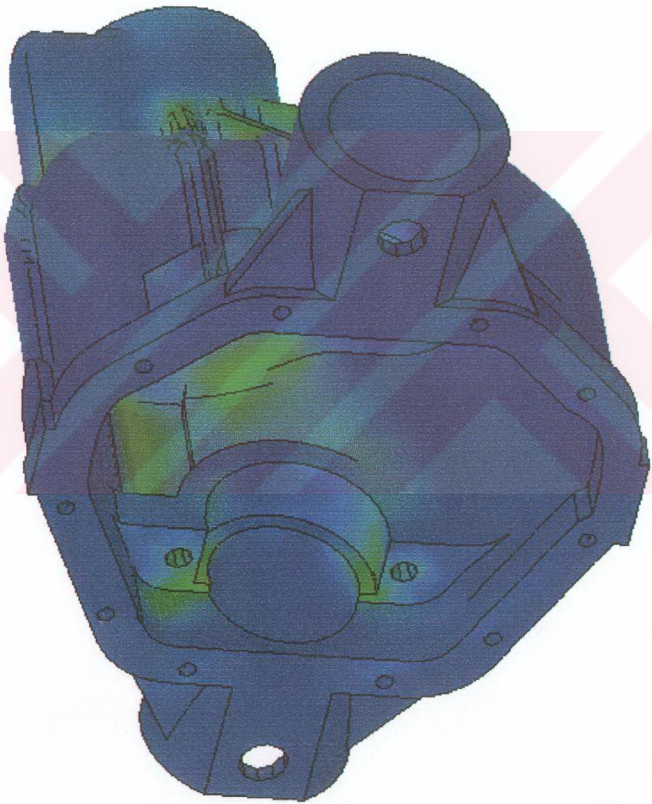


1. VİTES 4*4 1. DURUM

ÖN KOVAN-KUVAYI :: Statik muamele stress
Units : N/mm² (MPa)

Von Mises

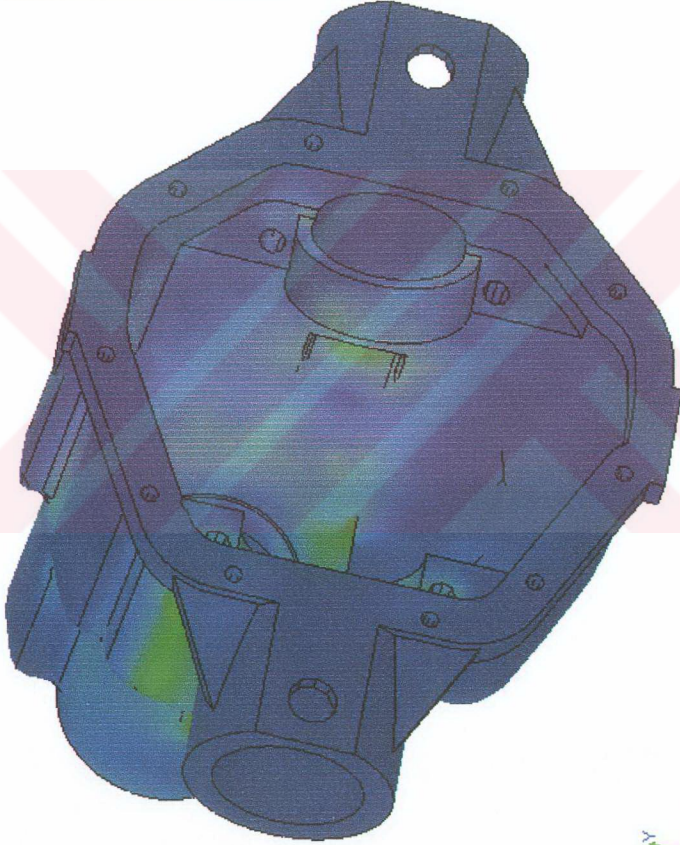
1.920e+001
1.760e+001
1.600e+001
1.440e+001
1.280e+001
1.120e+001
9.599e+000
8.000e+000
6.400e+000
4.800e+000
3.201e+000
1.601e+000
1.430e-003



1. VİTES 4*4 2 . DURUM

Von Mises

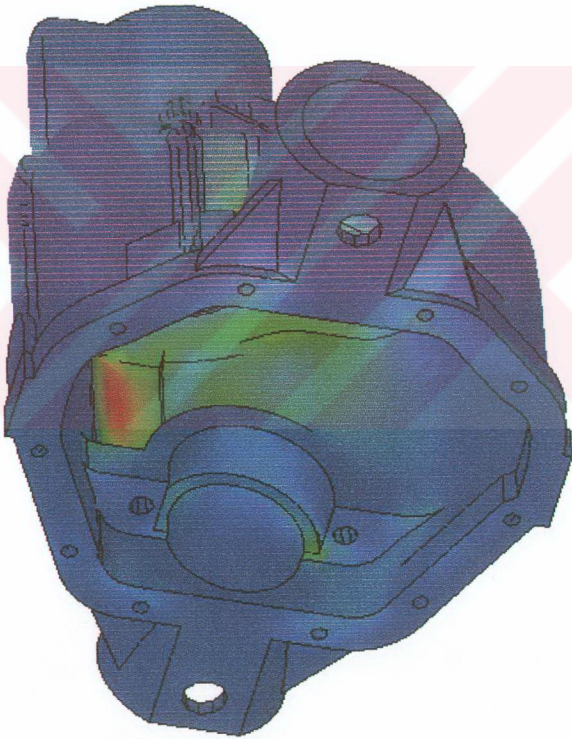
1.920e+001
1.760e+001
1.600e+001
1.440e+001
1.280e+001
1.120e+001
9.599e+000
8.000e+000
6.400e+000
4.800e+000
3.201e+000
1.601e+000
1.430e-003



1. VİTES 4*4 2. DURUM

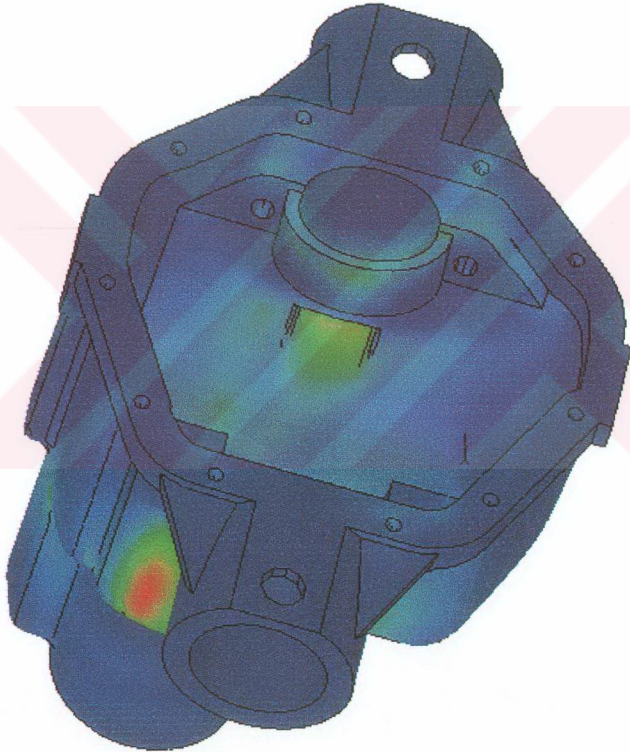


Ek17 Ön Kovan 1. Vites 4×4 2. Durum 2. Görüntü



1. VİTES 4*4 3. DURUM

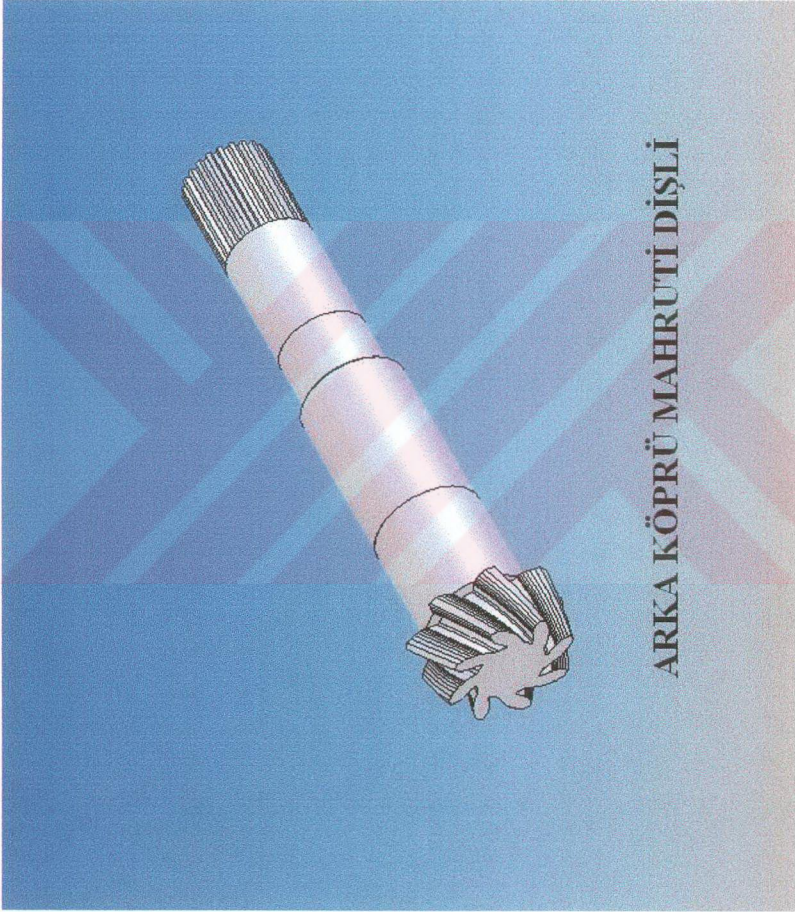
Ek18 Ön Kovan 1. Vites 4x4 3. Durum



1. VİTES 4*4 3. DURUM



ÖN KOVAN-KUVAN :: STATİK İNDEKİ STRESS
 Units : N/mm² (MPa)



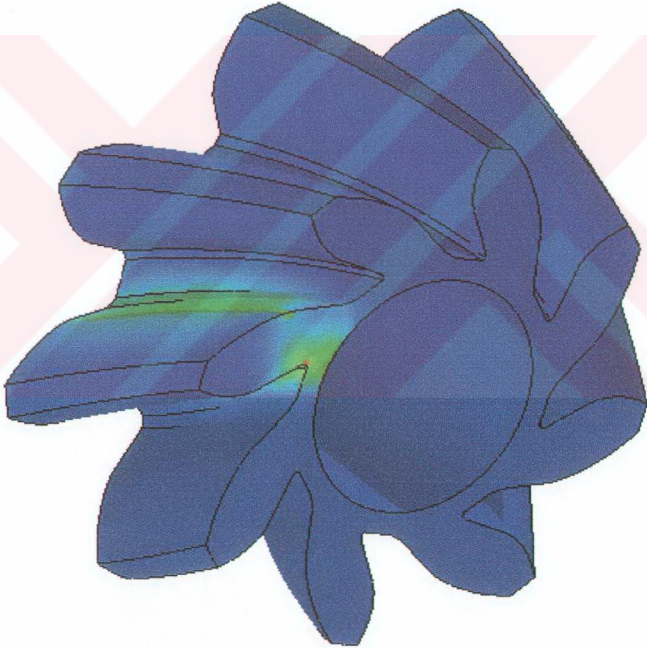
ARKA KÖPRÜ MAHRUTU DIŞLI

Ek19 Arka Köprü Mahruti Dişli Modeli

Von Mises

4.864e+002
4.459e+002
4.054e+002
3.648e+002
3.243e+002
2.838e+002
2.432e+002
2.027e+002
1.621e+002
1.216e+002
8.107e+001
4.054e+001
2.321e-005

1. VITES 4*2



Ek 20 Arka Köprü Mahruti Dişli 1. Vites 4x2 Durumu

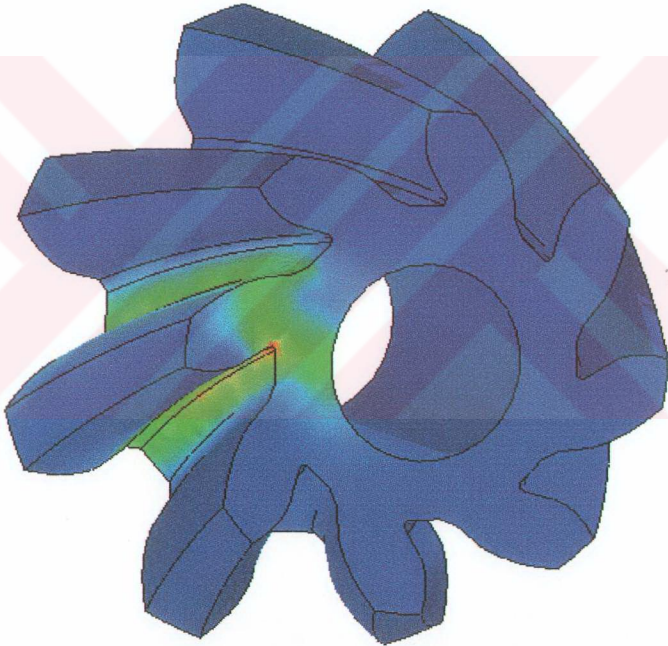


Ek 22 Ön Köprü Mahrutu Dişli Modeli

1. VİTES 4*4

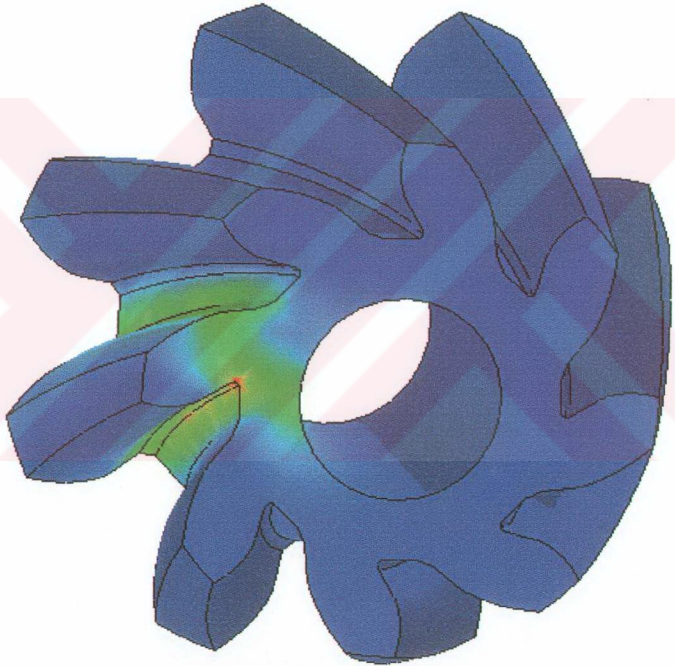
Von Mises

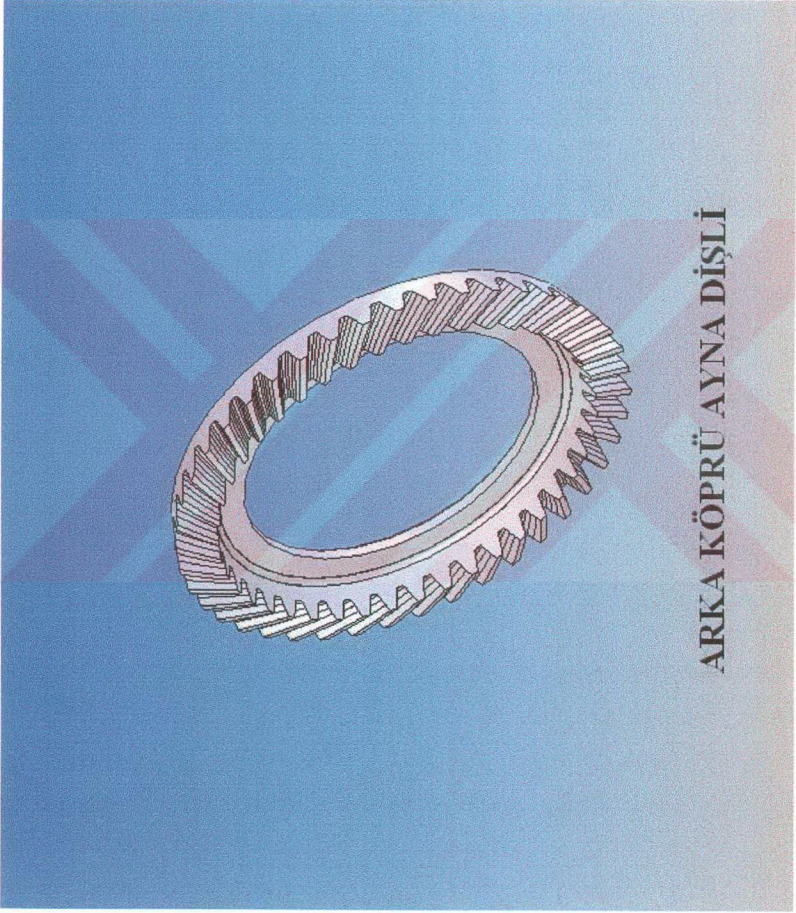
2.778e+002
2.547e+002
2.315e+002
2.084e+002
1.852e+002
1.621e+002
1.389e+002
1.158e+002
9.261e+001
6.946e+001
4.631e+001
2.316e+001
8.707e-003



Ek 23 Ön Köprü Mahruti Dişli 1. Vites 4x4 Durumu

2. VITES 4*4



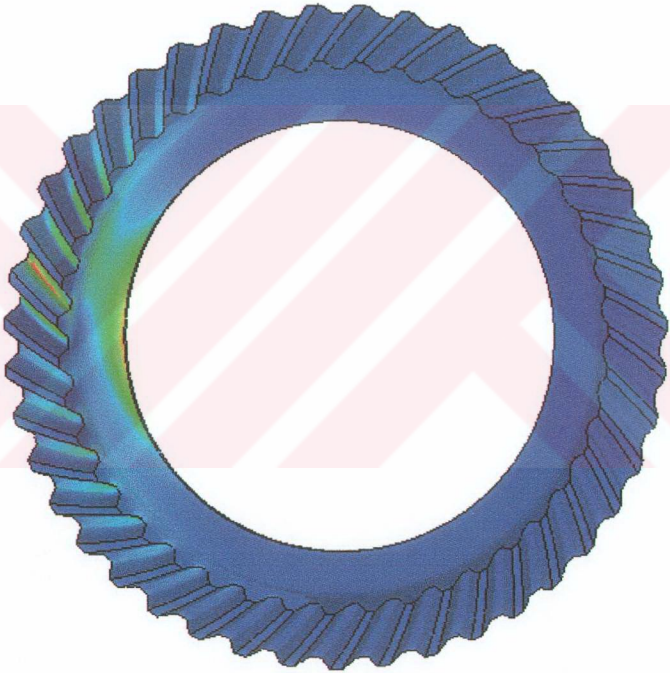


ARKA KÖPRÜ AYNA DIŞLİ

Ek 25 Arka Köprü Ayna Dişli Modeli



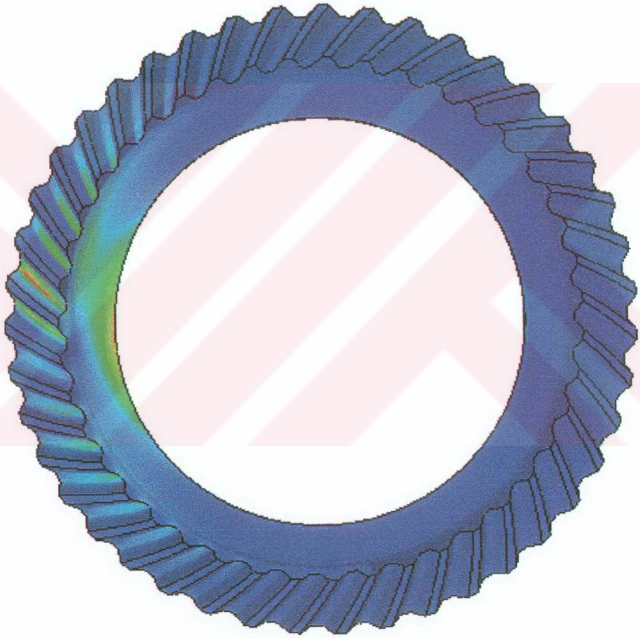
3. VİTES 4*2



Units : N/mm² (MPa)



1. VİTES 4*4



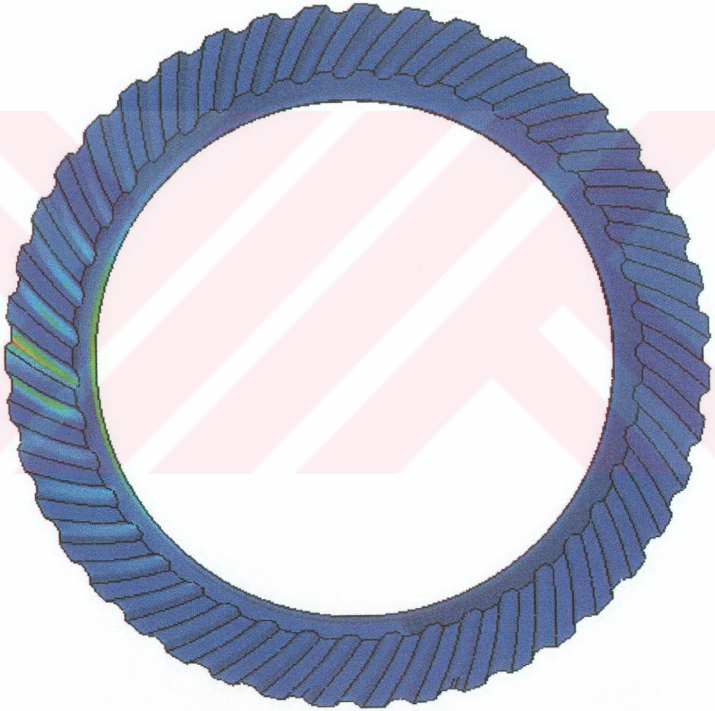
Ek 27 Arka Köprü Ayna Dişli 1. Vites 4×4 Durumu



Ek 28 Ön Köprü Ayna Dişli Modeli



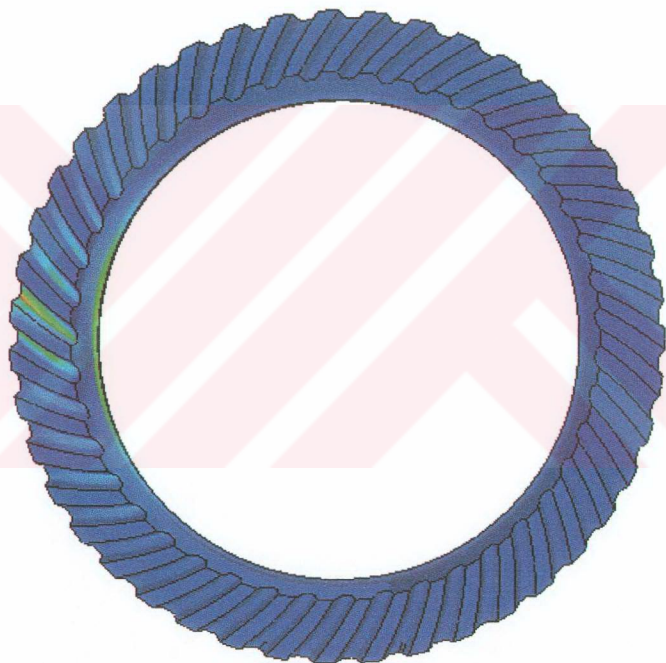
1. VİTES 4*4



Ek 29 Ön Köprü Ayna Dişli 1. Vites 4*4 Durumu

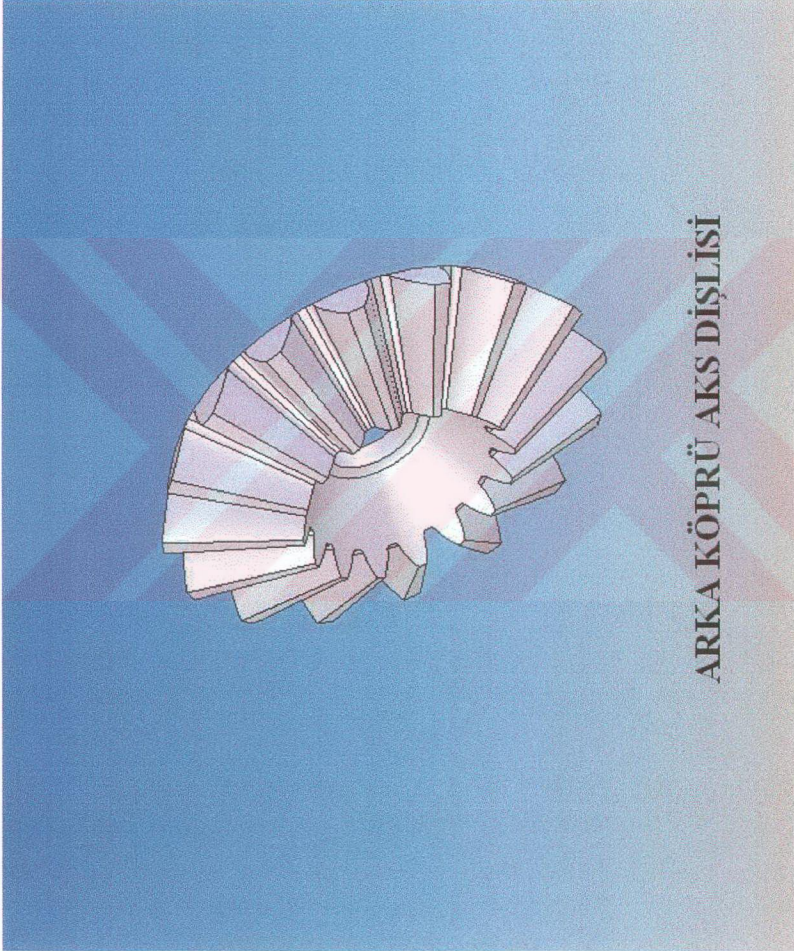


2. VİTES 4*4



Units : N/mm² (MPa)

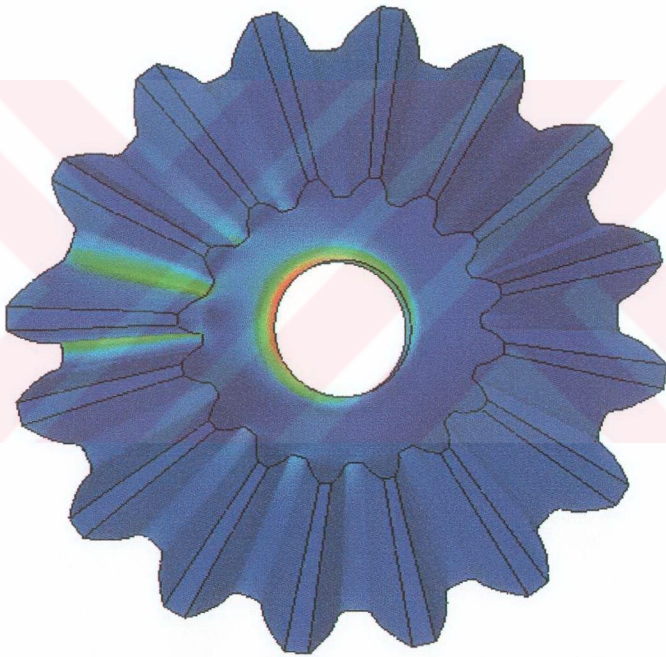
Ek 30 Ön Köprü Ayna Dişli 2. Vites 4×4 Durumu



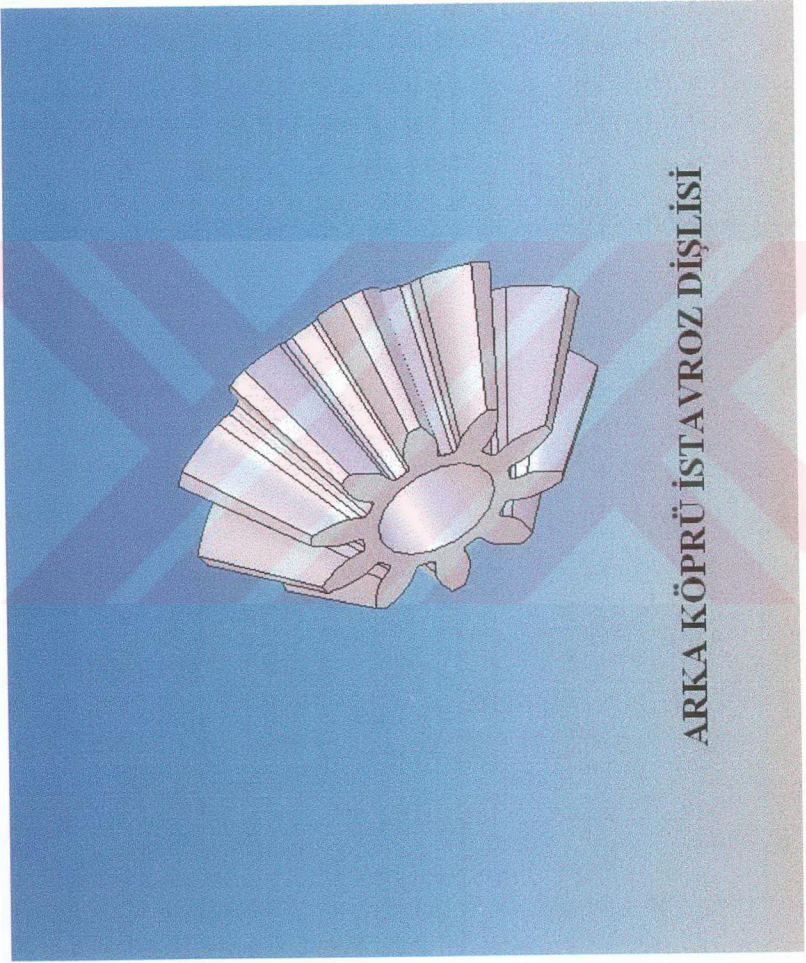
ARKA KÖPRÜ AKS DİŞLİSİ

Ek 31 Arka Köprü Aks Dişlisi Modeli

I. VITES 4*4



Units : N/mm² (MPa) Deformation Scale : 239.165



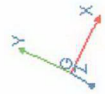
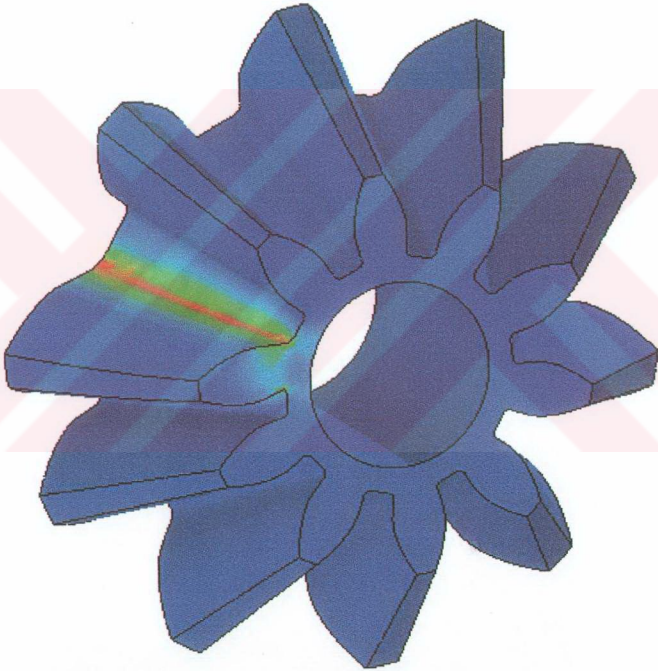
ARKA KÖPRÜ İSTAVROZ DIŞLİSİ

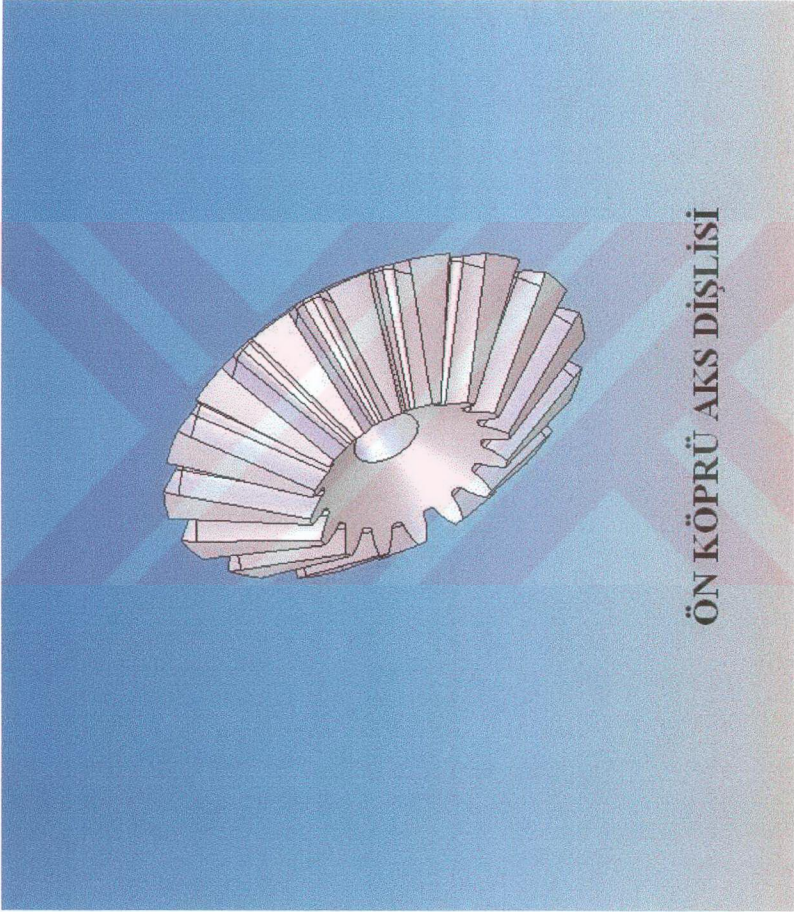
Ek 33 Arka Köprü İstavroz Dişlisi Modeli

Von Mises



1. VITES 4*4

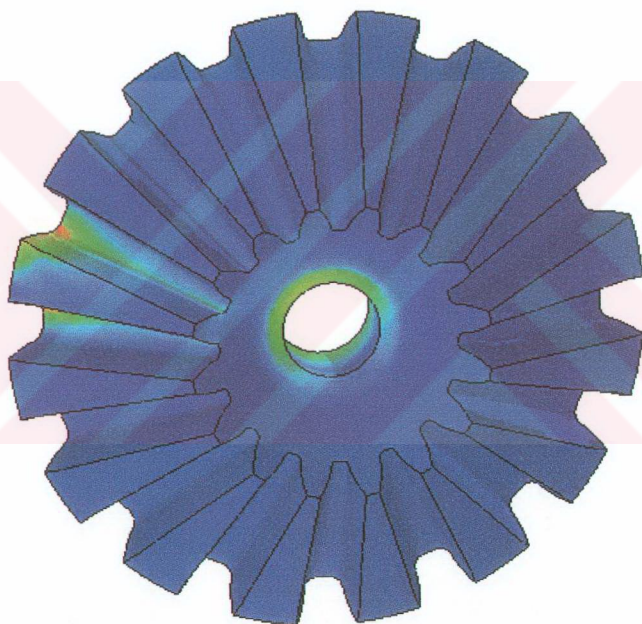




ÖN KÖPRÜ AKS DIŞLİSİ



1. VİTES 4*4

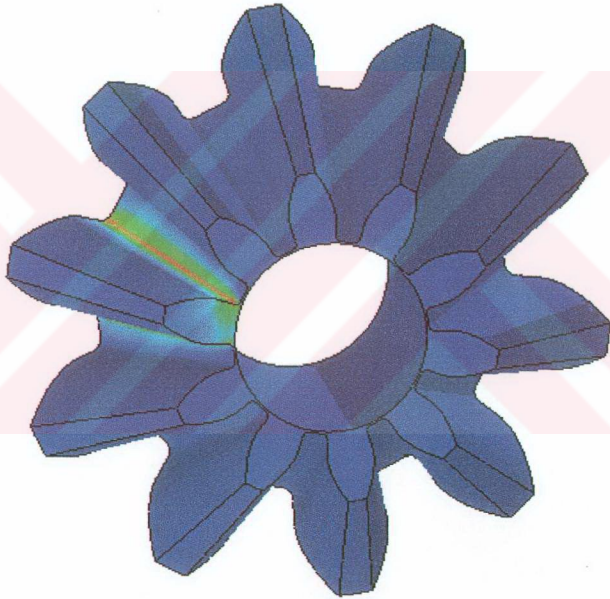


Ek 36 Ön Köprü Aks Dişlisi 1. Vites 4x4 Durumu



Ek 37 Ön Köprü İstavroz Dişlisi Modeli

1. VİTES 4*4



Ek 38 Ön Köprü İstavroz Dişlisi 1. Vites 4*4 Durumu

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.02.1978

Doğum yeri Bafra

Lise 1992-1995 Rize Anadolu Lisesi

Lisans 1996-2001 Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003-Devam ediyor Enel Enerji Elektronik San. Ve Tic. A.Ş.