

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128596

**GTD MODEL 4X4 ASKERİ ARACIN AKTARMA
ELEMENLARININ BİRİKİMLİ HASAR
DURUMLARINA GÖRE ÖMÜR
DEĞERLENDİRMELERİ**

Mak. Müh. M. Serdar AYAROĞLU

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Necati TAHRALI

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Doç. Dr. Ferhat DİKMEN

M. Serdar Ayaroğlu
Atas
FD

İSTANBUL, 2002

128596

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yorulma Kırılması Nedir?.....	3
1.1.1 Yorulmaya Maruz Kalan Makine Elemanlarının Yüklenme Durumları.....	5
1.1.2 Laboratuvar Ortamında Yorulma Deneyleri.	7
1.1.3 Yorulma Kırılmasına Etki Eden Faktörler.	8
1.2 Yorulma Kırılmasının Ekonomik Açıdan Önemi.	17
1.3 Makine Elemanlarının Ömür Diyagramlarının (Wöhler Diyagramları) Çıkartılması	18
1.3.1.1 Genel İmalat Çeliklerinin Eğilme Hali için Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı.....	24
1.3.2 Dişliler, Transfer Milleri, Mahruti Dişli Millerinin Eğilme Hali İçin Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı	26
1.3.3 Aks Millerinin ve Kardan Millerinin Burulma Hali İçin Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı	28
1.4 Ömür Hesaplarında Birikimli Hasar Durumlarının İncelenmesi (Palmgren-Miner Metodu)	30
2. GTD MODEL ARACIN ÖZELLİKLERİ, ARAZİ VE ŞEHİR İÇİNDE TESTİ VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	32
2.1 Aracın Teknik Özellikleri.....	32
2.2 Aracın Her Bir Vitesteki Çalışma Sürelerinin ve Oranlarının Tespiti İçin Yapılan Test ve Sonuçların Değerlendirilmesi.	34
2.2.1 Aracın Her Bir Vitesteki Çalışma Oranlarının Belirlenmesi.....	34
2.2.2 Aracın Ortalama Tork ve Transfer Giriş Momentlerinin Belirlenmesi.....	37
3. TRANSFER DIŞLİLERİ VE MİLLERİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI	39
3.1 Daimi İştirak Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları.....	39
3.1.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	39

3.1.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	41
3.1.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	42
3.1.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	42
3.2	Grup A Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları.....	43
3.2.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	43
3.2.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	46
3.2.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	46
3.2.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	47
3.3	Grup B Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları	48
3.3.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	48
3.3.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	50
3.3.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	51
3.3.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	51
3.4	Seyyar Dişli Mukavemet ve Ömür Hesapları.....	52
3.4.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	52
3.4.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	55
3.4.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	55
3.4.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	56
3.5	Daimi İştirak Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı	57
3.5.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	57
3.5.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	63
3.5.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	64
3.5.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	64
3.6	Prizdirek Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı	65
3.6.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	65
3.6.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	68
3.6.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	69
3.6.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	69
3.7	Kamalı Milin Mukavemet ve Ömür Hesabı	70
3.7.1	I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu.....	70
3.7.2	II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	75
3.7.3	III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu	75
3.7.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	76
4.	ÖN DİFERANSİYEL DİŞLİLERİ VE MİLİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI	77
4.1	Ön Mahruti-Ayna Dişlisinin Mukavemet ve Ömür Hesabı	77
4.1.1	I. Vites 4x4 Durumu.....	77
4.1.2	II. Vites 4x4 Durumu.....	82
4.1.3	III. Vites 4x4 Durumu	83
4.1.4	Ön Mahruti Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	83
4.1.5	Ön Ayna Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	84
4.2	Ön Mahruti Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı	85
4.2.1	I. Vites 4x4 Durumu.....	85
4.2.2	II. Vites 4x4 Durumu.....	91
4.2.3	III. Vites 4x4 Durumu	92
4.2.4	Ön Mahruti Mili İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı.....	92

5.	ARKA DİFERANSİYEL DİŞLİLERİ VE MİLİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI	94
5.1	Arka Mahruti-Ayna Dişlisinin Mukavemet ve Ömür Hesapları	94
5.1.1	I. Vites 4x2 Durumu	94
5.1.2	II. Vites 4x2 Durumu	99
5.1.3	III. Vites 4x2 Durumu	100
5.1.4	IV. Vites 4x2 Durumu	100
5.1.5	V. Vites 4x2 Durumu	101
5.1.6	I. Vites 4x4 Durumu	101
5.1.7	II. Vites 4x4 Durumu	102
5.1.8	III. Vites 4x4 Durumu	102
5.1.9	Arka Mahruti Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı ..	103
5.1.10	Arka Ayna Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	104
5.2	Arka Mahruti Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı	105
5.2.1	I. Vites 4x2 Durumu	105
5.2.2	II. Vites 4x2 Durumu	110
5.2.3	III. Vites 4x2 Durumu	110
5.2.4	IV. Vites 4x2 Durumu	111
5.2.5	V. Vites 4x2 Durumu	111
5.2.6	I. Vites 4x4 Durumu	111
5.2.7	II. Vites 4x4 Durumu	112
5.2.8	III. Vites 4x4 Durumu	112
5.2.9	Arka Mahruti Mili İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	112
6.	KARDAN VE ÖN-ARKA AKS MİLLERİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI	114
6.1	Kardan Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı	114
6.1.1	I. Vites 4x2 Durumu	114
6.1.2	II. Vites 4x2 Durumu	120
6.1.3	III. Vites 4x2 Durumu	120
6.1.4	IV. Vites 4x2 Durumu	121
6.1.5	V. Vites 4x2 Durumu	121
6.1.6	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	121
6.2	Ön Aks Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı	122
6.2.1	I. Vites 4x4 Durumu	122
6.2.2	II. Vites 4x4 Durumu	126
6.2.3	III. Vites 4x4 Durumu	126
6.2.4	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	127
6.3	Arka Aks Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı	127
6.3.1	I. Vites 4x2 Durumu	127
6.3.2	II. Vites 4x2 Durumu	130
6.3.3	III. Vites 4x2 Durumu	131
6.3.4	IV. Vites 4x2 Durumu	131
6.3.5	V. Vites 4x2 Durumu	131
6.3.6	I. Vites 4x4 Durumu	131
6.3.7	II. Vites 4x4 Durumu	132
6.3.8	III. Vites 4x4 Durumu	132
6.3.9	Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı	132

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	137
Ek 1 GTD 4x4 arazi aracının şasi ve aktarma elemanlarının fotoğraf ve resimleri	138
Ek 2 GTD 4x4 aracın aktarma elemanlarının ömür hesaplamalarında yararlanılan çizelge ve şekiller	142
Ek 3 GTD 4x4 aracın millerinin kesme kuvveti (V) ve moment (M) diyagramları	148
ÖZGEÇMİŞ	155



SİMGE LİSTESİ

b	Diş genişliği
C	Çalışma oranı
C_o	Aracın 4x4 konumunda çalışma oranı
d_m	Ortalama bölüm dairesi çapı (konik dişli)
d_o	Bölüm dairesi çapı
F_a	Eksenel kuvvet
F_r	Radyal kuvvet
F_t	Teğetsel kuvvet
h	Diş yüksekliği
i	Çevrim oranı
k_f	Çentik faktörü
k_f'	Çentik faktörü (10^3 yük tekrarı için)
k_{fNi}	Niemann'a göre çentik faktörü
K_k	Kaynak kalitesi faktörü
K_t	Teorik çentik faktörü
$L_{eş}$	Eşdeğer yol ömrü
m	Modül
M_b	Giriş momenti
M_{tot}	Bileşke moment
m_d	Boyut faktörü
m_e	Eğilme yorulma dayanım sınırı faktörü
m_{mn}	Ortalama normal modül
m_n	Normal modül
m_o	Yorulma dayanımı sınırı toplam düzeltme faktörü
m_s	Yüzey düzgünlük faktörü
m_t	Yük faktörü
N_e	Sürekli ömür sınırı
N_f	Yük tekrarı
$N_{feş}$	Eşdeğer yük tekrarı
N_{fNi}	Niemann'a göre yük tekrarı
q	Çentik hassasiyeti
q_e	Kavrama oranı faktörü
q_k	Form faktörü

r	Radiüs
R_a	Koni uzunluğu
S	Atlama
t	Diş dibi genişliği
t_s	Baş dairesi diş adımı
Z	Diş sayısı
$Z_{eş}$	Eşdeğer diş sayısı
η_v	Aktarma elemanlarının toplam verimi
η	Yorulmada ömür emniyet katsayısı
ψ	Atlama açısı
α_o	Basınç açısı
δ	Kardan mili açısı
ε	Kavrama oranı
γ	Koni yarı açısı
β_o	Eğim açısı
α_{so}	Alın basınç açısı
τ_a	Burulma gerilme genliği
τ_{aq}	Eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği
τ_e	Düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırı (burulma)
τ_u	Kayma kopma mukavemeti (τ_k)
τ_y	Kayma akma sınırı (τ_{Ak})
σ_a	Gerilme genliği
$\sigma_{eş}$	Eşdeğer gerilme genliği
σ_{aq}	Eşdeğer tam değişken gerilme genliği
σ_b	Eğilme gerilmesi
σ_e	Düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırı
σ_{erb}	Standart deney çubuğu yorulma dayanımı sınırı
σ_m	Ortalama gerilme
σ_u	Kopma mukavemeti (σ_k)
σ_y	Akma sınırı (σ_{Ak})

KISALTIMA LİSTESİ

Ord.	Ordudonatım
GTD	Geliştirilmiş Türk (Modeli) Dizel
SAE	Society of Automotive Engineers
DIN	Deutschs Institut für Normung
ASTM	American Society for Testing and Materials
y.t.	Yük tekrarı
y.y	Yüz yıl



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Sabit gerilme genlikli muhtelif dinamik yüklemelerde gerilme-zaman grafiği. a) Tam değişken gerilme, b) Genel değişken ($\sigma_m \neq 0$), c) Titreşimli (dalgalı) gerilme (Collins, 1993).....	5
Şekil 1.2	Karışık yükleme durumlarına ait gerilme-zaman grafiği (Collins, 1993).	6
Şekil 1.3	Uçağa ait bir elemanın gerçek gerilme-zaman grafiği (Collins, 1993).	7
Şekil 1.4	Yorulma deney düzeneği (Collins, 1993).....	7
Şekil 1.5	Alüminyum alaşımı bir malzemede çentik etkisi (Dowling, 1993).....	10
Şekil 1.6	Döner eğme testinde yüzeyi çok iyi parlatılmış numunelerde boyutun yorulma dayanımı sınırına etkisi (Dowling, 1993).	10
Şekil 1.7	Çentiksiz alüminyum alaşımı bir standart deney çubuğunda, ortalama gerilme değerlerinin yorulma dayanım sınırına olan etkisi (Dowling, 1993).....	12
Şekil 1.8	Ortalama gerilmenin yorulma dayanımı sınırı üzerindeki etkisi (Collins, 1993).....	13
Şekil 1.9	7075-T6 Alüminyum malzemenin sabit ömür diyagramı (Dowling, 1993).....	14
Şekil 1.10	AISI 4340 alaşımlı çelik bir malzemenin master diyagramı (Collins, 1993)..	15
Şekil 1.11	Genel değişken gerilmelerin yorulmaya olan etkisini gösteren eğriler (Collins, 1993).....	15
Şekil 1.12	Birikimli yorulma hasarlarının karbon çeliği bir malzeme üzerindeki etkisi (Collins, 1993).....	17
Şekil 1.13	Collins metoduna göre “log-lineer” ömür eğrisi (Dowling, 1993).....	19
Şekil 1.14	Juvinall veya Shigley metoduna göre “log-log” ömür eğrisi (Dowling, 1993).	20
Şekil 1.15	Çentik faktörünün yük tekrarı ile olan değişimini gösteren grafik (Dowling, 1993).....	21
Şekil 1.16	Genel imalat çeliklerinin eğilme hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log).....	24
Şekil 1.17	Dişliler, transfer milleri ve mahrutu dişli millerinin eğilme hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log).....	26
Şekil 1.18	Aks mili ve kardan milinin burulma hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log).....	28
Şekil 1.19	Wöhler diyagramı.	30
Şekil 2.1	GTD model genel maksat aracının boyutları.....	32
Şekil 2.2	Aracın arazide her bir viteste çalışma sürelerinin oranları grafiği.	36
Şekil 2.3	Aracın şehir içinde her bir viteste çalışma sürelerinin oranları grafiği	36
Şekil Ek 1.1	Aracın şasisinin şematik görünüşü.	138
Şekil Ek 1.2	Aracın şasisinin montaj bandı üzerinde çeşitli açılardan fotoğrafı.....	139
Şekil Ek 1.3	Transfer kutusunun şasi üzerindeki konumu.....	139
Şekil Ek 1.4	Transfer kutusu içerisindeki dişliler ve miller	140
Şekil Ek 1.5	Transfer kutusunun şematik olarak gösterilişi.....	140
Şekil Ek 1.6	Ön ve arka ayna-mahrutu dişliler	141
Şekil Ek 1.7	Ön-arka aks milleri	141
Şekil Ek 1.8	Kardan mili	141
Şekil Ek 2.1	2500 cc Turbo Dizel Ford motorunun güç ve tork eğrisi.	142
Şekil Ek 2.2	Yüzey düzgünlük faktörü (m_s) diyagramı (Dowling, 1993).....	144
Şekil Ek 2.3	Eğilmeye çalışan kademeli mil K_t değerleri (Shigley, 1986).	145
Şekil Ek 2.4	Burulmaya çalışan kademeli mil K_{tr} değerleri (Shigley, 1986).	145
Şekil Ek 2.5	Tam değişken eğilme veya tam değişken eksenel kuvvetlere maruz çelik ve Al alaşımları için “q” değerleri (a). Tam değişken burulmaya maruz çelik ve Al alaşımları için “q” değerleri (b) (Shigley, 1986).	146
Şekil Ek 2.6	FZG deneylerine dayalı, diş dibi yarıçapına göre çentik faktörlerine etkisi (Harzadın ve Yurdakonar, 1970).	147

Şekil Ek 3.1	Daimi iştirak milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.....	148
Şekil Ek 3.2	Prizdirek milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.....	149
Şekil Ek 3.3	Kamalı milin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.....	150
Şekil Ek 3.4	Ön mahruti milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.....	151
Şekil Ek 3.5	Arka mahruti milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.....	152
Şekil Ek 3.6	Ön ve arka aks millerinin moment (M) diyagramı.....	153
Şekil Ek 3.7	Kardan milinin moment (M) diyagramı.....	154



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Ömür diyagramlarının çıkartılmasında kullanılan parametreler (Dowling, 1993).....	23
Çizelge 2.1	Aracın motor devirleri.	35
Çizelge 2.2	Aracın arazi ve şehir içinde kullanım süreleri ve oranları.....	35
Çizelge 2.3	Aracın arazide (%35), şehir içinde (%65) ve genel kullanım oranları.	37
Çizelge 2.4	Motor ortalama tork değerleri (N.m).	38
Çizelge 2.5	MT-75 şanzıman çevrim oranları ve transfer giriş momentleri.....	38
Çizelge 7.1	Aktarma elemanları eşdeğer ömür değerleri	133
Çizelge 7.2	Dişlilerin Niemann çentik faktörüne göre eşdeğer ömür değerleri	133
Çizelge Ek 2.1	Aktarma elemanlarının malzemesi, akma ve kopma mukavemeti	143
Çizelge Ek 2.2	Sıfır ($x=0$) dişliler için form faktörü (Akkurt, 1990).....	143
Çizelge Ek 2.3	Dişliler için boyut faktörü (Shigley, 1986).....	144



ÖNSÖZ

1013. Ord. Ana Tam. Fabrikasında üretilen GTD model 4x4 (dört tekerleği tahrikli) askeri araçların aktarma elemanlarının ömürlerinin tespiti üzerine yapılan bu çalışma 7 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, yorulma kırılması anlatılarak öneminden bahsedilmiş ve ömür diyagramlarının nasıl çıkartıldığı ve tezde kullanılan hesaplamaların hangi metotlar kullanılarak yapıldığı anlatılmaktadır. İkinci bölümde, aracın teknik özellikleri verilmiş, arazi ve şehir içi testi yapılarak ömür hesaplamalarında kullanılacak veriler ortaya konulmuştur. Üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı bölümlerde, aracın transfer dişli ve milleri, ön ve arka diferansiyel dişli ve milleri ve kardan mili ve ön-arka aks milleri için ömür hesapları yapılmıştır. Yedinci bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

Hesaplamalarda tüm aktarma elemanları için I. vites durumunda mukavemet ve ömür hesaplarının tamamı verilirken aynı yöntemle hesaplanan diğer vites durumlarında ise mukavemet ve ömür değerleri özet olarak sunulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan çizelge ve şekillerin bir kısmı tezin içerisinde bir kısmı da eklerde verilmiştir. Ayrıca aracın şasisinin ve ömür hesapları yapılan aktarma elemanlarının fotoğrafları ile millerin kesme ve eğilme moment diyagramları tezin ekinde verilmiştir. Tezin içeriği askeri amaçlı bir aracın incelenmesi olduğundan, teknik resimler tezde verilmemiştir.

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

Ayrıca tezin içeriğinde yer alan, Palmgren-Miner metoduna göre eşdeğer ömür ve eşdeğer gerilme hesaplarının yapılabilmesi için gerekli olan, aracın her vites konumunda arazi ve şehir içi yol şartlarında viteste kalma sürelerinin tespitinde bana yardımcı olan Mak. Müh. Kutluay Arı, Mak. Müh. Mete Özdağ, Mak. Müh. Abdurrahman Güneş ve Metalurji Y. Müh. Ahmet Gümüş'e teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimine başlamam konusunda beni teşvik eden ve çalışmalarım süresince desteğini eksik etmeyen sevgili eşim Fatma Nur AYAROĞLU'na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Tekrarlı yüklerle maruz kalan araç aktarma elemanlarında yorulma kırılmalarının önlenmesi hayati öneme sahiptir. Bu nedenle yorulma kırılmalarının yaşanmaması için, bu şekildeki yüklenmelere maruz kalan araçların aktarma elemanları, yorulma açısından detaylı olarak incelenmeli ve test edilmelidir.

Bu çalışmada, 1013. Ord. Ana. Tam. Fab. Müdürlüğünde üretimi yapılan GTD model 4x4 askeri bir aracın aktarma elemanlarının mukavemet ve ömürlerinin hesaplanıp, yedek parça stok seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

İlk olarak araç, şehir içi ve arazi testine tabi tutularak, kullanılan motorun her bir vitesteki momentleri ile viteste kalma süreleri ve oranları tespit edilmiştir. Daha sonra aktarma elemanları incelenerek bu elemanların üzerine gelen yükler tespit edilmiş ve nasıl bir yüklenmeye maruz kaldıkları ortaya konulmuştur. Literatürde, ömür hesaplarında kullanılan yöntemlerden kullandığımız sistemlere en uygun olanlar seçilerek ömür değerleri ortaya konulmuştur. Ömür hesaplarında ömrü etkileyen çentik, yüzey düzgünlük, boyut faktörleri dikkate alınarak düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırları esas alınarak Wöhler eğrileri oluşturulmuştur. Dişlilerdeki ömür hesaplamalarında iki farklı yaklaşımdan bulunan ömürler karşılaştırılmıştır.

Elde edilen ömür değerleri yorumlanarak o elemana ait bulundurulması gereken stok miktarları konusunda fikir edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yorulma, Ömür, Palmgren-Miner, Aktarma elemanları

ABSTRACT

Prevention of fatigue fracture is a vital aspect of design for drivetrain elements that are subjected to repeated loading. Therefore, drivetrain elements of a vehicle must be extensively analysed and tested to avoid fatigue problems.

In this thesis, some drivetrain elements of four wheel drive-GTD model-military vehicle, were analysed and the service life of them were calculated in order to determine stock level.

First, the vehicle was tested both in terrain and in the city. Moments and revolution numbers of engine, time and operation ratios of transmission in each speed were determined. Then, the drivetrain elements were analysed and the loading spectras were determined. Service life of them were calculated by using the most convenient methods in literature. Stress effects, such as notches, surface finish factors, size factors were taken into account and fully corrected endurance limits for every elements were determined. Wöhler diagrams (stress-life curves) were drawn. Life of gears were calculated by using two different notch factors.

Evaluating the results of life calculations, some ideas about stock level of drivetrain elements are gained.

Keywords: Fatigue, Service life, Palmgren-Miner, Drivetrain elements.

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, 1013. Ord. Ana. Tam. Fab. Müdürlüğünde üretimi yapılan GTD model 4x4 askeri aracın aktarma elemanlarının mukavemet ve ömür hesapları yapılmıştır. Hesaplanan ömürlere göre, hangi elemanın ne zaman hasara uğrayabileceği ve buna bağlı olarak da, bu elemanların ne zaman ve ne miktarda üretilip stoklanması gerektiğinin tespiti amaçlanmıştır.

Daha önce T ve GT model benzin motorlu araçların bazı aktarma elemanlarının ömür hesapları lisans ve yüksek lisans seviyesinde yapılmıştır. Bu çalışmada ise öncekilerden farklı olarak GTD model 4x4 dizel motorlu aracın aktarma elemanlarının ömür hesapları, ömür etkileyen faktörler de dikkate alınarak ilk kez hesaplanmıştır. Yine önceki çalışmalarda, dört vitesli T ve GT model araçların vitesde kalma süreleri ve oranları tespit edilmesine karşılık, aracın gerçek durumunu simule eden ortamda arazi ve şehir içi testleri yapılarak vitesde kalma oranları yeniden tespit edilmiştir.

İlk olarak, araçta kullanılan motorun her vitesde minimum ve maksimum devirler arasında verdiği momentlerin ağırlıklı ortalamaları, aracın testi sonucu elde edilen veriler ve motorun güç-tork diyagramından yararlanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca aracın arazide ve şehir içinde her bir vitesde kalma süreleri ve oranları tespit edilmiştir. Aktarma elemanları muhtelif viteslerde çalıştığından, her vitesde maruz kalacağı gerilmeler de farklı olacaktır. Dolayısıyla eşdeğer gerilme ve eşdeğer ömür bulmak için en çok kullanılan yöntem olan Palmgren-Miner metodundan yararlanılmıştır.

Transfer dişli mekanizması, iki hızlı bir vites kutusudur. 2H, 4L, 4H ve N olmak üzere dört ayrı konuma sahiptir. 2H konumu, 4x2 konumu olup beş vitesli şanzımandan gelen hareket (güç) direkt olarak daimi iştirak mili ve prizdirek mili vasıtasıyla arka tekerleklere aktarılır. 4L konumu, 4x4 düşük hız konumu olup, beş vitesli şanzımandan gelen hareket (güç) ön ve arka tekerleklere aktarılır, transfer giriş devri 2.01/1 oranında düşürülerek moment artırılır. 4H konumu, 4x4 yüksek hız konumu olup, beş vitesli şanzımandan gelen hareket (güç) devir düşürülmeden 1/1 oranında ön ve arka tekerleklere aktarılır. N konumu ise transferin boş konumu olup, transferden güç alınamaz.

Transfer dişlileri, ayna-mahruti dişlileri ve ön-arka aks milleri aynı yönde döndüğünden titreşimli yükler ($\sigma_{min}=0$, $\tau_{min}=0$, $R=0$) olarak hesap yapılmıştır. Değiştirilmiş Goodman doğrusu (Modified Goodman Line) eşitliğinden yararlanılarak maksimum gerilme, eşdeğer tam değişken gerilme genliğine ($\sigma_m=0$, $\tau_m=0$) dönüştürülmüştür. Dişliler için ömür hesabı, iki

farklı kaynaktan çentik faktörleri tespit edilerek ayrı ayrı yapılmıştır. İlk yöntemde dişli ömür hesaplarında, fotoelastisite deneylerine göre yapılan çalışmalar sonucunda, T.J Dolan ve E. I. Broghamer tarafından diş dibi çentik faktörü (t diş dibi kalınlığı, r dişdibi radiüsü ve h diş yüksekliği olmak üzere) aşağıdaki amprik formüle göre hesaplanmıştır (Maitra,1988).

$$k_f := 0.18 + \left[\left(\frac{t}{r} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t}{h} \right)^{0.45} \right] \quad (1.1)$$

İkinci yöntemde ise Niemann tarafından verilen şekil Ek 2.6'deki şekle göre çentik faktörleri tespit edilmiş ve buna göre dişli ömürleri hesaplanmıştır.

Transfer millerinde ve mahruti dişli millerinde hem burulma hem de eğilme gerilmeleri vardır. Burulma sabit, eğilme gerilmeleri tam değişken gerilme olarak alınmıştır. Bileşik gerilmelerin tespitinde en iyi yöntem olan Maksimum Biçim Değiştirme Enerjisi Varsayımı (Distortion-Energy teorisi diğer adıyla Mises-Henkey teorisi diye bilinen yöntem) uygulanarak ortalama gerilme (σ_m) ve gerilme genliği (σ_a) hesaplanmıştır. Daha sonra bulunan bu değerler Goodman eşitliği kullanılarak tam değişken eşdeğer gerilme haline dönüştürülmüştür.

Kardan millerinde motordan gelen belli bir moment nedeniyle oluşan sabit bir burulma gerilmesi üzerinde, milin eğim açısı nedeniyle oluşan burulma gerilmeleri salınımları vardır. Yani, kardan milindeki yüklenme ($\tau_m \neq 0$) genel değişken bir yüklenmedir. Kardan milinde de Goodman eşitliği kullanılarak tam değişken eşdeğer burulma gerilmeleri hesaplanmıştır.

Ömür değerlerinin tespitinde "log-log" koordinatlar kullanılmış, Juvinall-Shigley metodu kullanılarak ömür değerleri tespit edilmiştir.

Ömür hesaplarında ömrü etkileyen çentik, yüzey, boyut faktörleri dikkate alınarak düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırları esas alınarak, tam değişken yüklemelerde eğilme ve burulma halleri için Wöhler eğrileri oluşturulmuştur. Her bir elemanın ömrü bulunurken geometrik süreksizlik olan bütün kesitler incelenmiş ve en tehlikeli kesit tespit edilerek ömür hesapları yapılmıştır.

Transfer dişlileri, sadece arazide 4x4 düşük hız ve caddede 4x4 yüksek hız konumlarında iken yüklenmeye maruz kalmaktadır. Araç, 4x4 yüksek hız konumunda ise sadece caddede karlı yollarda nadiren kullanılacaktır. Aracın her vitesteki çalışma oranlarının tespiti için yapılan

testte de 4x4 yüksek hız konumu hiç kullanılmamıştır. Ağırlıklı olarak sırasıyla 4x2 ve 4x4 düşük hız konumlarında araç kullanılmıştır. Bundan dolayı 4x4 yüksek hız konumu hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Arazi şartlarında 4x4 düşük hız konumunda 1, 2 ve 3. vitesler kullanılmakta, 4 ve 5. vitesler kullanılmamaktadır. Dolayısıyla transfer dişlileri ve transferdeki millerin ömür hesapları 4x4 düşük hız 1, 2 ve 3. vitesler göz önüne alınarak yapılmıştır.

Tezde mukavemet ve ömür hesapları yapılan aktarma elemanlarının kopma mukavemet ve akma sınırı değerleri çizelge ek 2.1'de verilmiştir. Millerin kesme ve moment diyagramları ek 3'te verilmiştir.

1.1 Yorulma Kırılması Nedir?.

Makine parçaları, statik yüklemelere çok özel durumlarda maruz kalırlar. Modern mühendislik uygulamalarında, araçlarda olduğu gibi makine elemanları tekrarlı yükler altında çalışırlar. Dolayısıyla bu şekilde çalışan makine elemanları statik yüklemelerden ziyade tekrarlı yüklere maruz kalırlar. Bu tekrarlı yüklere ait gerilme genlikleri kopma mukavemeti sınırının, hatta akma sınırının oldukça altında olmasına rağmen, malzemenin iç bünyesindeki mikroskobik fiziksel yıpranmalar ve hatalar nedeni ile hasar oluşur ve sonuçta malzeme kırılır. Bu duruma **yorulma kırılması**, elemanın kırılıncaya kadar dayandığı süreye ise **ömür** denir (Collins, 1993).

Yorulma hasarları üç ana başlık altında incelenir. Bunlar; gerilme esaslı, genlik esaslı ve kırılma mekaniği esaslı yaklaşımlardır. 10^3 yük tekrarına kadar olan yorulma hasarları, düşük yük tekrarlı yorulma (low cycle fatigue) olarak incelenir. Bu tip yorulmada hasar, gerilmenin yoğunlaştığı çatlak gibi geometrik süreksizliğin olduğu yerde başlar. Gerilme, elastik sınırı aştığında plastik deformasyon oluşur. Yük tekrarının 10^3 'den büyük olduğu durumlarda yüksek yük tekrarlı yorulma (high cycle fatigue) olarak tanımlanır (Dowling, 1993).

Yorulma hasarı, çıplak gözle görülemeyen, çatlak muayene metodları ve x-ışınları ile dahi tespiti çok zor olan çok küçük bir çatlak ile başlar. Çatlak, malzemelerde kesit değişikliği, kama yeri veya delik gibi geometrik süreksizlik olan yerlerde veya iç bünyede hata bulunan yerlerde başlar. Geometrik süreksizlik kesme takımının veya kontrol cihazının bıraktığı izde olabilir. Çatlak bir defa başladığında gerilme konsantrasyon etkisi ile gerilme daha büyük hale gelir ve çatlak daha hızlı büyür. Sonunda çatlak dışındaki bölgede gerilme, mukavemet sınırını aşar, malzeme yükü taşıyamaz ve birdenbire kırılır. Kırılma yüzeylerinde birbirinden

çok farklı iki bölge ortaya çıkar. Ani kırılma yüzeyi, kırılğan bir malzemenin çekme testi sonrasındaki kırık yüzeyine benzer. Çatlağın geliştiği ilk yüzey ise mat ve düzgündür (Shigley, 1986).

Makine elemanları statik yüklenmeler altında kırılmadan önce genellikle çok yüksek sehimlere neden olur, bu da çalışan elemanın kırılacağı hususunda ikaz verir. Böylece eleman kırılmadan önce yenisi ile değiştirilir. Halbuki yorulma olayında oluşan hasar, kümülatif olup kırılma anidir ve önceden tahmin edilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla yorulma kırılmaları tehlikelidir (Shigley, 1986).

Yorulma nedeniyle oluşan hasarlar, 150 yıldır mühendislik inceleme konusu olmuştur. Bu konuda ilk çalışma W.A.S. Albert tarafından maden ocaklarında kullanılan asansör zincirleri üzerinde yapılmıştır. 19. yy'ın ortalarında demiryolu sistemleri hızla gelişmeye başlayınca vagonların akslarındaki yorulma kırılmaları önemli bir problem haline gelmeye başladı. Yorulma konusunda ilk sistematik araştırma 1850'li yıllarda Alman mühendis August Wöhler tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada muhtelif cins malzemelerin eğilme, çekme ve burulma durumlarına göre yorulma deneyleri yapılmıştır. Wöhler aynı zamanda yorulmanın sadece gerilme genliği tarafından etkilenmediğini, ortalama gerilmenin de yorulmada etkisinin olduğunu ortaya koydu. Ortalama gerilmenin yorulmaya olan etkisi hususundaki detaylı çalışmalar Gerber ve Goodman tarafından yapılmıştır (Collins, 1993).

20. yy'ın başlarında teknolojinin hızla gelişmesi, daha yüksek hızlı makinelerin (türbinler, araçlar v.b.) dizaynıyla ve havacılık endüstrisinin gelişmesi sonucunda yorulma konusu çok daha fazla önem kazanmıştır. 20.yy'ın ortalarına kadar yorulma konusu fizikçiler ve metalurjistler tarafından mikroskobik seviyede, tasarım mühendisleri tarafından da makroskopik seviyede laboratuvar testleri yapılarak incelenmiştir. Bu dönemde dislokasyon teorisindeki gelişmeler, mikroskobik seviyede yorulma kavramının anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Elektron mikroskobunun gelişmesi ise yorulma prosesinin izlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Ayrıca yüksek hızlı bilgisayarların gelişmesi de makroskopik seviyede yorulma olayının açıklanmasına katkıda bulunmuştur (Collins, 1993).

1.1.1 Yorulmaya Maruz Kalan Makine Elemanlarının Yüklenme Durumları.

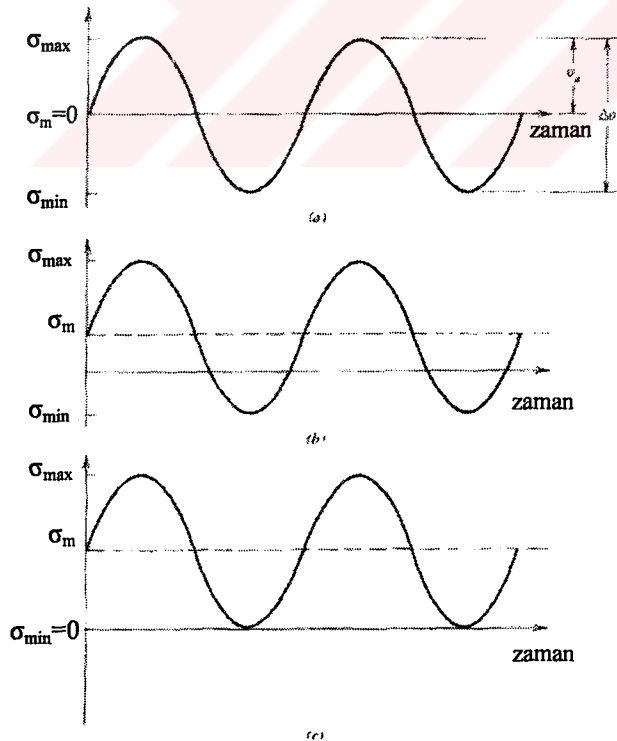
Makine parçalarının değişken gerilmeleri, max. ve min. iki değer arasındaki periyodik değişen gerilmelerdir. Maksimum gerilme σ_{\max} , minimum gerilme de σ_{\min} ile ifade edilir. Bu durumda gerilmeler aşağıdaki gibi bulunur;

ortalama gerilme;
$$\sigma_m := \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (1.2)$$

gerilme genliği;
$$\sigma_a := \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (1.3)$$

gerilme oranı;
$$R := \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1.4)$$

gerilme genliği oranı;
$$A := \frac{\sigma_a}{\sigma_m} := \frac{1 - R}{1 + R} \quad (1.5)$$

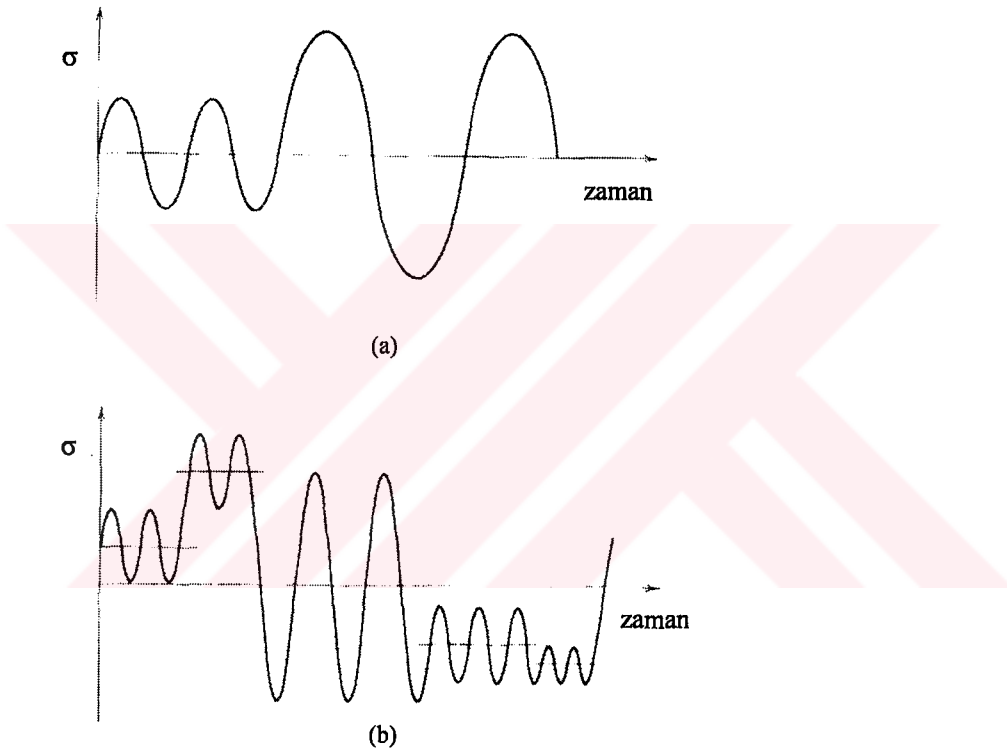


Şekil 1.1 Sabit gerilme genlikli muhtelif dinamik yüklemelerde gerilme-zaman grafiği.
a) Tam değişken gerilme, b) Genel değişken ($\sigma_m \neq 0$), c) Titreşimli (dalgalı) gerilme
(Collins, 1993).

Bu yükleme durumlarından en basiti tam değişken ($\sigma_m=0$, $R=-1$) yüklemedir. Şekil 1.1a'da bu durum gösterilmiştir

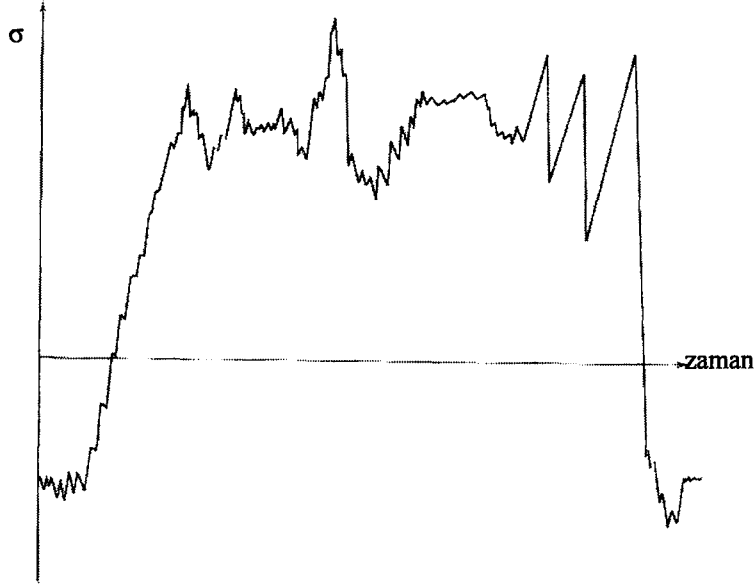
İkinci tip yükleme durumu ise Şekil 1.1b'de gösterilen genel değişken ($\sigma_m \neq 0$) yüklemedir. İkinci tip yüklemenin çok sık karşılaşılan özel bir çeşidi de Şekil 1.1c'de gösterilen titreşimli gerilme ($\sigma_{\min}=0$, $R=0$) halidir.

Makine elemanlarında karşılaşılan karşık yükleme durumu örneklere ise Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2 Karşık yükleme durumlarına ait gerilme-zaman grafiği (Collins, 1993).

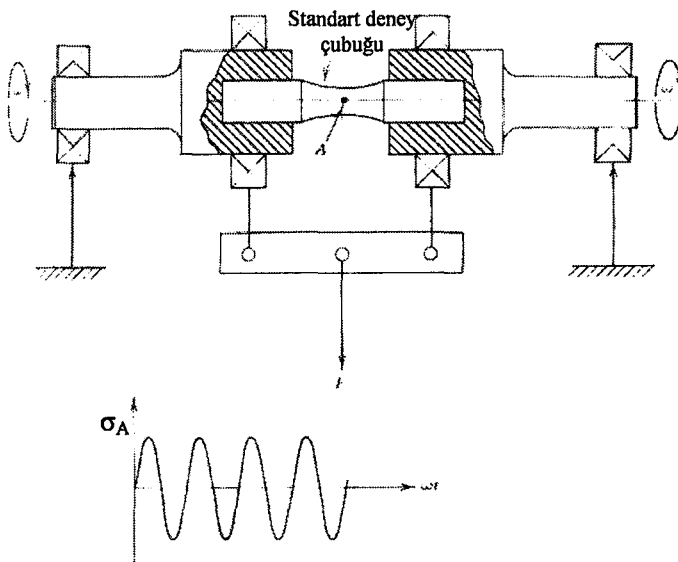
Şekil 1.3'te ise uçağa ait bir elemanda, kalkışından inişine kadar olan gerçek yükleme durumu görülmektedir. Bu yükleme durumu akselometre, genlikler ve transducer gibi özel ölçü aletleriyle tespit edilmiştir (Collins, 1993).



Şekil 1.3 Uçağa ait bir elemanın gerçek gerilme-zaman grafiği (Collins, 1993).

1.1.2 Laboratuvar Ortamında Yorulma Deneyleri.

Tekrarlı yüklere maruz kalan makine elemanlarının dizaynında, 8-10 mm çapında olan yüzeyi çok iyi parlatılmış standart deney çubuklarının laboratuvarlarda yapılan yorulma testi sonuçları esas alınır. Yorulma testi ile ilgili muhtelif standartlar mevcut olup bunların içinde en çok kullanılanı ASTM standartlarıdır. Yorulma testini anlatan standart ise E466'dır. Yorulma testlerinde en çok uygulanan metot, döner-eğme yorulma testidir. Bu test yöntemi şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 Yorulma deney düzeneği (Collins, 1993).

Bu metot da, F kuvveti sabit olarak uygulanır. Deney çubuğunun her iki ucundaki yataklara kuvvetin etki etmesiyle deney çubuğunda sabit bir eğilme momenti ve sıfır kesme gerilmesi uygulanmış olur. Deney çubuğunda, herhangi bir anda üst taraftaki lifler çekmeye çalışırken alt taraftaki lifler basmaya çalışır. Deney çubuğu “n” dev/dak ile dönerse milin lifleri dakikada “n” defa basmaya ve çekmeye maruz kalır. Böylece malzemenin lifleri pozitif ve negatif eşit değerler arasında periyodik sinüzoidal gerilmelere maruz kalır. Bu durumda deney çubuğuna ait tam değişken yüklemeye ait ömür diyagramı elde edilir (Collins, 1993).

Bu testlerde frekans elektrik motorunun hızı ile ayarlanmakta olup 10Hz'den 100Hz'ye kadar değişebilmektedir. Deney çubuğunda 10^7 yük tekrarını denemek 28 saat, 10^8 yük tekrarını denemek 12 gün ve 10^9 yük tekrarını denemek ise 4 ay gibi uzun bir süre alabilmektedir. Deneylerde kullanılan test çubukları çentiksiz ve çentikli olmak üzere iki tiptir. Deney çubuklarında yüzeyler son derece iyi parlatılmıştır (Dowling, 1993).

1.1.3 Yorulma Kırılmasına Etki Eden Faktörler.

Makine parçalarının veya laboratuvar numunelerinin ömür diyagramlarında ve dolayısıyla da ömür değerlerindeki farklılıklar o parçaların metalografik yapıda farklılık göstermesinden, konfigürasyon veya buldukları ortamın farklılığından dolayı olmaktadır. Bunun gibi birçok faktör, aynı malzemeler için ömür diyagramlarının farklı olmasına neden olmaktadır. Bu faktörler kısaca aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

1) Malzeme kompozisyonu, tane boyutu ve tane yönü:

Demir ihtiva eden alaşımlarda yorulma sınırı iyi bir şekilde tanımlanmış olmasına rağmen demir dışı alaşımlarda bu sınır keskin değildir. Aynı kompozisyona sahip malzemelerden küçük tane boyutuna sahip olan malzemeler büyük tane boyutlu malzemelere nazaran daha iyi bir yorulma mukavemetine sahiptir (Collins, 1993).

2) Isıl işlem:

Malzemeye uygulanan ısıl işlemler o malzemenin statik mukavemet sınırlarını etkilediği gibi yorulma mukavemetini de etkiler. Yapılan ısıl işlem eğer malzemenin statik mukavemet sınırını yükseltiyorsa yorulma sınırı da yükselir (Collins, 1993).

3) Kaynak etkisi:

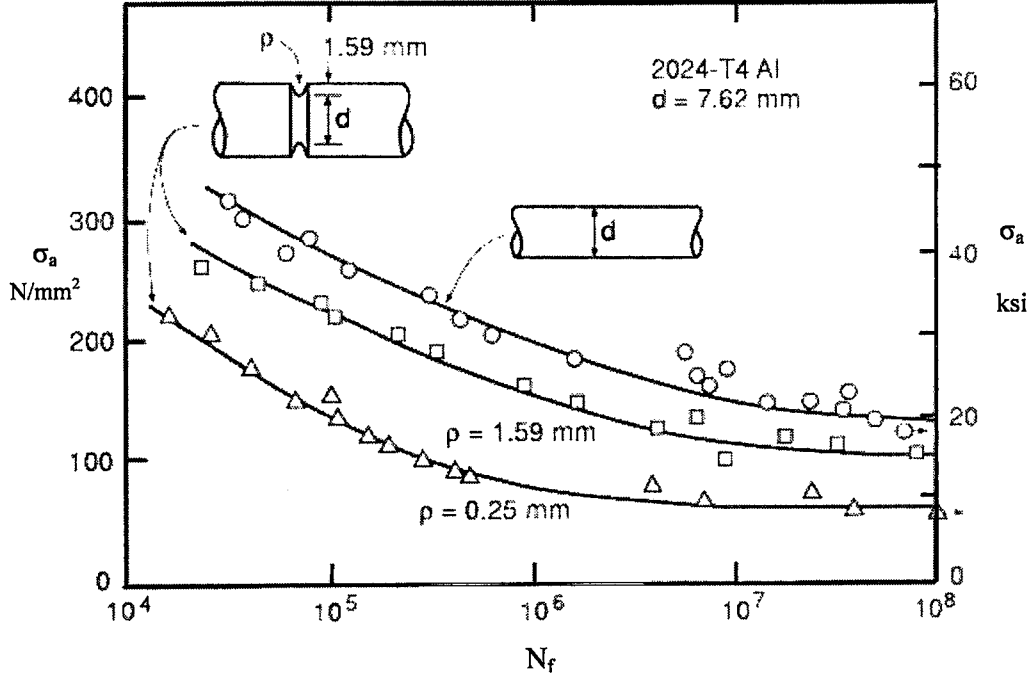
Kaynaklamada hangi teknik kullanılırsa kullanılsın, ısı değişiminin yaşanmadığı bölgeden ısının yaşandığı bölgeye ve kaynaklı bölgeye kadar olan kısmın metalografik açıdan heterojen bölge olarak değerlendirilmesi gerekir. Genel olarak kaynakla veya diğer yöntemlerle birleştirilen malzemelerin yorulma dayanımları aynı malzemenin yekpare olan parçasından daha düşüktür. Kaynak bölgesinde oluşan ısı gradyanının yanında, kaynak metalinin içerisinde veya kaynak edilen metalde ani soğumalardan dolayı çatlakların veya kaynak metali ve malzeme arasında boşlukların, ergimenin tam gerçekleşmemesi gibi durumların ve artık gerilmelerin oluşabilmesi muhtemeldir. Bu söz konusu durumların tamamı yorulma dayanım sınırını düşüren olumsuzluklardır (Collins, 1993).

4) Yükleme tipinin etkisi:

Yorulmada çekme, eğilme ve burulma olmak üzere üç temel yükleme mevcuttur. Yorulma dayanımı sınırı eğilme ile saptandığından tam değişken çekme yüklemesine ($\sigma_m=0$) maruz parlatılmış deney çubuklarının yorulma dayanımı sınırı eğilmeye maruz deney çubuklarının yorulma sınırının %85'i kadardır. Parlatılmış parçaların tam değişken burulmadaki ($\tau_m=0$) yorulma dayanımı sınırı ise eğilmedekinin %58'i kadardır (Eryürek, 1993).

5) Çentik etkisi:

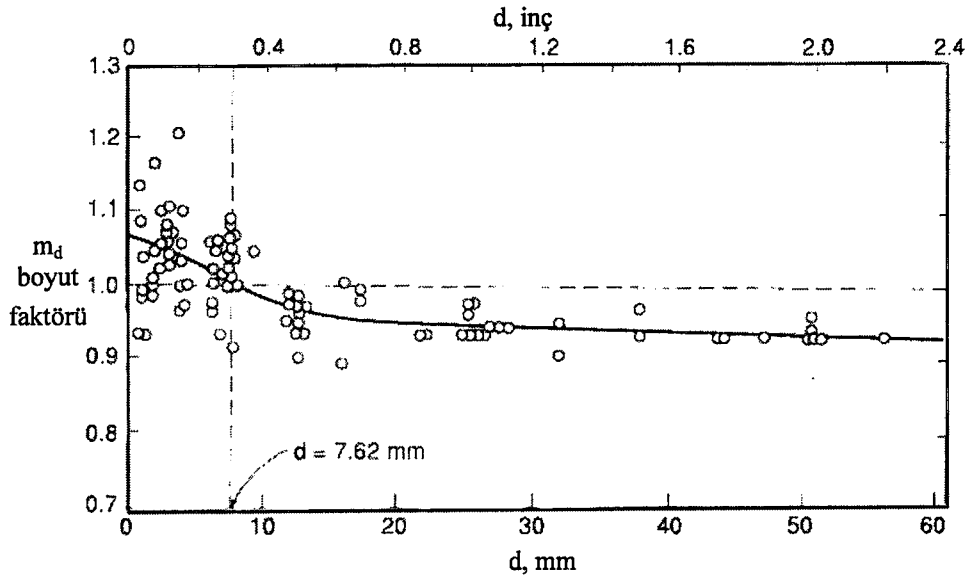
Makine elemanlarının tasarımında gerilim artırıcı olarak bilinen delik, radius, kama kanalı gibi kaçınılmaz geometrik süreksizlikler o elemanın yorulma dayanım sınırını önemli ölçüde düşürür. Geometrik düzensizlik olan bu bölgelerde gerilme yığılmaları oluşur ve yorulma kırılmalarına neden olan çatlaklar bu bölgelerde başlar. Gerçek metaller homojen olmadıklarından ve gerçek yüzeyler deney şartlarındaki gibi parlaklığa sahip olmadıklarından çentik içermeyen parçalarda bile hacimsel ve yüzeysel gerilim artırıcılar mevcuttur. Bir parçanın yorulma sınırında çentik nedeniyle oluşan gerçek azalma oranı, yorulma çentik faktörü k_f ile belirlenir. Alüminyum alaşımlı bir malzemedeki çentik etkisi şekil 1.5'de görülmektedir (Eryürek, 1993).



Şekil 1.5 Alüminyum alaşımı bir malzemede çentik etkisi (Dowling, 1993).

6) Boyut faktörü:

Standart deney çubuğundan daha büyük olan makine parçalarında yorulma sınırı daha düşüktür. Çünkü bu elemanların standart deney çubuğuna kıyasla daha büyük bir hacmi ve daha geniş bir yüzeyi mevcuttur. Bundan dolayı gerilme konsantrasyonu ve çatlak olma olasılığı diğerlerine göre daha yüksektir. Boyut faktörünün yorulma dayanımı sınırı üzerindeki etkisi şekil 1.6'da görülmektedir.



Şekil 1.6 Döner eğme testinde yüzeyi çok iyi parlatılmış numunelerde boyutun yorulma dayanımı sınırına etkisi (Dowling, 1993).

7) Yüzey düzgünlüğü faktörü:

Standart deney çubukların yüzeyleri gayet iyi taşlanmış ve parlatılmıştır. Makine elemanlarının yüzeyleri ise aynı kalitede işlenmiş değildir. Yüzeylerin pürüzlülüğü büyüdükçe sürekli mukavemet sınırı azalmaktadır. Ömür diyagramlarında 10^3 yük tekrarına karşılık gelen nokta yüzey şartlarından önemli ölçüde etkilenmemekle beraber yorulma dayanımı sınırı bundan önemli ölçüde etkilenir. Yüzey şartları beş geniş sınıfta etüt edilebilir. Bunlar; parlatılmış, taşlanmış, talaş kaldırılmış, sıcak haddelenmiş ve dövme yüzeylerdir. Yüzey düzgünlüğünün etkisi şekil ek 2.2'de görülmektedir (Eryürek, 1993).

8) Artık gerilme faktörü :

Artık gerilmeler yorulma mukavemeti üzerinde önemli bir rol oynar. Eğer yüzeydeki artık gerilmeler çekme karakterli ise yorulma dayanım sınırı azalır, basma karakterli ise artar.

Taşıma esnasında parçaların yüzeylerindeki yüksek sıcaklıklar nedeniyle yüzeylerde plastik deformasyonlar ve gerilmeler doğar, soğuma esnasında katı halde bulunan alt tabakalar yüzeylerin büzülmesine engel olur ve böylece yüzeylerde çekme artık gerilmeleri meydana gelir. Sementasyon ve Nitürleme sonucunda yüzeylerin hacmi büyür, basma artık gerilmeleri oluşur. Endüksiyon ve Alev ile sertleştirmede parçaların yüzeylerinde ısıl genişleme ve faz değişiminin sonucu olarak Martenzit bir yapı oluşur. Isıl genişleme sonucunda çekme, faz değişimi sonucunda ise basma artık gerilmeleri oluşur. Genellikle bu gerilmelerin bileşkesi basma artık gerilmesi şeklindedir. Genel olarak elektro kaplamalar malzemenin yüzeylerinde çekme artık gerilmeleri, buna karşılık ise ana malzemede basma artık gerilmeleri meydana getirir. Kaplama tabakasında kolayca oluşan yorulma çatlakları ana malzemeye iletilir (Akkurt ve Kent, 1975).

Yorulma dayanım sınırını artıran artık gerilmeleri oluşturan üç metot vardır. Bunlar; bilye bombardımanı (shot-peening), soğuk haddeme ve öngerilme işlemidir. Bu metotlar uygulanarak basma gerilmeleri oluşturulur ve çatlak yayılması zorlaştırılır. Bu yöntemler tek bir elemanın yorulma dayanım sınırını artırmakla beraber malzeme üzerindeki çentik çizik gibi düzensizlikleri giderip, standartlık sağladıklarından seri üretilen malzemelerde de yorulma dayanımı sınırlarını tek bir değere yaklaştırır (Collins, 1993).

9) İşletme sıcaklığı:

Genel olarak sıcaklığın yükselmesi yorulma dayanım sınırını düşürür, sıcaklığın azalması ise artırmaktadır.

10) Korozyon:

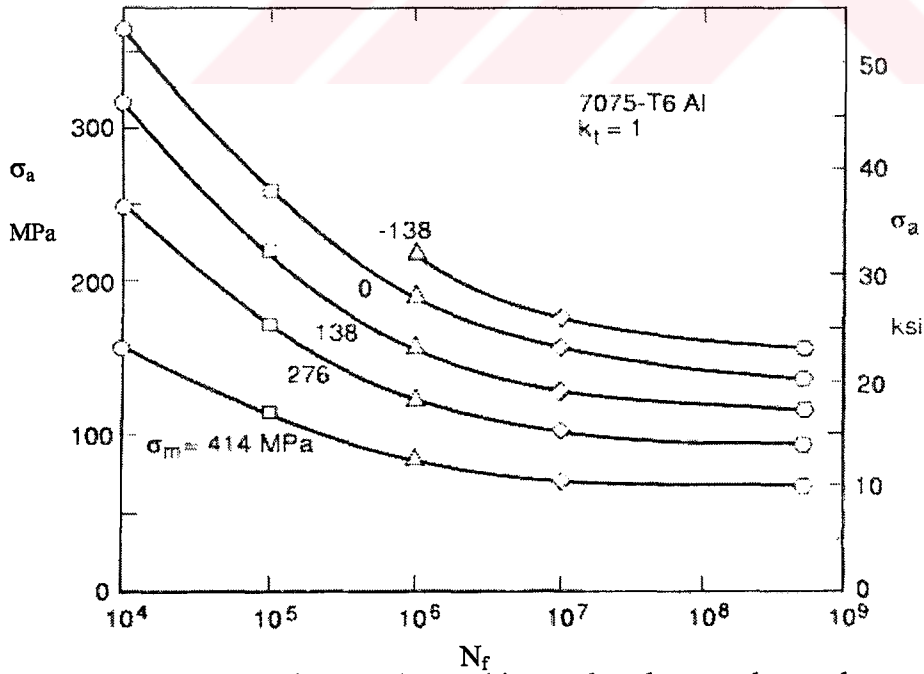
Korozif ortam, her zaman yorulma dayanım sınırını olumsuz etkilemektedir. Genel olarak korozif sıvı ortamlarda çalışan elemanların yorulma dayanım sınırları, normal ortamdaki değerlerine göre 2/3 oranda azalmaktadır (Collins, 1993).

11) İşletme hızı:

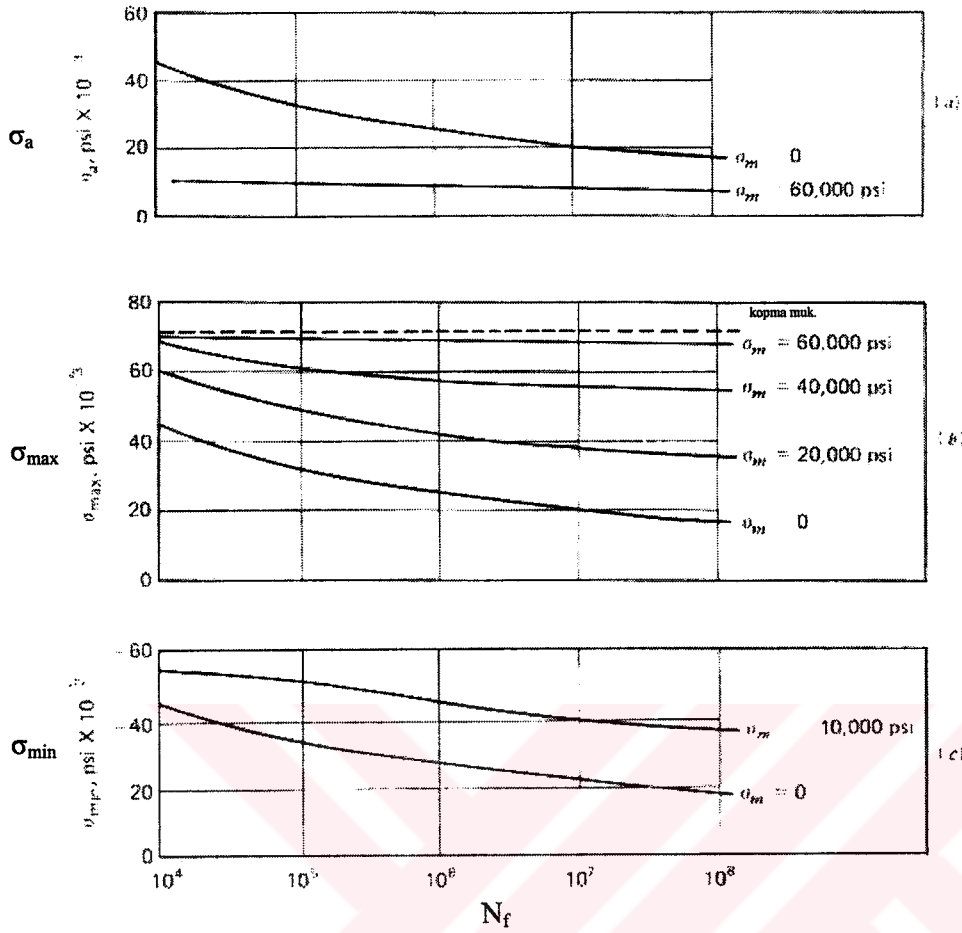
Makine parçalarının dakikada 200'den 7000'e kadar olan yük tekrarında yorulma dayanımı sınırında herhangi bir değişiklik gözlenmez. Dakikada 7000 yük tekrarından 60000 ila 90000 yük tekrarına kadar olan işletme hızlarında yorulma dayanımı artar. Fakat bu hızın üzerinde bazı malzemelerde yorulma sınırı hızla düşmektedir (Collins, 1993).

12) Ortalama gerilmenin etkisi:

Makine parçalarında ortalama gerilmenin yorulma sınırı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Şekil 1.7'te görüldüğü üzere ortalama gerilme değeri arttıkça yorulma dayanımı sınırı azalmaktadır. Diğer bir deyişle, aynı gerilme genliği için ortalama gerilme değeri arttıkça (çekmede) yorulma ömrü azalmakta, ortalama gerilme değeri azaldıkça (basmada) yorulma ömrü artmaktadır. Belli bir ömür değeri için ortalama gerilme değerinin artması, gerilme genliğinin (σ_a) azalmasını zorunlu kılar (Dowling, 1993).

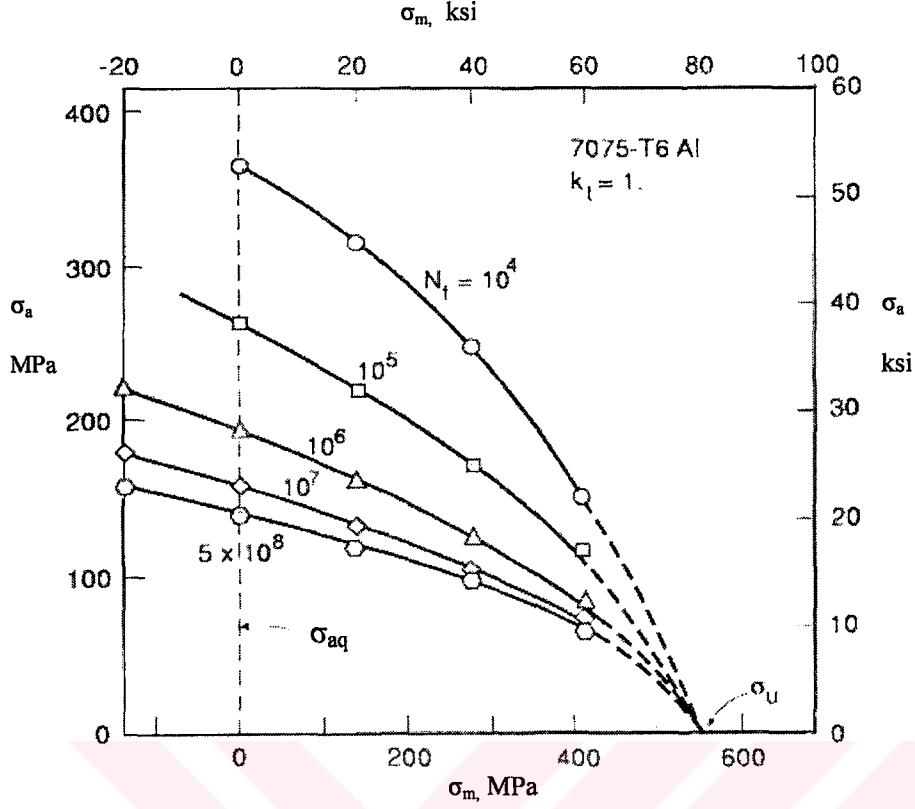


Şekil 1.7 Çentiksiz alüminyum alaşımı bir standart deney çubuğunda, ortalama gerilme değerlerinin yorulma dayanım sınırına olan etkisi (Dowling, 1993).



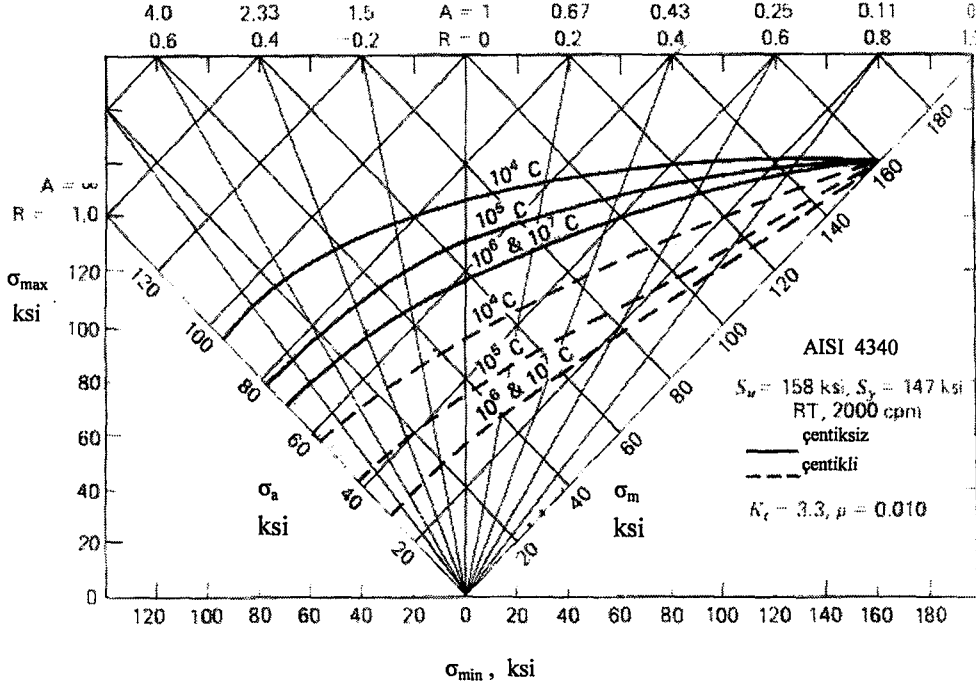
Şekil 1.8 Ortalama gerilmenin yorulma dayanımı sınırı üzerindeki etkisi (Collins, 1993).

Şekil 1.8 de 2014-T6 alüminyum alaşımı bir malzeme için ordinatı gerilme genliği, maksimum gerilme ve minimum gerilme esas alınarak muhtelif ortalama gerilme genlikleri için hazırlanan ömür diyagramları görülmektedir. Şekil 1.8 (b) de görüldüğü üzere aynı σ_{max} değeri için ortalama gerilme değeri arttıkça yorulma ömrü artmaktadır. Şekil 1.8 (c) de aynı σ_{min} değeri için basma gerilme değeri arttıkça yorulma ömrünün arttığı görülmektedir. Sabit bir σ_{max} değeri için ortalama gerilme değerinin artması σ_a gerilme genliğinin azalmasını gerektirir, ve böylece yorulma ömrü de artar (Collins, 1993).



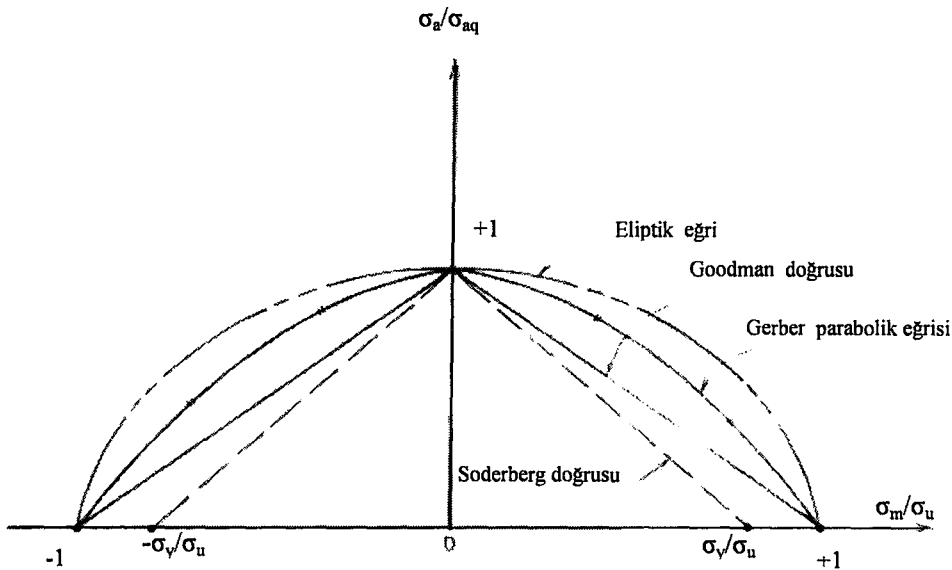
Şekil 1.9 7075-T6 Alüminyum malzemenin sabit ömür diyagramı (Dowling, 1993).

Şekil 1.7’de verilen diyagram şekil 1.9’da görüldüğü gibi sabit ömür diyagramı şekline dönüştürülebilir. Bu diyagramdan da açıkça görüleceği üzere aynı ömür değerleri için ortalama gerilme değerinin (σ_m) artması, gerilme genliğinin (σ_a) azalmasını gerektirir. Tasarımcı inceleyeceği malzemenin ortalama gerilme altında tespit edilen diyagramı bulabilirse mutlaka bunu kullanmalıdır. Master diyagram diye adlandırılan diyagramlardan bir örnek şekil 1.10’de gösterilmiştir.



Şekil 1.10 AISI 4340 alaşımlı çelik bir malzemenin master diyagramı (Collins, 1993).

Bu diyagramlarda malzemenin belli bir çentik faktörü ve çentiksiz durumlarına göre ve her ortalama gerilme değeri ve gerilme genliğindeki ömürleri diyagramdan rahatlıkla okunabilmektedir. Fakat önerilen malzeme için bu tip diyagramlar yok ise muhtelif bağıntılar kullanılarak ortalama gerilme değeri sıfır olmayan yüklemeler eşdeğer tam değişken gerilme genliklerine dönüştürülebilir. Bu bağıntılar, Goodman eşitliği, Gerber parabolik eşitliği, Soderberg eşitliği ve Eliptik eşitlik olup en çok kullanılanı Goodman eşitliğidir. Bu bağıntılar şekil 1.11 da grafik halde görülmektedir (Collins, 1993).



Şekil 1.11 Genel değişken gerilmelerin yorulmaya olan etkisini gösteren eğriler (Collins, 1993).

Goodman eşitliğinde;
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{aq}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u} := 1 \quad (1.6)$$

Gerber parabolik eşitliğinde;
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{aq}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right)^2 := 1 \quad (1.7)$$

Soderberg eşitliğinde;
$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{aq}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_y} := 1 \quad (1.8)$$

Eliptik eşitlikte;
$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{aq}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right)^2 := 1 \quad (1.9)$$

Şekil 1.9 dan görüleceği üzere aslında parabol olan ve Gerber adını taşıyan eğri yerine $\sigma_m=0$ ordinatı üzerindeki σ_{aq} noktalarını σ_u noktası ile birleştiren Goodman doğrusu kullanılır. Goodman doğrusu, özellikle ömür hesaplarında emniyetli bölgede kalınmasını sağladığından yüksek yük tekrarlı yorulma ömürlerinin tespitinde tavsiye edilmektedir.

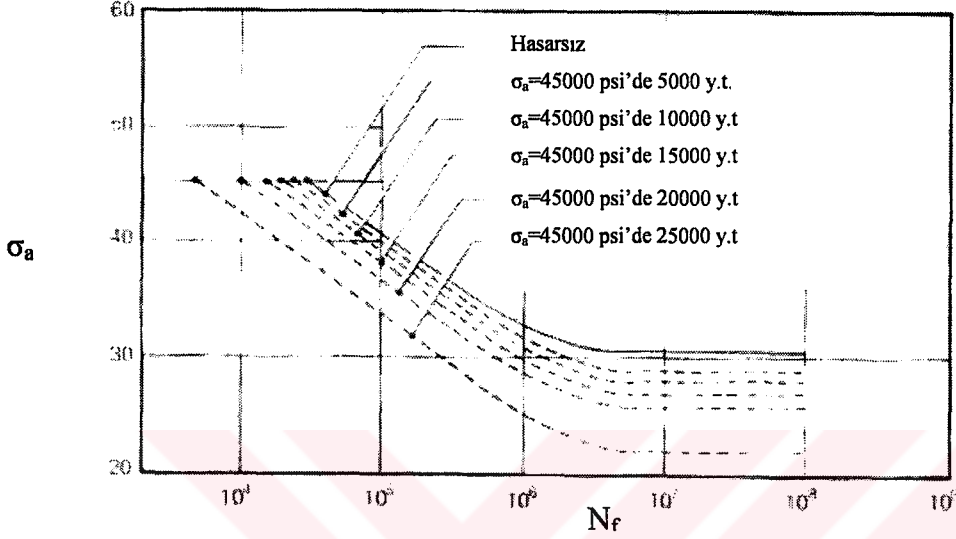
Goodman eşitliğinden yararlanılarak herhangi bir σ_m , σ_a kombinasyonuna ait yüklemenin tam değişken eşdeğer gerilme genliği aşağıdaki formülle bulunur (Dowling, 1993).

$$\sigma_{aq} := \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u}} \quad (1.10)$$

Böylece ortalama gerilmesi σ_m , gerilme genliği de σ_a olan bir yüklemenin ömrü; ortalama gerilme değeri sıfır ($\sigma_m=0$), gerilme genliği de σ_{aq} olan eşdeğer tam değişken gerilme ömrüne eşit olur.

13) Hasar birikimi:

Daha önce hiç çalışmamış makine parçasının yorulma dayanımı sınırı, çalışmış olan makine parçasının yorulma sınırından daha iyidir. Malzeme çalıştıkça yorulma dayanımı sınırı aşağıya düşer. Bu durum şekil 1.12’de görülmektedir (Collins, 1993).



Şekil 1.12 Birikimli yorulma hasarlarının karbon çeliği bir malzeme üzerindeki etkisi (Collins, 1993).

1.2 Yorulma Kırılmasının Ekonomik Açıdan Önemi.

Amerikan Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü'nün (National Institute of Standards and Technology), 1983 yılında tamamlanan bir çalışması sonucunda, metal kırılmalarının ekonomik etkilerini içeren raporda, yıllık toplam hasar maliyetinin 119 milyar dolar olduğu, bunun da toplam üretiminin %4'ü mertebesinde olduğu belirlenmiştir. Bu da boşa kullanılan insan gücü ve kaynaklar demektir. Bu çalışma, sadece kırılma problemlerini içermemekte bunun yanı sıra deformasyon ve buna bağlı problemleri de üzerinde barındırmakta, aşınma ve korozyonu kapsamaktadır. Çeşitli çalışmalar aşınma ve korozyonun maliyete olan etkisinin kabaca toplam ulusal üretimin % 10'u mertebesinde olduğunu göstermektedir (Dowling, 1993).

Bu kırılma çalışmasında maliyet olarak, metalin basit çekme dayanımı şartının yanında yapının, aracın veya makine dizaynının maliyeti de dikkate alınmıştır. Çok pahalı proseslerin, pahalı metallerin veya hammaddelerin kullanılması kırılmaya karşı ekstra direnç sağlar. Ayrıca analiz ve test dizayn prosesinde gereklidir. Diğer aktivitelerin ve metallerin ekstra

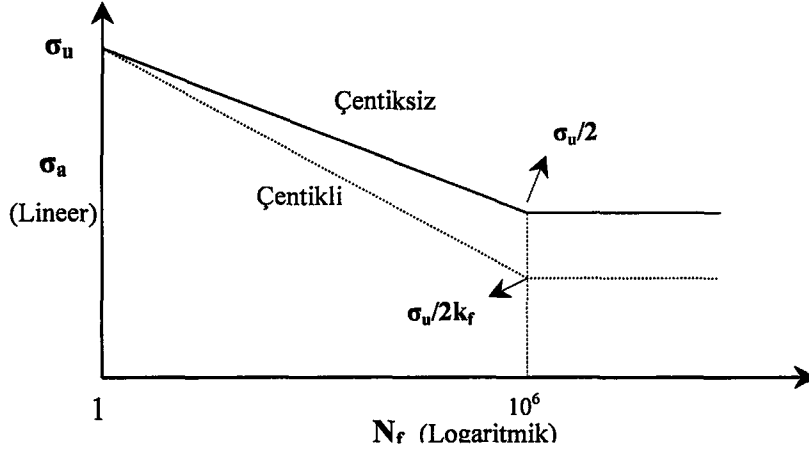
kullanımları, ekstra insan gücü ve maliyet demektir. Kırılma sonucu tamir bakım ve parça değişimi ayrıca bir maliyettir. Yeni üretilen parçaların hatasının incelenmesi, parçaların servisteki çatlak gelişimlerinin incelenmesi ayrıca bir başka maliyeti de beraberinde getirmektedir. Bunun yanında sigorta, hatalı üretim sonucu parçaları geri çağırma v.b. (diğer bir adla ürün sorumluluk maliyeti) toplam maliyete eklenmektedir.

Araştırmalar son teknolojilerin en iyi şekilde kullanılmasıyla 119 milyar dolar olan yıllık maliyetin üçte bir oranında düşürülebileceğini göstermiştir. Diğer üçte birlik oran kadar azalma ise uzun zaman içerisinde araştırma ve geliştirme çalışmalarının sonucu elde edilen bilgilerin mevcut sistemlere adapte edilmesiyle elimine edilebileceği ihtimali mümkündür. Geriye kalan kabaca üçte birlik kısmının elimine edilmesi ise çok uzun vadeli ve geniş kapsamlı çalışmaların yapılmasıyla mümkün olabilir.

Böylece buna göre bu maliyetin üçte ikisi son gelişmiş teknolojilerin kullanımı veya makul sürede geliştirilecek olan teknoloji ile elimine edilebilir. Bu bilgilerle mühendisler bu dalda şirketlerin yapısal hatalara bağlı maliyetten kaçınmaları için yardımcı olmaktadır. Ayrıca mühendisler bu tip problemlere önceden müdahale ederek, proses dizaynlarının verimli, daha ekonomik ve hızlı olmasını sağlamaktadırlar. Sonuçta elde edilen kar, müşteriler için düşük maliyet ve geliştirilmiş güvenlidir (Dowling, 1993).

1.3 Makine Elemanlarının Ömür Diyagramlarının (Wöhler Diyagramları) Çıkartılması

Ömür eğrilerinin çıkartılması için yaygın bir şekilde kullanılan üç metot vardır. Bunlar; Collins (1981), Juvinall ve Marshek (1991) ve Shigley ve Mischke (1989) tarafından önerilen metotlar olarak sıralanabilir. Bu üç metoda da yorulma dayanımı sınırı tanımlanır ve süreli mukavemet bölgesinde bir yada iki nokta tanımlanır. “log-lineer” yada “log-log” koordinatlar kullanılarak süreli mukavemet bölgesinde ömür değerinin doğrusal değişimi gösterilir. Bu durum şekil 1.13 ve şekil 1.14’de gösterilmiştir (Dowling, 1993).



Şekil 1.13 Collins metoduna göre “log-linear” ömür eğrisi (Dowling, 1993).

Collins metodunda “log-linear” koordinatlar kullanılır. Süreli mukavemet bölgesinde 1 yük tekrarına karşılık gelen gerilme genliği, σ_u kopma mukavemeti olarak ve 10^6 yük tekrarına karşılık gelen gerilme genliği olarak $\sigma_u/2$ gerilme genliği tanımlanıp doğrusal ömür eğrisi çizilir. Çentik ihtiva eden malzemeler için yorulma sınırı 10^6 yük tekrarı için $\sigma_u/2k_f$ alınır. Buna göre genel imalat çelikleri için çıkartılan ömür diyagramı şekil 1.13’de gösterilmiştir. Süreli mukavemet bölgesinde ömür değerinin analitik genel formülü aşağıdaki gibidir;

$$\sigma_a := C + D \cdot \log N_f \quad (1.11)$$

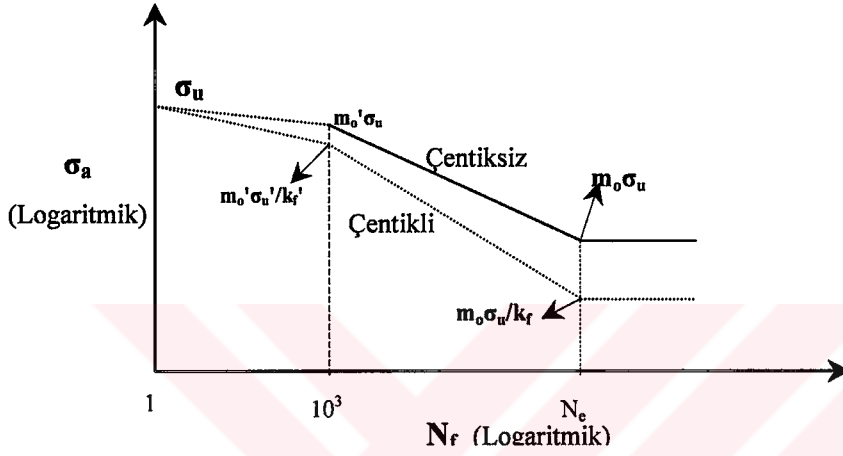
Süreli mukavemet bölgesinde, doğru üzerindeki iki noktanın koordinatları, genel denklemde yerlerine konularak C ve D sabitleri belirlenir. Böylece süreli mukavemet bölgesindeki ömür değerinin analitik formülü aşağıdaki gibi tespit edilir;

$$\sigma_a := \sigma_u \cdot \left[1 - \frac{(2k_f - 1) \cdot \log N_f}{12k_f} \right] \quad N_f \leq 10^6 \quad (1.12)$$

Sürekli mukavemet bölgesinde;

$$\sigma_e := \frac{\sigma_u}{2k_f} \quad N_f \geq 10^6 \quad (1.13)$$

Juinall veya Shigley metodu şekil 1.14'de gösterilmiştir. Temelde Collins metodu ile benzerlikler olan bu yöntemde eksenlerin her ikisi de “log-log” tur. Yorulma sınırına denk gelen “ N_e ” değeri malzemeye bağlı olup, Shigley metodunda 10^6 olarak alınır. 10^3 yük tekrarına karşılık gelen noktada değişik yüklemeler için gerilme genliği $0.75\sigma_u$ yada $0.9\sigma_u$ alınır. Yorulma dayanımı sınırını önemli oranda etkileyen boyut, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler 10^3 yük tekrarına karşılık gelen noktadaki etkisi azdır veya hiç yoktur.



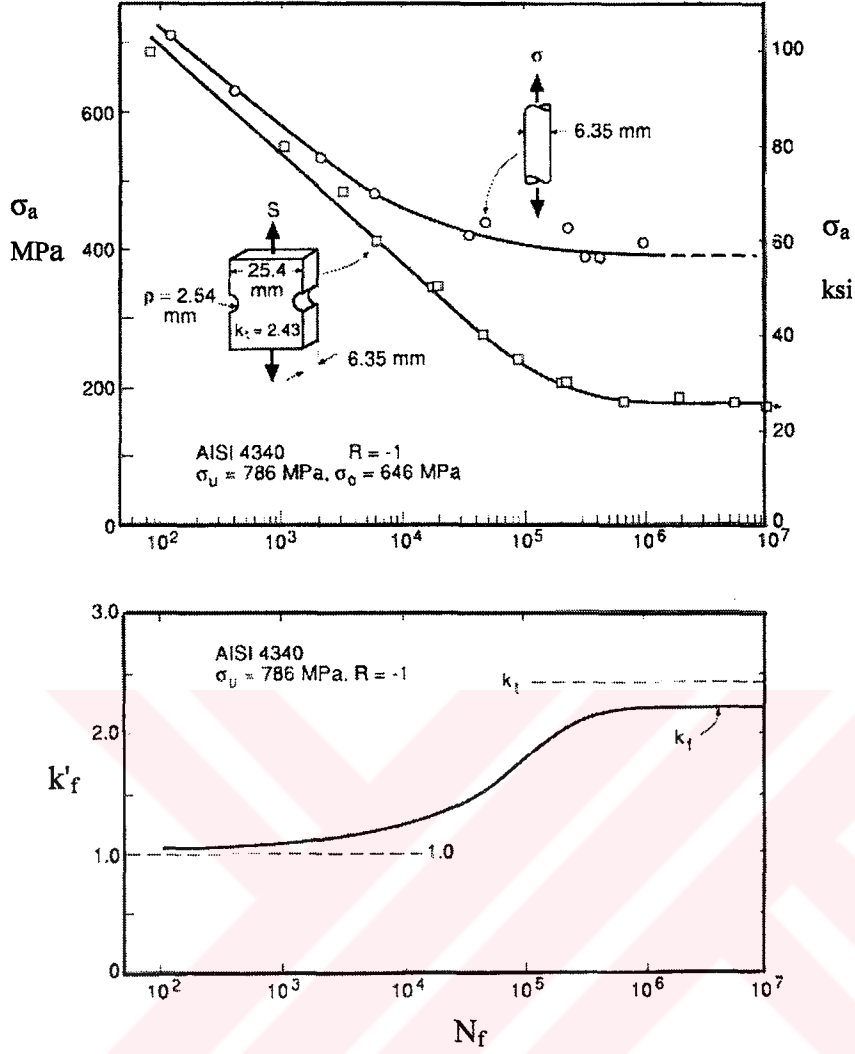
Şekil 1.14 Juvinall veya Shigley metoduna göre “log-log” ömür eğrisi (Dowling, 1993).

$$m_0' := 0.75 - 0.9$$

Çentikli malzemeler için gerilme genliği;

$$\sigma_a' := \frac{m_0' \cdot \sigma_u'}{k_f'} \quad N_f := 10^3 \quad \text{için} \quad (1.14)$$

Çekme ve eğilme gerilmelerinde σ_u' için, kopma mukavemet değeri σ_u alınır. Burulmada ise σ_u' için τ_u değeri alınır. Juvinall, çelikler için $\tau_u=0.8\sigma_u$ ve diğer sünek malzemeler için de $\tau_u=0.7\sigma_u$ olarak alır.



Şekil 1.15 Çentik faktörünün yük tekrarı ile olan değişimini gösteren grafik (Dowling, 1993).

Çentik ihtiva eden malzemelerde 10^3 yük tekrarına karşılık gelen noktadaki çentik faktörü için Juvinall $k'_f = k_f$ alır. Bu çok emniyetli bir durum ortaya koyar. Shigley ise $k'_f = 1$ alır. Bu durum gerçeğe daha yakın olup bizim hesaplarımızda da $k'_f = 1$ alınmıştır. Şekil 1.15'de de görüldüğü gibi 10^3 yük tekrarında $k'_f \approx 1$ 'e yaklaşmaktadır. İki yazar tarafından Ömür diyagramlarının çıkarılmasında kullanılan parametreler çizelge 1.1'de verilmiştir.

Sürekli mukavemet bölgesinde;

$$\left(\frac{m' \cdot \sigma_u'}{k_f'} \cdot 10^3 \right) \quad \text{ve} \quad \left(\frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} \cdot N_e \right) \quad \text{noktalarından geçen} \quad (1.15)$$

$$\sigma_a := A \cdot N_f^B \quad \text{genel formülüne göre,} \quad (1.16)$$

$$B := \left(\frac{-\log \left(\frac{m_o' \cdot \sigma_u' \cdot k_f'}{m_o \cdot \sigma_u \cdot k_f'} \right)}{\log N_e - 3} \right) \quad A := \left[\frac{\left(\frac{m_o' \cdot \sigma_u'}{k_f'} \right)^{\frac{\log N_e}{3}}}{\left(\frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} \right)} \right]^{\frac{3}{\log N_e - 3}}$$

$$\sigma_a := \left[\frac{\left(\frac{m_o' \cdot \sigma_u'}{k_f'} \right)^{\frac{\log N_e}{3}}}{\left(\frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} \right)} \right] \cdot N_f^B \quad N_f \leq N_e \quad (1.17)$$

genel denklemi bulunur.

Sürekli mukavemet bölgesinde ;

$$\sigma_e := \frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} \quad N_f \geq N_e \quad (1.18)$$

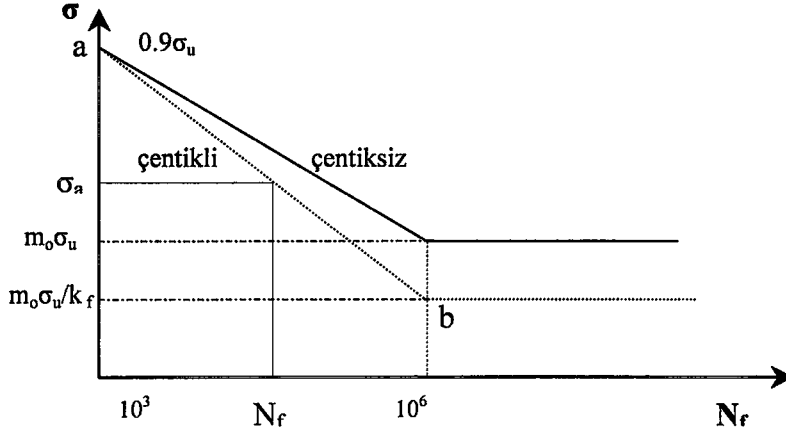
Bu metotların içinde en iyisi Juvinall metodudur. Eğer bir seçim yapılacaksa bu üç metotdan Juvinall metodu en memnuniyet verici olanıdır. Bu çalışmada da Juvinall metodu uygulanarak Wöhler diyagramları oluşturulmuştur (Dowling, 1993).

Çizelge 1.1 Ömür diyagramlarının çıkartılmasında kullanılan parametreler (Dowling, 1993).

Parametre	Uygulama Alanı	Juvinall (1991)	Shigley (1989)
Eğilme yorulma dayanım sınır faktörü m_e	Çeliklerde, $\sigma_u \leq 1400$ MPa Çeliklerde $\sigma_u > 1400$ MPa Dökme demirlerde, Al alaşımlarında eğer $\sigma_u \leq 325$ MPa Al alaşımları, $\sigma_u > 325$ MPa Mg alaşımları	0.5 ≤ 0.5 0.4 $\sigma_{erb}=130$ MPa 0.35	0.5 $\sigma_{erb}=700$ MPa — — —
Yük faktörü m_t	Eğilme Çekme Burulma	1.0 1.0 0.58	1.0 0.92 0.58
Boyut faktörü m_d	Eğilme veya Burulma $d < 10$ mm $d = 10-50$ mm $d = 50-100$ mm $d = 100-150$ mm Çekme	1.0 0.9 0.8 0.7 0.7-0.9	$(d/7.62\text{mm})^{-0.1133}$ $(d/7.62\text{mm})^{-0.1133}$ 0.6-0.75 0.6-0.75 1.0
Yüzey düzgünlük faktörü, m_s	Parlatılmış Taşlanmış Tornalanmış	1.0 Şekil Ek 2.2 Şekil Ek 2.2	1.0 $1.58 \sigma_u^{-0.085}$ * $4.51 \sigma_u^{-0.265}$ *
Sürekli ömür sınırı N_e , çevrim	Çelikler, dökme demir Alüminyum alaşımları Magnezyum alaşımları	10^6 5×10^8 10^8	10^6 — —
$N_f=10^3$ noktası İçin sabitler m_o' , k_f'	Eğilme-Burulma Çekme	$m_o'=0.9$ $k_f'=k_f$ $m_o'=0.75$ $k_f'=k_f$	$m_o'=0.9$ $k_f'=1$ $m_o'=0.9$ $k_f'=1$

* σ_u 'nun birimi MPa olarak alınır.

1.3.1.1 Genel İmalat Çeliklerinin Eğilme Hali için Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı



Şekil 1.16 Genel imalat çeliklerinin eğilme hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log)

Genel imalat çelikleri için tam değişken eğilme haline ait Wöhler diyagramı şekil 1.16'da verilmiştir. Genel imalat çeliklerinde sürekli ömür sınırı olarak 10^6 yük tekrarı alınır. Diyagramda iki eğri mevcuttur. Çentiksiz eğri, standart deney çubuğunun yorulma dayanımı sınırına göre, çentikli eğri ise, standart deney çubuğunun boyut, yüzey, çentik ve yük faktörüne göre düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırına göre çizilmiştir.

$$m_0 = m_e \cdot m_s \cdot m_d \cdot m_t$$

m_0 : Toplam düzeltme faktörü

m_e : Eğilmede yorulma dayanımı sınırı faktörü

m_s : Yüzey düzgünlük faktörü

m_d : Boyut faktörü

m_t : Yük faktörü

olmak üzere bu faktörlere ait değerler çizelge 1.1'den alınır. Diyagramda eksenlerin her ikisi de logaritmiktir. Süreli mukavemet bölgesinde a-b doğrusunun genel denklemi:

$$\sigma_a := A \cdot N_f^B$$

a-b doğrusunun "a" noktasında;

$$N_f := 10^3 \quad \text{için} \quad \sigma_a := 0.9 \cdot \sigma_u \quad 0.9\sigma_u := A \cdot (10^3)^B$$

a-b doğrusunun "b" noktasında;

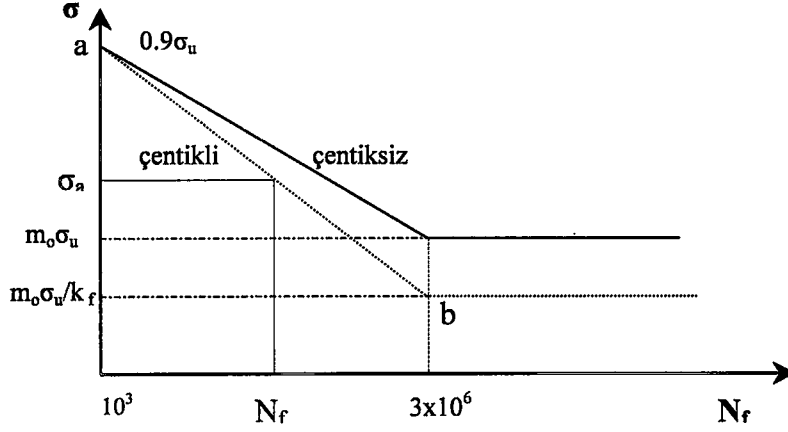
$$N_f := 10^6 \quad \text{için} \quad \sigma_a := m_o \cdot \frac{\sigma_u}{k_f} \quad m_o \cdot \frac{\sigma_u}{k_f} := A \cdot (10^6)^B$$

$$B := \frac{-1}{3} \cdot \log \left(0.9 \cdot \frac{k_f}{m_o} \right) \quad A := \frac{0.81 \cdot k_f \cdot \sigma_u}{m_o}$$

$$\sigma_a := \frac{0.81 \cdot k_f \cdot \sigma_u}{m_o} \cdot N_f^{\left(\frac{-1}{3} \log \left(0.9 \cdot \frac{k_f}{m_o} \right) \right)} \quad (1.19)$$

$$N_f := \left(\frac{m_o \cdot \sigma_a}{0.81 \cdot k_f \cdot \sigma_u} \right)^{\frac{-3}{\log \left(\frac{0.9 k_f}{m_o} \right)}} \quad (1.20)$$

1.3.2 Dişliler, Transfer Milleri, Mahruti Dişli Millerinin Eğilme Hali İçin Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı



Şekil 1.17 Dişliler, transfer milleri ve mahruti dişli millerinin eğilme hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log)

Dişliler, transfer milleri ve mahruti dişli milleri için tam değişken eğilme haline ait Wöhler diyagramı şekil 1.17'de verilmiştir. Sürekli ömür sınırı olarak 3×10^6 yük tekrarı alınmıştır. Diyagramda iki eğri mevcuttur. Çentiksiz eğri, standart deney çubuğunun yorulma dayanımı sınırına göre, çentikli eğri ise, standart deney çubuğunun boyut, yüzey, çentik ve yük faktörüne göre düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırına göre çizilmiştir.

$$m_0 = m_e \cdot m_s \cdot m_d \cdot m_t$$

- m_0 : Toplam düzeltme faktörü
- m_e : Eğilmeye yorulma dayanımı sınırı faktörü
- m_s : Yüzey düzgünlük faktörü
- m_d : Boyut faktörü
- m_t : Yük faktörü

olmak üzere bu faktörlere ait değerler çizelge 1.1'den alınır. Diyagramda eksenlerin her ikisi de logaritmiktir. Süreli mukavemet bölgesinde a-b doğrusunun genel denklemi:

$$\sigma_a := A \cdot N_f^B$$

a-b doğrusunun "a" noktasında;

$$N_f := 10^3 \quad \text{için} \quad \sigma_a := 0.9 \cdot \sigma_u \quad 0.9\sigma_u := A \cdot (10^3)^B$$

a-b doğrusunun "b" noktasında;

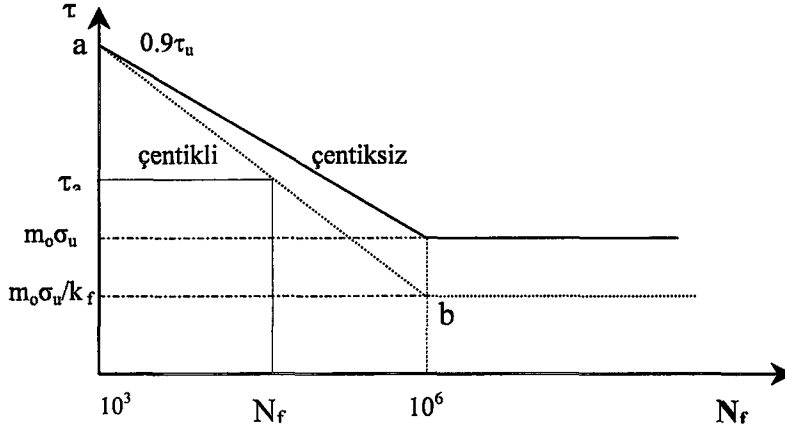
$$N_f := 3 \cdot 10^6 \quad \text{için} \quad \sigma_a := m_o \cdot \frac{\sigma_u}{k_f} \quad m_o \cdot \frac{\sigma_u}{k_f} := A \cdot (3 \cdot 10^6)^B$$

$$A := 0.822 \cdot \left(\frac{k_f}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u \quad B := \frac{-\log \left(0.9 \cdot \frac{k_f}{m_o} \right)}{3.477}$$

$$\sigma_a := \left[0.822 \left(\frac{k_f}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u \right] \cdot N_f^{\frac{-\log \left(0.9 \cdot \frac{k_f}{m_o} \right)}{3.477}} \quad (1.21)$$

$$N_f := \left[\frac{\sigma_a}{0.822 \left(\frac{k_f}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.477}{\log \left(0.9 \cdot \frac{k_f}{m_o} \right)}} \quad (1.22)$$

1.3.3 Aks Millerinin ve Kardan Millerinin Burulma Hali İçin Süreli Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı



Şekil 1.18 Aks mili ve kardan milinin burulma hali için Wöhler (Yorulma) diyagramı (log-log)

Aks mili ve kardan milinin tam değişken burulma haline ait Wöhler diyagramı şekil 1.18'de verilmiştir. Sürekli ömür sınırı olarak 10^6 yük tekrarı alınmıştır. Diyagramda iki eğri mevcuttur. Çentiksiz eğri, standart deney çubuğunun yorulma dayanımı sınırına göre, çentikli eğri ise, standart deney çubuğunun boyut, yüzey, çentik ve yük faktörüne göre düzeltilmiş yorulma dayanımı sınırına göre çizilmiştir.

$$m_o = m_e \cdot m_s \cdot m_d \cdot m_t$$

m_o : Toplam düzeltme faktörü

m_e : Eğilmede yorulma dayanımı sınırı faktörü

m_s : Yüzey düzgünlük faktörü

m_d : Boyut faktörü

m_t : Yük faktörü

olmak üzere bu faktörlere ait değerler çizelge 1.1'den alınır. Diyagramda eksenlerin her ikisi de logaritmiktir. Süreli mukavemet bölgesinde a-b doğrusunun genel denklemi:

$$\tau_a := A \cdot N_f^B$$

a-b doğrusunun "a" noktasında;

$$N_f := 10^3 \quad \text{için} \quad \tau_a := 0.9 \cdot \tau_u \quad 0.9 \cdot \tau_u := A \cdot (10^3)^B$$

a-b doğrusunun "b" noktasında;

$$N_f := 10^6 \quad \text{için} \quad \tau_a := \frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} \quad \frac{m_o \cdot \sigma_u}{k_f} := A \cdot (10^6)^B$$

$$A := \frac{0.5184 \cdot k_f \cdot \sigma_u}{m_o} \quad B := \frac{-\log\left(\frac{0.72 \cdot k_f}{m_o}\right)}{3}$$

$$\tau_u := 0.8 \cdot \sigma_u \quad \text{için} \quad A := \frac{0.648 \cdot k_f \cdot \tau_u}{m_o}$$

$$\tau_a := \left(\frac{0.648 \cdot k_f \cdot \tau_u}{m_o} \right) \cdot N_f^{\frac{-\log\left(\frac{0.72 \cdot k_f}{m_o}\right)}{3}} \quad (1.23)$$

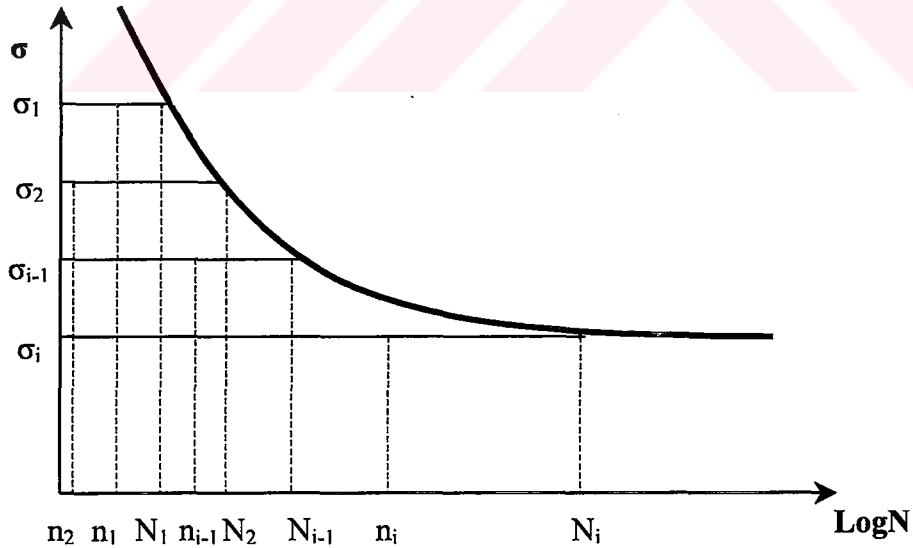
$$N_f := \left(\frac{m_o \cdot \tau_a}{0.648 \cdot k_f \cdot \tau_u} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 \cdot k_f}{m_o}\right)}} \quad (1.24)$$

1.4 Ömür Hesaplarında Birikimli Hasar Durumlarının İncelenmesi (Palmgren-Miner Metodu)

Makine elemanları gerçekte tek bir gerilme genliği altında değil; bu tez çalışmasında açıklandığı gibi muhtelif gerilme genliklerine maruz kalarak çalışırlar. Standart deney çubuklarının yorulma deneyleri sonucunda elde edilen Wöhler (S-N) diyagramları sabit bir gerilme genliğinde çalışma sonucunda elde edilen eğrilerdir. Dolayısıyla Wöhler diyagramlarının değişik yüklemeler altında çalışan makine elemanları için uygulanması mümkün değildir. Muhtelif gerilme genliklerinde çalışan makine elemanlarının ömürlerinin tespit edilebilmesi için birçok teori geliştirilmiştir (Marco-Starkey, Henry, Gatts, Corten-Dolan, Marin, Manson v.b.). Bunların içerisinde Palmgren-Miner metodu basitliği ve çok iyi bir hasar tahmin güvenilirliği nedeni ile en çok kullanılan metottur (Collins, 1993).

Birikimli hasar teorisi ile ilgili ilk hipotez 1924 yılında Palmgren tarafından önerilmiş ve bilyalı yatakların ömürlerinin tayininde kullanılmıştır. Daha sonra 1945 yılında M.A. Miner tarafından geliştirilmiştir.

Lineer hasar kaidesi diye de adlandırılan Palmgren-Miner hipotezi halen basitliğinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 1.19 Wöhler diyagramı.

Palmgren-Miner teorisi şekil 1.19’de gösterilen Wöhler diyagramı kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır. Eğer makina parçası σ_1 gerilme genliğinde çalışırsa ömrü N_1 olacaktı. σ_1 gerilme genliğinde N_1 ’den daha küçük olan “ n_1 ” defa çalışsa idi oluşan hasar;

$$D_1 := \frac{n_1}{N_1} \quad \text{olur.} \quad (1.25)$$

Değişik gerilme genliklerinde makine parçasında oluşan hasar oranları ise;

$$D_i := \frac{n_i}{N_i} \quad \text{olarak tanımlanır.} \quad (1.26)$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \geq 1 \quad \text{olduğu durumda Palmgren-Miner metoduna göre hasar oluşur.}$$

Muhtelif gerilme genliklerinin birbiri ardına uygulanış sırasının önemli olduğu tecrübelerle anlaşılmıştır. Örnek bir çalışma olarak iki grup standart deney çubuğuna ömür testi yapılsa ve iki tip gerilme uygulansa ve $\sigma_1 > \sigma_2$ olsun. Birinci gruba önce σ_1 'in daha sonrada σ_2 'nin uygulandığını düşünelim. Diğer gruba ise önce σ_2 'nin daha sonrada σ_1 'in uygulandığını düşünelim. Her iki grupta da eşitliğin toplamının farklı olacağını tecrübeler göstermiştir. Birinci durumda eşitliğin toplamı birden küçüktür. İkinci durumda ise eşitliğin toplamı birden büyüktür. Dolayısıyla eşitliğin değeri olan "1", uygulanan gerilme genliklerinin artan veya azalan gerilmeler durumuna bağlı olduğu ve bununda $\frac{1}{4}$ ile 4 arasında değiştiği görülmüştür. Gerilme genliklerinin yukarıdaki örneklerdeki gibi artan veya azalan şekilde değil de rasgele yaşandığı durumlarda oranın 0.6 ile 1.6 arasında olduğu ve bu durumda eşitliğin 1 olduğunu tecrübeler göstermiştir. Bu çalışmada da gerilme genlikleri dağılımının rasgele olduğu göz önüne alınırsa tüm hesaplamalarda eşitliğin sağ tarafı 1 olarak alınmıştır. (Collins, 1993).

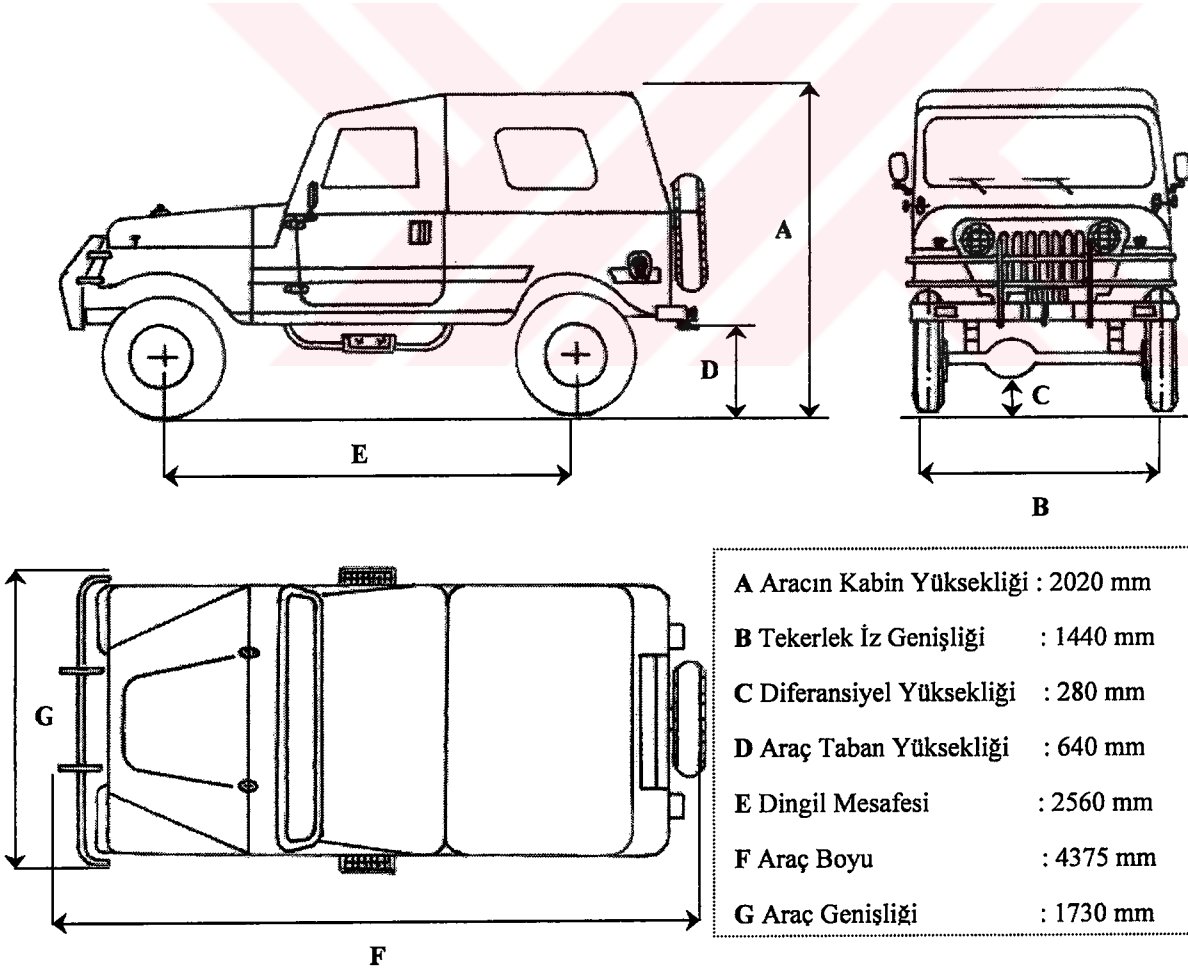
2. GTD MODEL ARACIN ÖZELLİKLERİ, ARAZİ VE ŞEHİR İÇİNDE TESTİ VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Aracın Teknik Özellikleri

Tasarımı ve imalatı 1013'ncü Ord. Ana. Tam. Fb. Müdürlüğü tarafından yapılan GTD model 4x4 ve 4x2 araçlar Türk Silahlı Kuvvetlerinin hizmetine sunulmaktadır.

GTD serisi araçlarda dizel motor (100 PS DIN), 5 ileri vitesli şanzıman, ön tekerleklerde hava soğutmalı disk fren, fabrika imalatı olan iki hızlı transfer, hidrolik direksiyon, 7.50x16 geniş tabanlı lastikler ve 24 volt elektrik tesisatı ile teçhiz edilmiştir. GTD model genel maksat araçları 4x4 hareket kabiliyetinde her türlü arazi koşullarına uyum sağlayabilecek kabiliyettedir. GTD model araçların, Genel Maksat Aracı, İdari Hizmet Aracı, Tören Aracı ve Cenaze Aracı olmak üzere 4 modeli vardır.

Aracın boyutları ve genel görünüşü şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 GTD model genel maksat aracının boyutları.

Aracın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Motor

Dizel Ford Motor (FSD-425T)	:	2500 cc Turbo Dizel
Silindir Sayısı	:	4
Silindir Çapı	:	93.67 mm
Piston Kursu	:	90.54 mm
Motor Hacmi	:	2496 cc
Sıkıştırma Oranı	:	18.3:1
Max. Güç (DIN)	:	100 PS (DIN) 4000 D/Dak
Max. Tork (DIN)	:	226 Nm 2100 D/Dak
Rölanti Devri	:	850 \pm 50 d/dak
Max. Sürekli Devir	:	4000 d/dak
Püskürtme Sırası	:	1, 2, 4, 3 (Silindirler önden arkaya sıralıdır.)
Subap Ayarları (Soğuk)	:	Emme: 0,20 Egzoz: 0,38

Aktarma Organları

Şanzıman	:	MT-75, 5 İleri, 1 Geri
1 nci Vites Oranı	:	4.17:1
2 nci Vites Oranı	:	2.24:1
3 nci Vites Oranı	:	1.47:1
4 nci Vites Oranı	:	1.00:1
5 nci Vites Oranı	:	0.82:1
Geri Vites Oranı	:	3.76:1
Transfer (2 Hızlı)	:	GTD-T1
Düşük hız 4L	:	2.01:1
Yüksek hız 2H	:	1.00:1
Yüksek hız 4H	:	1.00:1
Debriyaj	:	Tek kuru levhalı, diyafram yaylı
Diferansiyel	:	GT-D
Diferansiyel Oranı (ön-arka)	:	5.375:1 (43/8)
Toplam Redüksiyon Oranı	:	45 Kat
Jant	:	5.5x16
Lastik	:	7.50x16

Fren Sistemi

Ön	: Servo takviyeli disk fren
Arka	: Servo takviyeli kampana fren
Direksiyon Sistemi	: Hidrolik Direksiyon
Suspansiyon (Ön ve arka)	: Yaprak yaylı, helezon yaylı, hidrolik amortisörlü
Elektrik Sistemi	: 24 Volt 60 Ah
Performans	: (GTD Genel Maksat Aracı İçin)
Personel Kapasitesi	: 8
Max. Yük Taşıma Kapasitesi	: 1000 kg
Boş Ağırlık	: 2020 kg
Max. Hız	: 130 km/h
Yakıt Tüketimi	: 12,14 lt / 100 km (90 km/h sabit hızda)
Yakıt Tankı / Menzili	: 82 lt / 650 km
Tırmanma Kabiliyeti	: % 70
Yana Eğim	: % 40
Dönme Yarıçapı	: 5800 mm
Yaklaşma Açısı	: 62 derece
Uzaklaşma Açısı	: 43 derece
Karın Açısı	: 154 derece
Sudan Geçme Yüksekliği	: 600 mm

2.2 Aracın Her Bir Vitesteki Çalışma Sürelerinin ve Oranlarının Tespiti İçin Yapılan Test ve Sonuçların Değerlendirilmesi.

2.2.1 Aracın Her Bir Vitesteki Çalışma Oranlarının Belirlenmesi

GTD model aracın arazi testi, 03.07.2001 tarihinde 14:20 ile 15:30 saatleri arasında kapalı ve yağışlı bir havada, aracın gerçekte yaşayacağı yol koşullarını simule eden Tavşan Tepe'deki doğal parkurda iki defa, şehir içi testi ise Tuzla'da yapılmıştır.

Test sırasında aracın hangi viteste ne kadar süre ile kullanıldığı saptanmaya çalışılmış ve her vitesteki minimum ve maksimum motor devirleri belirlenmiştir. 1., 2., 3. ve 4. viteslerdeki minimum ve maksimum motor devirleri arazi şartlarında, 5. vitesteki motor devri ise şehir içi parkurunda tespit edilmiş ve çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

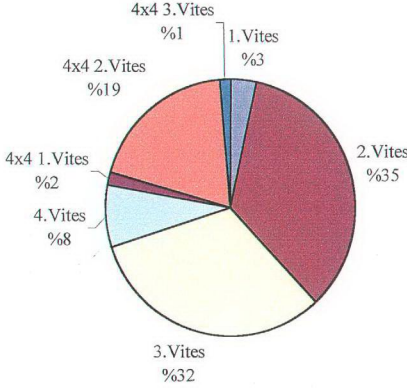
Çizelge 2.1 Aracın motor devirleri.

Vites	Motor Devri (d/d)	
	Min.	Max.
1	1200	3000
2	1500	3500
3	1800	3500
4	2000	3200
5	2500	3600

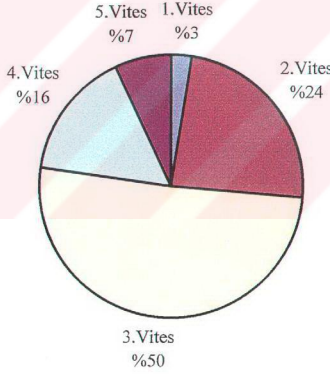
Aracın arazi ve şehir içinde vites kullanım süreleri tespit edilmiş ve arazi için yapılan iki testin değerlerin ortalaması alınmıştır. Her bir vites için tespit edilen sürelerin oranlanması yapılarak aşağıdaki çizelge 2.2 oluşturulmuştur. Test sonucu elde edilen kullanım oranları şekil 2.2 ve şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Aracın arazi ve şehir içinde kullanım süreleri ve oranları

	Vites	Viteste	Vites Sürüm
		Kalınan Süre (sn)	Oranı (%)
Arazi Testi	1. Vites	76	3,43
	2. Vites	766	34,57
	3. Vites	707	31,90
	4. Vites	175	7,90
	1. Vites 4x4	34	1,53
	2. Vites 4x4	426	19,22
	3. Vites 4x4	32	1,44
Şehir İçi Testi	1. Vites	38	2,55
	2. Vites	354	23,76
	3. Vites	758	50,87
	4. Vites	238	15,97
	5. Vites	102	6,85



Şekil 2.2 Aracın arazide her bir viteste çalışma sürelerinin oranları grafiği.



Şekil 2.3 Aracın şehir içinde her bir viteste çalışma sürelerinin oranları grafiği

GTD model aracın toplam ömrünün %35'ni arazide, %65'nide şehir içinde geçireceği kabul edilerek, arazide tespit edilen her vitesteki kullanım sürelerinin %35'leri ile, şehir içinde tespit edilen her vitesteki kullanım sürelerinin %65'leri toplanarak, her vites konumundaki kullanım süreleri tespit edilmiştir. Elde edilen kullanım oranları çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Aracın arazide (%35), şehir içinde (%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 Vitese Kendi İçinde Çalışma %'si
1. Vites 4x2	3,43	1,20	2,55	1,66	3	$C_1=0.03$	---
1. Vites 4x4	1,53	0,54			0,5	$C_6=0.005$	$C'_6=0.07$
2. Vites 4x2	34,57	12,10	23,76	15,44	28	$C_2=0.28$	---
2. Vites 4x4	19,22	6,73			7	$C_7=0.07$	$C'_7=0.87$
3. Vites 4x2	31,91	11,17	50,87	33,07	44	$C_3=0.43$	---
3. Vites 4x4	1,44	0,50			0,5	$C_8=0.005$	$C'_8=0.06$
4. Vites 4x2	7,90	2,77	15,97	10,38	13	$C_4=0.13$	
4. Vites 4x4					0	---	---
5. Vites 4x2			6,85	4,45	4	$C_5=0.04$	---
5. Vites 4x4					0	---	---
Toplam	100,00	35,00	100,00	65,00	100	1,0	1,0

Aracın 4x4 1. vites konumunda %1.53, 4x4 2. vites konumunda %19.22 ve 4x4 3. vites konumunda %1.44 çalışma oranları tespit edilmiş olup, 4x4 konumlarının kendi içinde çalışma oranları şöyledir; 1. vites için $C'_6=0.07$, 2. vites için $C'_7=0.87$, 3. vites için $C'_8=0.06$ dir. Araç toplam ömrünün %8'ini ($C_6+C_7+C_8=0.08$) 4x4 konumunda geçirmektedir.

2.2.2 Aracın Ortalama Tork ve Transfer Giriş Momentlerinin Belirlenmesi

Aracın ömür hesaplarında mümkün mertebe gerçek değerlere yaklaşabilmek için, motorun her vitesteki ortalama tork değerlerini bulmak için testte tespit edilen ve çizelge 2.1'de verilen motor devirlerinden yararlanılmıştır. Her bir vites için maksimum ve minimum devirler arasında 250 d/dak aralıklarla devirlere karşılık gelen motor torkları şekil ek 2.1'de verilen güç-tork diyagramından alınarak aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Bu durum çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Motor ortalama tork değerleri (N.m).

		ÖLÇÜMLER									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Ort. Tork
1. Vites	Devir	1.200	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500	2.750	3.000		
	Tork	156	184	208	224	224	220	214	208		205
2. Vites	Devir	1.500	1.750	2.000	2.250	2.500	2.750	3.000	3.250	3.500	
	Tork	184	208	224	224	220	214	208	200	192	208
3. Vites	Devir	1.750	2.000	2.250	2.500	2.750	3.000	3.250	3.500		
	Tork	208	224	224	220	214	208	200	192		211
4. Vites	Devir	2.000	2.250	2.500	2.750	3.000	3.200				
	Tork	224	224	220	214	208	202				215
5. Vites	Devir	2.500	2.750	3.000	3.250	3.500	3.600				
	Tork	220	214	208	200	194	192				205

Ömür hesaplamaları yapılırken kullanılan, GTD model 4x4 araçların 5 ileri MT-75 şanzımanının her vites için çevrim oranları ve transfer giriş momentleri çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 MT-75 şanzıman çevrim oranları ve transfer giriş momentleri

	Şanzıman çevrim oranı (i)	Ortalama Tork (N.mm)	Transfer Giriş Momentleri (ortalama tork x çevrim oranı) N.mm
I. Vites	4.17	205000	854850
II. Vites	2.24	208000	465920
III. Vites	1.47	211000	310170
IV. Vites	1	215000	215000
V. Vites	0.82	205000	168100
Geri Vites	3.76	226000	849760
Transfer	2.01		

3. TRANSFER DİŞLİLERİ VE MİLLERİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI

3.1 Daimi İştirak Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları

3.1.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b11} := M_1 \quad M_{b11} = 854850 \quad \text{N.mm}$$

$$b_1 := 20.8 \quad \text{mm} \quad \text{diş genişliği,}$$

$$d_0 := 94.34 \quad \text{mm} \quad \text{bölüm dairesi çapı,}$$

$$Z_1 := 26 \quad Z_2 := 34 \quad \text{diş sayıları}$$

$$m_n := 3 \quad \text{mm} \quad \text{normal modül}$$

$$\alpha_0 := 20 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{basınç açısı (20°)}$$

$$\beta_0 := 34.233 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı (34.223 °)}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{kopma mukavemeti}$$

$$\sigma_y := 590 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{akma sınırı}$$

$$Z_{eş1} := \frac{Z_1}{(\cos(\beta_0))^3} \quad Z_{eş1} = 46 \quad Z_{eş2} := 60$$

$$q_k := 2.41 \quad \text{form faktörü değeri çizelge ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$\alpha_{s0} := \text{atan} \left(\frac{\tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)} \right) \quad \alpha_{s0} = 0.41 \quad \text{rad} \quad (23.76^\circ)$$

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{Z_1 + 2}{\cos(\alpha_{s0})} \right)^2 - Z_1^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_2 + 2}{\cos(\alpha_{s0})} \right)^2 - Z_2^2} - (Z_1 + Z_2) \cdot \tan(\alpha_{s0}) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.51$$

$$\varepsilon_2 := \frac{b_1 \cdot \sin(\beta_0)}{\pi \cdot m_n} \quad \varepsilon_2 = 1.24$$

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.75$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 1} = 0.36 \quad (\text{kavrama oranı faktörü})$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_0} \quad F_{t11} = 18123 \text{ N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b11} := \frac{F_{t11}}{b_1 \cdot m_h} \cdot q_k \cdot q_{\varepsilon 1} \quad \sigma_{b11} = 254 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Daimi iştirak dişlisi ömür hesabı yapacak olursak;

$$\sigma_{bmax} := \sigma_{b11} \quad \sigma_{bmax} = 254 \text{ N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{bmin} := 0 \quad \sigma_{bmin} = 0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a11} := \frac{\sigma_{bmax}}{2} \quad \sigma_{a11} = 127 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği}$$

$$\sigma_{m11} := \sigma_{a11} \quad \sigma_{m11} = 127 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq11} := \frac{\sigma_{a11}}{1 - \frac{\sigma_{m11}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq11} = 147 \text{ N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$r := 1.10 \text{ mm} \quad \text{diş dibi radiusu,}$$

$$t := 5.95 \text{ mm} \quad \text{diş dibi genişliği,}$$

$$h := 6.75 \text{ mm} \quad \text{diş yüksekliği.}$$

$$k_{f1} := 0.18 + \left[\left(\frac{t}{r} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t}{h} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f1} = 1.397 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$m_e := 0.5$$

$$m_d := 0.956 \quad m=3 \text{ için çizelge ek 2.3'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_t := 1$$

$$m_0 := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_0 = 0.344$$

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_b} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f1}}{m_b}\right)}} \quad N_{f11} = 4.624 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$\frac{r}{m_h} = 0.37 \quad k_{fNi} := 0.9 \quad \text{şekil ek 2.6 dan alınmıştır.}$$

$$N_{f11Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_b} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_b}\right)}} \quad N_{f11Ni} = 1.151 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

3.1.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

Daimi iştirak dişlisi ömür hesabı, 4x4 konumunda tüm vitesler için I. Viteste hesabında izlenen yol kullanılarak hesaplanmış ve aşağıdaki değerler elde edilmiştir;

$$M_{b21} = 465920 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 9877 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{b21} = 139 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{m21} = 69 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{a21} = 69 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aq21} = 75 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 3.027 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{f21Ni} = 6.455 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

3.1.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b31} = 310170 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 6576 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{b31} = 92 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{m31} = 46 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{a31} = 46 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aq31} = 49 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 4.411 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

$$N_{f31Ni} = 3.726 \times 10^{14} \quad \text{çevrim}$$

3.1.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş1} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq11}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq21}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq31}}} \quad \sigma_{eş1} = 75 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş1} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f1}}{m_o} \right)}} \quad N_{feş1} = 2.99 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feşNi1} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_o} \right)}} \quad N_{feşNi1} = 6.34 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

$d_t := 0.778$ m teker çapı
 $i := 5.375$ diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş1} := \frac{N_{feş1}}{2.01} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş1} = 676979 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi1} := \frac{N_{feşNi1}}{2.01} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşNi1} = 1.435 \times 10^9 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g = 0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş1eff} := \frac{L_{eş1}}{0.08} \quad L_{eş1eff} = 8462237 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi1eff} := \frac{L_{eşNi1}}{0.08} \quad L_{eşNi1eff} = 1.794 \times 10^{10} \quad \text{km}$$

3.2 Grup A Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları

3.2.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b12} := M_1 \cdot \frac{34}{26} \quad M_{b12} = 1117881 \quad \text{N.mm}$$

$$b_2 := 20.8 \quad \text{mm} \quad \text{diş genişliği,}$$

$$d_0 := 123.37 \quad \text{mm} \quad \text{bölüm dairesi çapı,}$$

$$Z_1 := 26 \quad Z_2 := 34 \quad \text{diş sayıları}$$

$$m_n := 3 \quad \text{mm} \quad \text{normal modül}$$

$$\beta_0 := 34.233 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{kopma mukavemeti}$$

$$\sigma_y := 590 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{akma sınırı}$$

$$Z_{e\beta 2} := \frac{Z_2}{(\cos(\beta_0))^3} \quad Z_{e\beta 2} = 60$$

$$q_k := 2.32$$

form faktörü değeri çizelge ek 2.2'den alınmıştır.

$$\alpha_{s0} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)}\right) \quad \alpha_{s0} = 0.41 \quad \text{rad} \quad (23.76^\circ)$$

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{Z_1 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_1^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_2 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_2^2} - (Z_1 + Z_2) \cdot \tan(\alpha_{s0}) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.51$$

$$\varepsilon_2 := \frac{b_2 \cdot \sin(\beta_0)}{\pi \cdot m_n} \quad \varepsilon_2 = 1.24$$

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.75$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 1} = 0.36$$

$$F_{t12} := \frac{2 \cdot M_{b12}}{d_0} \quad F_{t12} = 18122 \text{ N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b12} := \frac{F_{t12}}{b_2 \cdot m_n} \cdot q_k \cdot q_{\varepsilon 1} \quad \sigma_{b12} = 245 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Grup A dişlisi ömür hesabı yapacak olursak;

$$\sigma_{b\max} := \sigma_{b12} \quad \sigma_{b\max} = 245 \text{ N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{b\min} := 0 \quad \sigma_{b\min} = 0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a12} := \frac{\sigma_{b\max}}{2} \quad \sigma_{a12} = 122 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği}$$

$$\sigma_{m12} := \sigma_{a12} \quad \sigma_{m12} = 122 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq12} := \frac{\sigma_{a12}}{1 - \frac{\sigma_{m12}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq12} = 141 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$r := 1.10 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi radiusu,}$$

$$t := 6.22 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi genişliği}$$

$$h := 6.75 \quad \text{mm} \quad \text{diş yüksekliği}$$

$$m_e := 0.5$$

$$m_d := 0.956 \quad m=3 \text{ için çizelge ek 2.3'ten alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{şekil ek 2.2'ten alınmıştır.}$$

$$m_t := 1$$

$$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.344$$

$$k_{f2} := 0.18 + \left[\left(\frac{t}{r} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t}{h} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f2} = 1.43 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f12} := \left[\frac{\sigma_{aq12}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 \cdot k_{f2}}{m_o} \right)}} \quad N_{f12} = 4.998 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$\frac{r}{m_h} = 0.37 \quad k_{fNi} := 0.9 \quad \text{şekil ek 2.6'dan alınmıştır.}$$

$$N_{f12Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq12}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_o} \right)}} \quad N_{f12Ni} = 1.736 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

3.2.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$M_{b22} = 609280$	N.mm
$F_{t22} = 9877$	N
$\sigma_{b22} = 133$	N/mm ²
$\sigma_{m22} = 67$	N/mm ²
$\sigma_{a22} = 67$	N/mm ²
$\sigma_{aq22} = 72$	N/mm ²
$N_{f22} = 2.987 \times 10^9$	çevrim
$N_{f22Ni} = 9.48 \times 10^{12}$	çevrim

3.2.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$M_{b32} = 405607$	N.mm
$F_{t32} = 6575$	N
$\sigma_{b32} = 89$	N/mm ²
$\sigma_{m32} = 44$	N/mm ²
$\sigma_{a32} = 44$	N/mm ²
$\sigma_{aq32} = 47$	N/mm ²
$N_{f32} = 4.125 \times 10^{10}$	çevrim
$N_{f32Ni} = 5.418 \times 10^{14}$	çevrim

3.2.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş2} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq12}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq22}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq32}}} \quad \sigma_{eş2} = 72 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş2} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f2}}{m_0}\right)}} \quad N_{feş2} = 2.953 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feşNi2} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_0}\right)}} \quad N_{feşNi2} = 9.317 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eş2} := N_{feş2} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{26}{40} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş2} = 872914 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi2} := N_{feşNi2} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{26}{40 \cdot 1000} \quad L_{eşNi2} = 2.754 \times 10^9 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş2eff} := \frac{L_{eş2}}{0.08} \quad L_{eş2eff} = 10911423 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi2eff} := \frac{L_{eşNi2}}{0.08} \quad L_{eşNi2eff} = 3.442 \times 10^{10} \quad \text{km}$$

3.3 Grup B Dişlisi Mukavemet ve Ömür Hesapları

3.3.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b13} := M_1 \cdot \frac{34}{26} \cdot \frac{1}{2} \quad M_{b13} = 558940 \quad \text{N.mm}$$

$$b_3 := 14.3 \quad \text{mm} \quad \text{diş genişliği,}$$

$$d_0 := 85.77 \quad \text{mm} \quad \text{bölüm dairesi çapı,}$$

$$Z_3 := 26 \quad Z_4 := 40 \quad \text{diş sayıları}$$

$$m_n := 3 \quad \text{mm} \quad \text{normal modül}$$

$$\beta_0 := 24.573 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{kopma mukavemeti}$$

$$\sigma_y := 590 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{akma sınırı}$$

$$Z_{eş3} := \frac{Z_3}{(\cos(\beta_0))^3} \quad Z_{eş3} = 35 \quad Z_{eş4} := 53$$

$$q_k := 2.51 \quad \text{form faktörü çizelge ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$\alpha_{s0} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)}\right) \quad \alpha_{s0} = 0.38 \quad \text{rad} \quad (21.81^\circ)$$

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{Z_3 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_3^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_4 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_4^2} - (Z_3 + Z_4) \cdot \tan(\alpha_{s0}) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.59$$

$$\varepsilon_2 := \frac{b_3 \cdot \sin(\beta_0)}{\pi \cdot m_n} \quad \varepsilon_2 = 0.63$$

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.22$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 1} = 0.45$$

$$F_{t13} := \frac{2 \cdot M_{b13}}{d_0} \quad F_{t13} = 13033 \text{ N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b13} := \frac{F_{t13}}{b_3 \cdot m_n} \cdot q_k \cdot q_{\epsilon 1} \quad \sigma_{b13} = 343 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Grup B dişlisi ömür hesabı yapacak olursak;

$$\sigma_{b\max} := \sigma_{b13} \quad \sigma_{b\max} = 343 \text{ N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{b\min} := 0 \quad \sigma_{b\min} = 0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a13} := \frac{\sigma_{b\max}}{2} \quad \sigma_{a13} = 172 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m13} := \sigma_{a13} \quad \sigma_{m13} = 172 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq13} := \frac{\sigma_{a13}}{1 - \frac{\sigma_{m13}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq13} = 210 \text{ N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$r := 1.10 \text{ mm} \quad \text{diş dibi radiusu,}$$

$$t := 5.95 \text{ mm} \quad \text{diş dibi genişliği}$$

$$h := 6.75 \text{ mm} \quad \text{diş yüksekliği}$$

$$m_e := 0.5$$

$$m_d := 0.956 \quad m=3 \text{ için çizelge ek 2.3'ten alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_t := 1$$

$$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.344$$

$$k_{F3} := 0.18 + \left[\left(\frac{t}{r} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t}{h} \right)^{0.45} \right] \quad k_{F3} = 1.397 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f13} := \left[\frac{\sigma_{aq13}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f3}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f3}}{m_o}\right)}} \quad N_{f13} = 5.122 \times 10^6 \text{ çevrim}$$

$$\frac{r}{m_n} = 0.37 \quad k_{fNi} := 0.9 \quad \text{şekil ek 2.6'dan alınmıştır.}$$

$$N_{f13Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq13}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_o}\right)}} \quad N_{f13Ni} = 4.116 \times 10^8 \text{ çevrim}$$

3.3.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b23} = 304640 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t23} = 7104 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{b23} = 187 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{m23} = 93 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{a23} = 93 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aq23} = 104 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f23} = 3.995 \times 10^8 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{f23Ni} = 3.01 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

3.3.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$M_{b33} = 202803$	N.mm
$F_{t33} = 4729$	N
$\sigma_{b33} = 125$	N/mm ²
$\sigma_{m33} = 63$	N/mm ²
$\sigma_{a33} = 63$	N/mm ²
$\sigma_{aq33} = 67$	N/mm ²
$N_{f33} = 5.948 \times 10^9$	çevrim
$N_{f33Ni} = 1.794 \times 10^{13}$	çevrim

3.3.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş3} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq13}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq23}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq33}}} \quad \sigma_{eş3} = 104 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş3} := \left[\frac{\sigma_{eş3}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f3}}{m_0}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f3}}{m_0}\right)}} \quad N_{feş3} = 3.933 \times 10^8 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feşNi3} := \left[\frac{\sigma_{eş3}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_0}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_0}\right)}} \quad N_{feşNi3} = 2.94 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

$d_t := 0.778$ m teker çapı
 $i := 5.375$ diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş3} := \frac{N_{feş3}}{2} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{26}{40} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş3} = 58126 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi3} := \frac{N_{feşNi3}}{2} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{26}{40 \cdot 1000} \quad L_{eşNi3} = 4.344 \times 10^7 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_f=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş3eff} := \frac{L_{eş3}}{0.08} \quad L_{eş3eff} = 726577 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi3eff} := \frac{L_{eşNi3}}{0.08} \quad L_{eşNi3eff} = 5.43 \times 10^8 \quad \text{km}$$

3.4 Seyyar Dişli Mukavemet ve Ömür Hesapları

3.4.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b14} := M_1 \cdot \left(\frac{34}{26} \cdot \frac{40}{26} \cdot \frac{1}{2} \right) \quad M_{b14} = 859908 \quad \text{N.mm}$$

$b_4 := 16.15$ mm diş genişliği,
 $d_0 := 131.95$ mm bölüm dairesi çapı,
 $Z_3 := 26$ $Z_4 := 40$ diş sayıları
 $m_n := 3$ mm normal modül

$$\beta_0 := 24.573 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı}$$

$\sigma_u := 930$ N/mm² kopma mukavemeti

$\sigma_y := 590$ N/mm² akma sınırı

$$Z_{e\dot{s}4} := \frac{Z_4}{(\cos(\beta_0))^3}$$

$$Z_{e\dot{s}4} = 53$$

$$q_k := 2.36$$

form faktörü değeri çizelge ek 2.2'den alınmıştır.

$$\alpha_{s0} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)}\right)$$

$$\alpha_{s0} = 0.38 \quad \text{rad} \quad (21.81^\circ)$$

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{Z_3 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_3^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_4 + 2}{\cos(\alpha_{s0})}\right)^2 - Z_4^2} - (Z_3 + Z_4) \cdot \tan(\alpha_{s0}) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.59$$

$$\varepsilon_2 := \frac{b_3 \cdot \sin(\beta_0)}{\pi \cdot m_n}$$

$$\varepsilon_2 = 0.63$$

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$\varepsilon = 2.22$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon}$$

$$q_{\varepsilon 1} = 0.45$$

$$F_{t14} := \frac{2 \cdot M_{b14}}{d_0}$$

$$F_{t14} = 13034 \quad \text{N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b14} := \frac{F_{t14}}{b_4 \cdot m_n} \cdot q_k \cdot q_{\varepsilon 1}$$

$$\sigma_{b14} = 286 \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Seyyar dişli ömür hesabı yapacak olursak;

$$\sigma_{b\max} := \sigma_{b14} \quad \sigma_{b\max} = 286 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{b\min} := 0 \quad \sigma_{b\min} = 0 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a14} := \frac{\sigma_{b\max}}{2} \quad \sigma_{a14} = 143 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m14} := \sigma_{a14} \quad \sigma_{m14} = 143 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq14} := \frac{\sigma_{a14}}{1 - \frac{\sigma_{m14}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq14} = 169 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$\begin{aligned} r &:= 1.10 \quad \text{mm} && \text{diş dibi radiusu,} \\ t &:= 5.95 \quad \text{mm} && \text{diş dibi genişliği} \\ h &:= 6.75 \quad \text{mm} && \text{diş yüksekliği} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_e &:= 0.5 \\ m_d &:= 0.956 && m=3 \text{ için çizelge ek 2.3'ten alınmıştır.} \\ m_s &:= 0.72 && \text{şekil ek 2.2'den alınmıştır.} \\ m_t &:= 1 \end{aligned}$$

$$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.344$$

$$k_{f4} := 0.18 + \left[\left(\frac{t}{r} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t}{h} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f4} = 1.397 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f14} := \left[\frac{\sigma_{aq14}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f4}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f4}}{m_o}\right)}} \quad N_{f14} = 2.001 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$\frac{r}{m_h} = 0.37 \quad k_{fNi} := 0.9 \quad \text{şekil ek 2.6'den alınmıştır.}$$

$$N_{f14Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq14}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fNi}}{m_o}\right)}} \quad N_{f14Ni} = 3.237 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

3.4.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$M_{b24} = 468677$	N.mm
$F_{t24} = 7104$	N
$\sigma_{b24} = 156$	N/mm ²
$\sigma_{m24} = 78$	N/mm ²
$\sigma_{a24} = 78$	N/mm ²
$\sigma_{aq24} = 85$	N/mm ²
$N_{f24} = 1.391 \times 10^9$	çevrim
$N_{f24Ni} = 1.989 \times 10^{12}$	çevrim

3.4.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$M_{b34} = 312005$	N.mm
$F_{t34} = 4729$	N
$\sigma_{b34} = 104$	N/mm ²
$\sigma_{m34} = 52$	N/mm ²
$\sigma_{a34} = 52$	N/mm ²
$\sigma_{aq34} = 55$	N/mm ²
$N_{f34} = 1.988 \times 10^{10}$	çevrim
$N_{f34Ni} = 1.115 \times 10^{14}$	çevrim

3.4.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş4} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq14}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq24}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq34}}} \quad \sigma_{eş4} = 85 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş4} := \left[\frac{\sigma_{eş4}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f4}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f4}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş4} = 1.369 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feşNi4} := \left[\frac{\sigma_{eş4}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fNi}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{fNi}}{m_o}\right)}} \quad N_{feşNi4} = 1.943 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eş4} := N_{feş4} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş4} = 622731 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi4} := N_{feşNi4} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşNi4} = 8.835 \times 10^8 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş4eff} := \frac{L_{eş4}}{0.08} \quad L_{eş4eff} = 7784136 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi4eff} := \frac{L_{eşNi4}}{0.08} \quad L_{eşNi4eff} = 1.104 \times 10^{10} \quad \text{km}$$

3.5 Daimi İştirak Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı

3.5.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \quad \text{N.mm} \quad M_{b11} = 854850 \quad \text{N.mm}$$

$$d_0 := 94.34 \quad \text{mm}$$

$$\beta_0 := 34.233 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı (34.223 °)}$$

$$\alpha_0 := 20 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{basınç açısı (20 °)}$$

$$l_1 := 32.22 \quad \text{mm}$$

$$l_2 := 48.5 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_0} \quad F_{t11} = 18123 \quad \text{N} \quad F_t \text{ kuvveti x- eksenindeydir.}$$

$$F_a := F_{t11} \cdot \tan(\beta_0) \quad F_a = 12331 \quad \text{N} \quad F_a \text{ kuvveti z- eksenindeydir.}$$

$$F_r := \frac{F_{t11} \cdot \tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)} \quad F_r = 7978 \quad \text{N} \quad F_r \text{ kuvveti y- eksenindeydir.}$$

$$\sum M_{x,A} = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$B_r := \frac{F_a \cdot \frac{d_0}{2} - F_r \cdot l_1}{l_1 + l_2}$$

$$B_r = 4021 \quad \text{N}$$

$$A_r := B_r + F_r$$

$$A_r = 12000 \quad \text{N}$$

$$\Sigma M_z, B=0$$

$$\Sigma F_x=0$$

$$A_t := \frac{F_{t11} \cdot l_2}{l_1 + l_2}$$

$$A_t = 10889 \quad \text{N}$$

$$B_t := F_{t11} - A_t$$

$$B_t = 7234 \quad \text{N}$$

Kritik noktalar o,p,r,s,q ve t noktaları olarak indislenmiştir.Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır;

$$M_{xo1} := -A_r \cdot l_1$$

$$M_{xo1} = -386634 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xo2} := -A_r \cdot l_1 + F_a \cdot \frac{d_0}{2}$$

$$M_{xo2} = 195042 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{zo} := -A_t \cdot l_1$$

$$M_{zo} = -350841 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{toto} := \sqrt{M_{xo1}^2 + M_{zo}^2}$$

"o" noktasındaki bileşke moment

$$M_{toto} = 522087 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xp} := -A_r \cdot 10.72$$

$$M_{zp} := -A_t \cdot 10.72$$

$$M_{totp} := \sqrt{M_{xp}^2 + M_{zp}^2}$$

"p" noktasındaki bileşke moment

$$M_{totp} = 173705 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xr} := -A_r \cdot 16.12$$

$$M_{zr} := -A_t \cdot 16.12$$

$$M_{totr} := \sqrt{M_{xr}^2 + M_{zr}^2}$$

"r" noktasındaki bileşke moment

$$M_{totr} = 261206 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xs} := -A_r \cdot 18.62$$

$$M_{zs} := -A_t \cdot 18.62$$

$$M_{\text{tots}} := \sqrt{M_{\text{xs}}^2 + M_{\text{zs}}^2}$$

"s" noktasındaki bileşke moment

$$M_{\text{tots}} = 301715 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{xq}} := -A_r \cdot l_1 + F_a \cdot \frac{d_0}{2} - B_r \cdot 21.4$$

$$M_{\text{zq}} := -A_t \cdot l_1 + B_t \cdot 21.4$$

$$M_{\text{totq}} := \sqrt{M_{\text{xq}}^2 + M_{\text{zq}}^2}$$

"q" noktasındaki bileşke moment

$$M_{\text{totq}} = 224293 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{xt}} := -A_r \cdot l_1 + F_a \cdot \frac{d_0}{2} - B_r \cdot 34.9$$

$$M_{\text{zt}} := -A_t \cdot l_1 + B_t \cdot 34.9$$

$$M_{\text{tott}} := \sqrt{M_{\text{xt}}^2 + M_{\text{zt}}^2}$$

"t" noktasındaki bileşke moment

$$M_{\text{tott}} = 112561 \quad \text{Nmm}$$

$$\sigma_o := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.8^3} \right) \cdot M_{\text{toto}}$$

$$\sigma_o = 201 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_o := \left(\frac{16}{\pi \cdot 29.8^3} \right) \cdot M_{b11}$$

$$\tau_o = 165 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{mol}} := \sqrt{3 \cdot \tau_o^2}$$

$$\sigma_{\text{mol}} = 285 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{aol}} := \sqrt{\sigma_o^2}$$

$$\sigma_{\text{aol}} = 201 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{aqo1}} := \frac{\sigma_{\text{aol}}}{1 - \frac{\sigma_{\text{mol}}}{\sigma_u}}$$

$$\sigma_{\text{aqo1}} = 290 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_p := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{\text{totp}}$$

$$\sigma_p = 70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_p = 173 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mp} := \sqrt{3 \cdot \tau_p^2} \quad \sigma_{mp} = 300 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ap} := \sqrt{\sigma_p^2} \quad \sigma_{ap} = 70 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp1} := \frac{\sigma_{ap}}{1 - \frac{\sigma_{mp}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqp1} = 104 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_r := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{totr} \quad \sigma_r = 106 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_r := \left(\frac{16}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_r = 173 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mr1} := \sqrt{3 \cdot \tau_r^2} \quad \sigma_{mr1} = 300 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ar1} := \sqrt{\sigma_r^2} \quad \sigma_{ar1} = 106 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqr1} := \frac{\sigma_{ar1}}{1 - \frac{\sigma_{mr1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqr1} = 156 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_s := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{tots} \quad \sigma_s = 122 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot 29.3^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_s = 173 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ms} := \sqrt{3 \cdot \tau_s^2} \quad \sigma_{ms} = 300 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as} := \sqrt{\sigma_s^2} \quad \sigma_{as} = 122 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs1} := \frac{\sigma_{as}}{1 - \frac{\sigma_{ms}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqs1} = 180 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

"q" ve "t" noktalarında sadece eğilme gerilmeleri mevcuttur.

$$\sigma_q := \left(\frac{32}{\pi \cdot 28.6^3} \right) \cdot M_{totq} \quad \sigma_{aq} := \sigma_q \quad \sigma_{aq} = 98 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t := \left(\frac{32}{\pi \cdot 25^3} \right) \cdot M_{tott} \quad \sigma_{at} := \sigma_t \quad \sigma_{at} = 73 \quad \text{N/mm}^2$$

Çentik faktörü ve diğer gerilmeye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım

$$\begin{array}{lll} d_p := 29.3 & \text{mm} & d_2 := 43.8 & \text{mm} & d_r := 29.3 & \text{mm} \\ d_o := 29.8 & \text{mm} & d_q := 28.6 & \text{mm} & d_t := 25 & \text{mm} \end{array}$$

$$\frac{d_o}{d_q} = 1.04 \quad \frac{30}{d_t} = 1.2$$

$$r_q := 0.4 \quad r_t := 0.4$$

$$\frac{r_q}{d_q} = 0.014 \quad \frac{r_t}{d_q} = 0.014$$

$$K_{tq} := 2.5 \quad K_{tt} := 3$$

K_{tp} değerleri şekil ek 2.3'ten alınmıştır.

$$q_q := 0.75 \quad q_t := 0.75$$

"q" değerleri şekil ek 2.5 (a)'dan alınmıştır.

Milin üzerinde bulunan ve dişliyi sabitlemek için kullanılan çıkıntının her iki tarafındaki çaplar eşit olduğu için p,r ve s noktalarında gerilme liflerinin normal düz bir mildeki gibi oluşacağı varsayılarak çentik faktörü ($k_f=1$) alınmıştır. "o" noktasında (kama kısmı) hesaplar diş dibine göre yapılmış ve $k_{fo}=1$ alınmıştır.

$$k_{fo} := 1 \quad k_{fp} := 1 \quad k_{fr} := 1 \quad k_{fs} := 1$$

$$k_{fq} := 1 + q_d \cdot (K_{tq} - 1) \quad k_{fq} = 2.13$$

$$k_{ft} := 1 + q_t \cdot (K_{tt} - 1) \quad k_{ft} = 2.5$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma dayanım sınırı faktörü}$$

$$m_d := 0.9 \quad \text{boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.85 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \quad m_o = 0.38$$

$$\sigma_{eo} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fo}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eo} = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ep} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{ep} = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{er} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{er} = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{es} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{es} = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{eq} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fq}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eq} = 167 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{et} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{ft}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{et} = 142 \quad \text{N/mm}^2$$

Kritik nokta kontrolü yapacak olursak;

$$\eta_o := \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{aqo1}} \quad \eta_o = 1.23$$

$$\eta_p := \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{aqp1}} \quad \eta_p = 3.43$$

$$\eta_r := \frac{\sigma_{er}}{\sigma_{aqr1}} \quad \eta_r = 2.28$$

$$\eta_s := \frac{\sigma_{es}}{\sigma_{aqs1}} \quad \eta_s = 1.97$$

$$\eta_q := \frac{\sigma_{eq}}{\sigma_{aq}} \quad \eta_q = 1.71$$

$$\eta_t := \frac{\sigma_{et}}{\sigma_{at}} \quad \eta_t = 1.94$$

En kritik nokta olan 'o' noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aqo1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fo}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 2.064 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

3.5.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b21} = 465920 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 9877 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo2} = 155 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao2} = 110 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo2} = 131 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 3.358 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

3.5.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b31} = 310170 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 6576 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo3} = 103 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao3} = 73 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo3} = 82 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 2.777 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

3.5.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{e\text{şo}} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aqo1}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aqo2}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aqo3}}} \quad \sigma_{e\text{şo}} = 132 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{fe\text{şo}} := \left[\frac{\sigma_{e\text{şo}}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fo}}{m_o}\right)}} \quad N_{fe\text{şo}} = 3.29 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{e\text{şo}} := N_{fe\text{şo}} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{2.01}$$

$$L_{e\text{şo}} = 7451818 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{e\text{şoeff}} := \frac{L_{e\text{şo}}}{0.08} \quad L_{e\text{şoeff}} = 93147726 \quad \text{km}$$

3.6 Prizdirek Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı

3.6.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \frac{34}{26} \cdot \frac{40}{26} \cdot \frac{1}{2} \quad M_{b11} = 859908 \quad \text{N.mm}$$

$$d_0 := 131.951 \quad \text{mm}$$

$$\beta_0 := 24.574 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı (24.574 °)}$$

$$\alpha_0 := 20 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{basınç açısı (20 °)}$$

$$l_1 := 28.22 \quad \text{mm}$$

$$l_2 := 6.4 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_0} \quad F_{t11} = 13034 \quad \text{N} \quad F_t \text{ kuvveti x- eksenini üzerindedir.}$$

$$F_a := F_{t11} \cdot \tan(\beta_0) \quad F_a = 5960 \quad \text{N} \quad F_a \text{ kuvveti z- eksenini üzerindedir.}$$

$$F_r := \frac{F_{t11} \cdot \tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)} \quad F_r = 5216 \quad \text{N} \quad F_r \text{ kuvveti y- eksenini üzerindedir.}$$

$$\Sigma M_x, C=0$$

$$\Sigma F_y=0$$

$$D_r := \frac{F_a \cdot \frac{d_0}{2} - F_r \cdot l_1}{l_1 + l_2}$$

$$D_r = 7106 \quad \text{N}$$

$$C_r := D_r + F_r$$

$$C_r = 12323 \quad \text{N}$$

$$\Sigma M_z, C=0$$

$$\Sigma F_x=0$$

$$D_t := \frac{F_{t11} \cdot l_1}{l_1 + l_2}$$

$$D_t = 10624 \quad \text{N}$$

$$C_t := F_{t11} - D_t$$

$$C_t = 2409 \quad \text{N}$$

Kritik noktalar o ve p noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$M_{xo1} := -C_r \cdot l_1 \quad M_{xo1} = -347745 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xo2} := -C_r \cdot l_1 + F_a \cdot \frac{d_0}{2} \quad M_{xo2} = 45480 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{zo} := C_t \cdot l_1 \quad M_{zo} = 67995 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{toto} := \sqrt{M_{xo1}^2 + M_{zo}^2} \quad \text{"o" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{toto} = 354330 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xp} := -C_r \cdot 15.7 \quad M_{zp} := C_t \cdot 15.7$$

$$M_{totp} := \sqrt{M_{xp}^2 + M_{zp}^2} \quad M_{totp} = 197129 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o := \left[\frac{32 \cdot 45}{\pi \cdot (45^4 - 32^4)} \right] \cdot M_{toto} \quad \sigma_o = 53 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_o := \left[\frac{16 \cdot 45}{\pi \cdot (45^4 - 32^4)} \right] \cdot M_{b11} \quad \tau_o = 65 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mo} := \sqrt{3 \cdot \tau_o^2} \quad \sigma_{mo} = 112 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao} := \sqrt{\sigma_o^2} \quad \sigma_{ao} = 53 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo1} := \frac{\sigma_{ao}}{1 - \frac{\sigma_{mo}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqo1} = 60 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

$$\sigma_p := \left(\frac{32}{\pi \cdot 36.5^3} \right) \cdot M_{totp} \quad \sigma_p = 41 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot 36.5^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_p = 90 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mp1} := \sqrt{3 \cdot \tau_p^2} \quad \sigma_{mp1} = 156 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ap1} := \sqrt{\sigma_p^2} \quad \sigma_{ap1} = 41 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp1} := \frac{\sigma_{ap1}}{1 - \frac{\sigma_{mp1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqp1} = 50 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

Çentik faktörü ve diğer gerilmeye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım

$$d_p := 36.5 \quad \text{mm} \quad d_o := 45 \quad \text{mm} \quad \frac{d_o}{d_p} = 1.23$$

$$r_p := 1.5 \quad \frac{r_p}{d_p} = 0.041$$

$$K_{tp} := 2.1 \quad K_{tp} \text{ değerleri şekil ek 2.3'ten alınmıştır}$$

$$q_p := 0.85 \quad 'q' \text{ değerleri şekil ek 2.5 (a)'dan alınmıştır.}$$

$$k_{fo} := 1$$

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1) \quad k_{fp} = 1.94$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma dayanım sınırı faktörü}$$

$$m_d := 0.9 \quad \text{boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.9 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \quad m_o = 0.41$$

$$\sigma_{eo} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fo}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eo} = 377 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ep} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{ep} = 195 \quad \text{N/mm}^2$$

Malzemelerin ömürlü olup olmadığını kontrol edelim;

$$\eta_o := \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{aqo1}} \quad \eta_o = 6.23$$

$$\eta_p := \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{aqp1}} \quad \eta_p = 3.92$$

En kritik nokta olan 'p' noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aqp1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fp}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 \cdot k_{fp}}{m_o} \right)}} \quad N_{f11} = 5.489 \times 10^9$$

3.6.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b21} = 468677 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 7104 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mp2} = 85 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ap2} = 23 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp2} = 25 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 2.488 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

3.6.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b31} = 312005 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 4729 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mp3} = 57 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ap3} = 15 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp3} = 16 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 2.786 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

3.6.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eşp} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aqp1}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aqp2}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aqp3}}} \quad \sigma_{eşp} = 25 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feşp} := \left[\frac{\sigma_{eşp}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fp}}{m_o}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fp}}{m_o}\right)}} \quad N_{feşp} = 2.462 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eşp} := N_{feşp} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşp} = 111970611 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($\zeta=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eşpeff} := \frac{L_{eşp}}{0.08} \quad L_{eşpeff} = 1.4 \times 10^9 \quad \text{km}$$

3.7 Kamalı Milin Mukavemet ve Ömür Hesabı

3.7.1 I. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \frac{34}{26} \cdot \frac{40}{26} \cdot \frac{1}{2} \quad M_{b11} = 859908 \quad \text{N.mm}$$

$$d_0 := 131.951 \quad \text{mm}$$

$$\beta_0 := 24.574 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı (24.574 °)}$$

$$\alpha_0 := 20 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{basınç açısı (20 °)}$$

$$l_1 := 23.91 \quad \text{mm}$$

$$l_2 := 82.66 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_0} \quad F_{t11} = 13034 \quad \text{N} \quad F_t \text{ kuvveti x- ekseni üzerindedir.}$$

$$F_a := F_{t11} \cdot \tan(\beta_0) \quad F_a = 5960 \quad \text{N} \quad F_a \text{ kuvveti z- ekseni üzerindedir.}$$

$$F_r := \frac{F_{t11} \cdot \tan(\alpha_0)}{\cos(\beta_0)} \quad F_r = 5216 \quad \text{N} \quad F_r \text{ kuvveti y- ekseni üzerindedir.}$$

$$\sum M_x, C=0$$

$$\sum F_y=0$$

$$I_r := \frac{F_a \cdot \frac{d_0}{2} - F_r \cdot l_1}{l_1 + l_2}$$

$$I_r = 2519 \quad \text{N}$$

$$H_r := I_r + F_r$$

$$H_r = 7736 \quad \text{N}$$

$$\sum M_z, C=0$$

$$\sum F_x=0$$

$$I_t := \frac{F_{t11} \cdot l_1}{l_1 + l_2}$$

$$I_t = 2924 \quad \text{N}$$

$$H_t := F_{t11} - I_t$$

$$H_t = 10110 \quad \text{N}$$

Kritik noktalar o, p, r, s, ve t noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$M_{xo1} := -H_r \cdot l_1 \quad M_{xo1} = -184964 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xo2} := -H_r \cdot l_1 + F_a \cdot \frac{d_0}{2} \quad M_{xo2} = 208261 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{zo} := -H_t \cdot l_1 \quad M_{zo} = -241718 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{toto} := \sqrt{M_{xo2}^2 + M_{zo}^2} \quad \text{"o" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{toto} = 319061 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xp} := -H_r \cdot 11.38 \quad M_{zp} := -H_t \cdot 11.38$$

$$M_{totp} := \sqrt{M_{xp}^2 + M_{zp}^2} \quad \text{"p" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{totp} = 144864 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xr} := I_r \cdot 67.98 \quad M_{zr} := I_t \cdot 67.98$$

$$M_{totr} := \sqrt{M_{xr}^2 + M_{zr}^2} \quad \text{"r" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{totr} = 262398 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xs} := I_r \cdot 47.48 \quad M_{zs} := I_t \cdot 47.48$$

$$M_{tots} := \sqrt{M_{xs}^2 + M_{zs}^2} \quad \text{"s" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{tots} = 183269 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{xt} := I_r \cdot 10.72 \quad M_{zt} := I_t \cdot 10.72$$

$$M_{tott} := \sqrt{M_{xt}^2 + M_{zt}^2} \quad \text{"t" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{tott} = 41378 \quad \text{Nmm}$$

o, p ve r noktalarında sadece eğilme gerilmeleri mevcuttur.

$$\sigma_o := \left(\frac{32}{\pi \cdot 45^3} \right) \cdot M_{toto}$$

$$\sigma_o = 36 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo} := \sigma_o$$

$$\sigma_{aqo} = 36 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_p := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.16^3} \right) \cdot M_{totp}$$

$$\sigma_p = 60 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp} := \sigma_p$$

$$\sigma_{aqp} = 60 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_r := \left(\frac{32}{\pi \cdot 44^3} \right) \cdot M_{totr}$$

$$\sigma_r = 31 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqr} := \sigma_r$$

$$\sigma_{aqr} = 31 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_s := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34^3} \right) \cdot M_{tots}$$

$$\sigma_s = 47 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34^3} \right) \cdot M_{b11}$$

$$\tau_s = 111 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ms1} := \sqrt{3 \cdot \tau_s^2}$$

$$\sigma_{ms1} = 193 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as1} := \sqrt{\sigma_s^2}$$

$$\sigma_{as1} = 47 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs1} := \frac{\sigma_{as1}}{1 - \frac{\sigma_{ms1}}{\sigma_u}}$$

$$\sigma_{aqs1} = 60 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_t := \left(\frac{32}{\pi \cdot 29.5^3} \right) \cdot M_{tott}$$

$$\sigma_t = 16 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_t := \left(\frac{16}{\pi \cdot 29.5^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_t = 171 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mt} := \sqrt{3 \cdot \tau_t^2} \quad \sigma_{mt} = 295 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{at} := \sqrt{\sigma_t^2} \quad \sigma_{at} = 16 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqt1} := \frac{\sigma_{at}}{1 - \frac{\sigma_{mt}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqt1} = 24 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

Çentik faktörü ve diğer gerilme ye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım

$$d_p := 29.16 \quad \text{mm} \quad d_2 := 68.94 \quad \text{mm} \quad d_r := 44 \quad \text{mm}$$

$$d_o := 45 \quad \text{mm} \quad d_s := 34 \quad \text{mm} \quad d_t := 29.5 \quad \text{mm}$$

$$\frac{d_o}{d_p} = 1.54 \quad \frac{d_2}{d_r} = 1.57 \quad \frac{d_2}{d_s} = 2.03 \quad \frac{d_s}{d_t} = 1.15$$

$$r_p := 1.5 \quad r_r := 1.5 \quad r_s := 1.5 \quad r_t := 0.4$$

$$\frac{r_p}{d_p} = 0.051 \quad \frac{r_r}{d_r} = 0.034 \quad \frac{r_s}{d_s} = 0.044 \quad \frac{r_t}{d_t} = 0.014$$

$$K_{tp} := 2.1 \quad K_{tr} := 2.35 \quad K_{ts} := 2.3 \quad K_{tt} := 2.7$$

K_{tp} değerleri şekil ek 2.3'ten alınmıştır.

$$q_p := 0.85 \quad q_r := 0.85 \quad q_s := 0.85 \quad q_t := 0.75$$

"q" değerleri şekil ek 2.5 (a)'dan alınmıştır.

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1) \quad k_{fp} = 1.94$$

$$k_{fr} := 1 + q_r \cdot (K_{tr} - 1) \quad k_{fr} = 2.15$$

$$k_{fs} := 1 + q_s \cdot (K_{ts} - 1) \quad k_{fs} = 2.1$$

$$k_{ft} := 1 + q_t \cdot (K_{tt} - 1) \quad k_{ft} = 2.28$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma sınırı faktörü}$$

$$m_d := 0.9 \quad \text{boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır}$$

$$m_s := 0.9 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \quad m_o = 0.41$$

$$\sigma_{eo} := m_d \cdot m_s \cdot m_e \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eo} = 377 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ep} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{ep} = 195 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{er} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{er} = 175 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{es} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{es} = 179 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{et} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{ft}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{et} = 166 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\eta_o := \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{aqo}} \quad \eta_o = 10.56$$

$$\eta_p := \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{aqp}} \quad \eta_p = 3.27$$

$$\eta_r := \frac{\sigma_{er}}{\sigma_{aqr}} \quad \eta_r = 5.59$$

$$\eta_s := \frac{\sigma_{es}}{\sigma_{aqs1}} \quad \eta_s = 2.99$$

$$\eta_t := \frac{\sigma_{et}}{\sigma_{aqt1}} \quad \eta_t = 6.88$$

En kritik nokta olan 's' noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aqs1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fs}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fs}}{m_o} \right)}} \quad N_{f11} = 8.827 \times 10^8$$

3.7.2 II. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b21} = 468677 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 7104 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{ms2} = 164 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as2} = 40 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs2} = 49 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 2.476 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

3.7.3 III. Vites 4x4 Düşük Hız Durumu

$$M_{b31} = 312005 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 4729 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{ms3} = 109 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as3} = 27 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs3} = 31 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 2.933 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

3.7.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eşs} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aqs1}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aqs2}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aqs3}}} \quad \sigma_{eşs} = 48 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feşs} := \left[\frac{\sigma_{eşs}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fs}}{m_0}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{fs}}{m_0}\right)}} \quad N_{feşs} = 2.8 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eşs} := N_{feşs} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşs} = 1273378 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eşseff} := \frac{L_{eşs}}{0.08} \quad L_{eşseff} = 15917221 \quad \text{km}$$

4. ÖN DİFERANSİYEL DİŞLİLERİ VE MİLİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI

4.1 Ön Mahruti-Ayna Dişlisinin Mukavemet ve Ömür Hesabı

4.1.1 I. Vites 4x4 Durumu

$\eta_v := 0.9$	toplam verim
$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \frac{2.01}{2} \cdot \eta_v$	$M_{b11} = 773212 \quad \text{N.mm}$
$b_1 := 39.5 \quad \text{mm}$	diş genişliği,
$d_{m1} := 38.98 \quad \text{mm}$	bölüm dairesi çapı,
$Z_1 := 8 \quad Z_2 := 43$	diş sayıları
$m_{mn} := 3.4256 \quad \text{mm}$	ortalama normal modül
$\beta_1 := 45.33 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$	mahruti eğim açısı (45.33 °)
$\beta_2 := 19.77 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$	ayna eğim açısı (19.77 °)
$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2$	kopma mukavemeti
$\sigma_y := 590 \quad \text{N/mm}^2$	akma sınırı
$\alpha_0 := 21.25 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$	basınç açısı (21.25 °)
$\gamma_1 := \text{atan}\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right) \quad \text{rad}$	mahruti koni yarı açısı (10.54 °)
$\gamma_2 := \text{atan}\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) \quad \text{rad}$	ayna koni yarı açısı (79.46 °)
$Z_{eş1} := \frac{Z_1}{(\cos(\beta_1))^3 \cdot \cos(\gamma_1)}$	$Z_{eş1} = 23$

$$Z_{e\varnothing 2} := \frac{Z_2}{\cos(\beta_2)^3 \cdot \cos(\gamma_2)} \quad Z_{e\varnothing 2} = 282$$

$$q_{k1} := 2.82 \quad \text{form faktörü çizelge ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\sqrt{\left(\frac{Z_{e\varnothing 1} + 2}{\cos(\alpha_0)} \right)^2 - Z_{e\varnothing 1}^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_{e\varnothing 2} + 2}{\cos(\alpha_0)} \right)^2 - Z_{e\varnothing 2}^2} - (Z_{e\varnothing 1} + Z_{e\varnothing 2}) \cdot \tan(\alpha_0) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.7 \quad \text{profil kavrama oranı}$$

$$\varepsilon_2 = 0.74 \quad \text{adım kavrama oranı}$$

Mahruti dişlinin adım kavrama oranı ayna dişlideki adım kavrama oranına eşittir.

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.44$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 1} = 0.41 \quad (\text{kavrama oranı faktörü})$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_{m1}} \quad F_{t11} = 39672 \text{ N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b11} := \frac{F_{t11}}{b_1 \cdot m_{mn}} \cdot q_{k1} \cdot q_{\varepsilon 1} \quad \sigma_{b11} = 339 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Ön mahruti dişlisi ömür hesabı yapacak olursak;

$$\sigma_{b\max} := \sigma_{b11} \quad \sigma_{b\max} = 339 \text{ N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{b\min} := 0 \quad \sigma_{b\min} = 0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a11} := \frac{\sigma_{b\max}}{2} \quad \sigma_{a11} = 170 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m11} := \sigma_{a11} \quad \sigma_{m11} = 170 \text{ N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq11} := \frac{\sigma_{a11}}{1 - \frac{\sigma_{m11}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq11} = 208 \text{ N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$r_1 := 0.8$ mm dış dibi radiusu,

$t_1 := 8.6$ mm dış dibi genişliği

$h_1 := 7.8$ mm dış yüksekliği

$m_e := 0.5$

$m_d := 0.944$ $m=3.4256$ için çizelge ek 2.3'den alınmıştır.

$m_s := 0.72$ şekil ek 2.2'den alınmıştır.

$m_t := 1$

$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t$ $m_o = 0.34$

$$k_{f1} := 0.18 + \left[\left(\frac{t_1}{r_1} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t_1}{h_1} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f1} = 1.672 \text{ çentik faktörü}$$

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 1.827 \times 10^6 \text{ çevrim}$$

$$\frac{r_1}{m_{mn}} = 0.23$$

$k_{f1Ni} := 0.99$ şekil ek 2.6'dan alınmıştır.

$$N_{f11Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1Ni}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1Ni}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11Ni} = 1.083 \times 10^8 \text{ çevrim}$$

Ön köprü aynası dişlisi diş dibi eğilme hesabı yapacak olursak;

$$\begin{aligned}
 b_2 &:= 25.79 & \text{mm} & & \text{diş genişliği,} \\
 d_{m2} &:= 156.52 & \text{mm} & & \text{bölüm dairesi çapı,} \\
 m_{mn} &:= 3.4256 & \text{mm} & & \text{ortalama normal modül} \\
 \beta_2 &:= 19.77 \cdot \frac{\pi}{180} & \text{rad} & & \text{eğim açısı} \\
 \alpha_0 &:= 21.25 \cdot \frac{\pi}{180} & \text{rad} & & \text{basınç açısı (21.25 °)} \\
 \gamma_2 &:= \text{atan}\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) & \text{rad} & & \text{ayna koni yarı açısı (79.46 °)} \\
 Z_{eş1} &= 23 & & & Z_{eş2} = 282
 \end{aligned}$$

$q_{k2} := 2.2$ form faktörü çizelge ek 2.2'den alınmıştır.

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\sqrt{\left(\frac{Z_{eş1} + 2}{\cos(\alpha_0)}\right)^2 - Z_{eş1}^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_{eş2} + 2}{\cos(\alpha_0)}\right)^2 - Z_{eş2}^2} - (Z_{eş1} + Z_{eş2}) \cdot \tan(\alpha_0) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.7$$

$$R_{a2} := 91.96 \quad \text{mm} \quad \text{koni uzunluğu}$$

$$\psi_2 := 6.17 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{atlama açısı}$$

$$t_s := 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_{a2}}{Z_2} \quad \text{mm} \quad \text{baş dairesi diş adımı}$$

$$S := R_{a2} \cdot \psi_2 \quad \text{mm} \quad \text{atlama}$$

$$\varepsilon_2 := \frac{S}{t_s} \quad \varepsilon_2 = 0.74$$

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.43$$

$$q_{\varepsilon 2} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 2} = 0.41 \quad \text{(kavrama oranı faktörü)}$$

$$M_{b21} := M_{b11} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad M_{b21} = 4156014 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} := \frac{2 \cdot M_{b21}}{d_{m2}} \quad F_{t21} = 53105 \quad \text{N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b21} := \frac{F_{t21}}{b_2 \cdot m_{mn}} \cdot q_{k2} \cdot q_{\epsilon 2} \quad \sigma_{b21} = 543 \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Ön köprü ayna dişlisinin ömür hesabını yapacak olursak;

$$\sigma_{bmax} := \sigma_{b21} \quad \sigma_{bmax} = 543 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{bmin} := 0 \quad \sigma_{bmin} = 0 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a21} := \frac{\sigma_{bmax}}{2} \quad \sigma_{a21} = 272 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m21} := \sigma_{a21} \quad \sigma_{m21} = 272 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq21} := \frac{\sigma_{a21}}{1 - \frac{\sigma_{m21}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq21} = 384 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$r_2 := 1.25 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi radiusu,}$$

$$t_2 := 8.2 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi genişliği}$$

$$h_2 := 7.4 \quad \text{mm} \quad \text{diş yüksekliği}$$

$$m_e := 0.5$$

$$m_d := 0.944 \quad m=3.4256 \text{ için çizelge ek 2.3'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_t := 1$$

$$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.34$$

$$k_{f2} := 0.18 + \left[\left(\frac{t_2}{r_2} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t_2}{h_2} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f2} = 1.569 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f21} := \left[\frac{\sigma_{aq21}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 k_{f2}}{m_0} \right)}} \quad N_{f21} = 8.054 \times 10^4 \text{ çevrim}$$

$$\frac{r_2}{m_{mn}} = 0.36 \quad k_{f2Ni} := 0.89 \quad \text{şekil ek 2.6'dan alınmıştır.}$$

$$N_{f21Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq21}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2Ni}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 k_{f2Ni}}{m_0} \right)}} \quad N_{f21Ni} = 1.462 \times 10^6 \text{ çevrim}$$

4.1.2 II. Vites 4x4 Durumu

Mahruti

Ayna

$M_{b12} = 421425$	N.mm	$M_{b22} = 2265157$	N.mm
$F_{t12} = 21623$	N	$F_{t22} = 28944$	N
$\sigma_{b12} = 185$	N/mm ²	$\sigma_{b22} = 296$	N/mm ²
$\sigma_{m12} = 92$	N/mm ²	$\sigma_{m22} = 148$	N/mm ²
$\sigma_{a12} = 92$	N/mm ²	$\sigma_{a22} = 148$	N/mm ²
$\sigma_{aq12} = 103$	N/mm ²	$\sigma_{aq22} = 176$	N/mm ²
$N_{f12} = 8.061 \times 10^7$	çevrim	$N_{f22} = 6.434 \times 10^6$	çevrim
$N_{f12Ni} = 3.746 \times 10^{10}$	çevrim	$N_{f22Ni} = 2.113 \times 10^9$	çevrim

4.1.3 III. Vites 4x4 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b13} = 280549$	N.mm	$M_{b23} = 1507950$	N.mm
$F_{t13} = 14394$	N	$F_{t23} = 19268$	N
$\sigma_{b13} = 123$	N/mm ²	$\sigma_{b23} = 197$	N/mm ²
$\sigma_{m13} = 62$	N/mm ²	$\sigma_{m23} = 99$	N/mm ²
$\sigma_{a13} = 62$	N/mm ²	$\sigma_{a23} = 99$	N/mm ²
$\sigma_{aq13} = 66$	N/mm ²	$\sigma_{aq23} = 110$	N/mm ²
$N_{f13} = 8.754 \times 10^8$	çevrim	$N_{f23} = 8.955 \times 10^7$	çevrim
$N_{f13Ni} = 1.488 \times 10^{12}$	çevrim	$N_{f23Ni} = 1.677 \times 10^{11}$	çevrim

4.1.4 Ön Mahruti Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş1} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq11}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq12}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq13}}} \quad \sigma_{eş1} = 103 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş1} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1}}{m_o} \right)}} \quad N_{feş1} = 7.979 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feş1Ni} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1Ni}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1Ni}}{m_o} \right)}} \quad N_{feş1Ni} = 3.687 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

$d_t := 0.778$ m teker çapı
 $i := 5.375$ diferansiyel çevrim oranı

$$L_{eş1} := N_{feş1} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş1} = 36282 \quad \text{km}$$

$$L_{eş1Ni} := N_{feş1Ni} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş1Ni} = 1.676 \times 10^7 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş1eff} := \frac{L_{eş1}}{0.08} \quad L_{eş1eff} = 453522 \quad \text{km}$$

$$L_{eş1Nieff} := \frac{L_{eş1Ni}}{0.08} \quad L_{eş1Nieff} = 2.095 \times 10^8 \quad \text{km}$$

4.1.5 Ön Ayna Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş2} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aq21}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aq22}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aq23}}} \quad \sigma_{eş2} = 176 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş2} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_o}\right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f2}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş2} = 6.36 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feş2Ni} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2Ni}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{f2Ni}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş2Ni} = 2.073 \times 10^9 \text{ çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eş2} := N_{feş2} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş2} = 15545 \quad \text{km}$$

$$L_{eş2Ni} := N_{feş2Ni} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş2Ni} = 5.068 \times 10^6 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eş2eff} := \frac{L_{eş2}}{0.08} \quad L_{eş2eff} = 194315 \quad \text{km}$$

$$L_{eş2Nieff} := \frac{L_{eş2Ni}}{0.08} \quad L_{eş2Nieff} = 6.335 \times 10^7 \quad \text{km}$$

4.2 Ön Mahruti Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı

4.2.1 I. Vites 4x4 Durumu

$$\eta_v := 0.9 \quad \text{toplam verim}$$

$$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \frac{2.01}{2} \cdot \eta_v \quad M_{b11} = 773212 \quad \text{N.mm}$$

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

$$\beta_1 := 45.33 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{eğim açısı (45.33 °)}$$

$$\alpha_0 := 21.15 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$$

basınç açısı (21.15 °)

$$\gamma_1 := 10.54 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad}$$

mahruti koni yarı açısı (10.54 °)

$$l_1 := 83.6 \quad \text{mm}$$

$$l_2 := 32.2 \quad \text{mm}$$

$$\sigma_u := 930 \quad \text{N/mm}^2$$

$$m_{mn} := 3.4256 \quad \text{mm}$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_{m1}} \quad F_{t11} = 39672 \quad \text{N} \quad F_t \text{ kuvveti x- eksenindeyir.}$$

$$F_a := F_{t11} \cdot \left(\frac{\tan(\alpha_0) \cdot \sin(\gamma_1)}{\cos(\beta_1)} - \tan(\beta_1) \cdot \cos(\gamma_1) \right)$$

$$F_a = -35461 \quad \text{N} \quad F_a \text{ kuvveti z- eksenindeyir.}$$

(- işareti, aksiyal kuvvetin koni tepesine doğru olduğunu gösterir)

$$F_r := F_{t11} \cdot \left(\frac{\tan(\alpha_0) \cdot \cos(\gamma_1)}{\cos(\beta_1)} + \tan(\beta_1) \cdot \sin(\gamma_1) \right)$$

$$F_r = 28804 \quad \text{N} \quad F_r \text{ kuvveti y- eksenindeyir.}$$

$$\sum M_x, A = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$B_r := \frac{F_r \cdot (l_1 + l_2) - F_a \cdot \frac{d_{m1}}{2}}{l_1}$$

$$B_r = 48166 \quad \text{N}$$

$$A_r := B_r - F_r$$

$$A_r = 19362 \quad \text{N}$$

$$\sum M_z, A = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$B_t := \frac{F_{t11} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1}$$

$$B_t = 54953 \quad \text{N}$$

$$A_t := B_t - F_{t11}$$

$$A_t = 15280 \quad \text{N}$$

Kritik noktalar o, p, r, ve s noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$M_{x_o} := -A_r \cdot l_1 \quad M_{x_o} = -1621817 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{z_o} := -A_t \cdot l_1 \quad M_{z_o} = -1277446 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{toto}} := \sqrt{M_{x_o}^2 + M_{z_o}^2} \quad M_{\text{toto}} = 2064499 \quad \text{Nmm} \quad \text{"o" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{x_p} := -A_r \cdot 11.1 \quad M_{x_p} = -215337 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{z_p} := -A_t \cdot 11.1 \quad M_{z_p} = -169613 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{totp}} := \sqrt{M_{x_p}^2 + M_{z_p}^2} \quad M_{\text{totp}} = 274114 \quad \text{Nmm} \quad \text{"p" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{x_r} := -A_r \cdot 60.3 \quad M_{x_r} = -1169803 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{z_r} := -A_t \cdot 60.3 \quad M_{z_r} = -921411 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{totr}} := \sqrt{M_{x_r}^2 + M_{z_r}^2} \quad M_{\text{totr}} = 1489107 \quad \text{Nmm} \quad \text{"r" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{x_s} := -A_r \cdot l_1 + F_r \cdot 12.7 \quad M_{x_s} = -1254590 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{z_s} := -A_t \cdot l_1 + F_{t11} \cdot 12.7 \quad M_{z_s} = -773609 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{\text{tots}} := \sqrt{M_{x_s}^2 + M_{z_s}^2} \quad M_{\text{tots}} = 1473928 \quad \text{Nmm} \quad \text{"s" noktasındaki bileşke moment}$$

$$\sigma_o := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.8^3} \right) \cdot M_{\text{toto}} \quad \sigma_o = 499 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_o := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.8^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_o = 93 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{mol}} := \sqrt{3 \cdot \tau_o^2} \quad \sigma_{\text{mol}} = 162 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{aol}} := \sqrt{\sigma_o^2} \quad \sigma_{\text{aol}} = 499 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{aqol}} := \frac{\sigma_{\text{aol}}}{1 - \frac{\sigma_{\text{mol}}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{\text{aqol}} = 604 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_p := \left(\frac{32}{\pi \cdot 28.58^3} \right) \cdot M_{\text{totp}} \quad \sigma_p = 120 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot 28.58^3} \right) \cdot M_{\text{b11}} \quad \tau_p = 169 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{mp1}} := \sqrt{3 \cdot \tau_p^2} \quad \sigma_{\text{mp1}} = 292 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ap1}} := \sqrt{\sigma_p^2} \quad \sigma_{\text{ap1}} = 120 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{aqp1}} := \frac{\sigma_{\text{ap1}}}{1 - \frac{\sigma_{\text{mp1}}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{\text{aqp1}} = 174 \quad (\text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği})$$

$$\sigma_r := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.3^3} \right) \cdot M_{\text{totr}} \quad \sigma_r = 376 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_r := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.3^3} \right) \cdot M_{\text{b11}} \quad \tau_r = 98 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{mr1}} := \sqrt{3 \cdot \tau_r^2} \quad \sigma_{\text{mr1}} = 169 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ar1} := \sqrt{\sigma_r^2} \quad \sigma_{ar1} = 376 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqr1} := \frac{\sigma_{ar1}}{1 - \frac{\sigma_{mr1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqr1} = 459 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

$$\sigma_s := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.8^3} \right) \cdot M_{tots} \quad \sigma_s = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.8^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_s = 93 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ms1} := \sqrt{3 \cdot \tau_s^2} \quad \sigma_{ms1} = 162 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as1} := \sqrt{\sigma_s^2} \quad \sigma_{as1} = 356 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs1} := \frac{\sigma_{as1}}{1 - \frac{\sigma_{ms1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqs1} = 431 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

Çentik faktörü ve diğer gerilme ye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım;

$$d_p := 28.58 \quad \text{mm} \quad d_r := 34.3 \quad \text{mm} \quad d_s := 34.8 \quad \text{mm}$$

$$\frac{d_r}{d_p} = 1.2$$

$$r_p := 0.5$$

$$\frac{r_p}{d_p} = 0.017 \quad K_{tp} := 2.5 \quad K_t \text{ değerleri 'şekil ek 2.3'ten alınmıştır.}$$

$q_p := 0.77$ "q" değerleri şekil ek 2.5 (a)'dan alınmıştır.

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1) \quad k_{fp} = 2.16$$

"r" noktası ile "s" noktası arasındaki çap oranı 1'e çok yakın olduğundan $k_{fr}=1$ alındı.

$$k_{fr} := 1$$

$$k_{fo} := 1$$

$r := 0.8$ mm diş dibi radiusu,

$$\frac{r}{m_{mn}} = 0.23$$

$k_{fs} := 1$ k_{fs} değeri şekil ek 2.6'dan alınmıştır.

$m_d := 0.9$ çizelge 1.1'den alınmıştır.

$m_s := 0.9$ yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır.

$m_e := 0.5$ eğilme yorulma dayanımı sınırı faktörü

$$m_o := m_d \cdot m_s \cdot m_e \quad m_o = 0.41$$

$$\sigma_{eo} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fo}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eo} = 377 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{ep} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{ep} = 175 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{er} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{er} = 377 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{es} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{es} = 377 \text{ N/mm}^2$$

Kritik nokta kontrolü yapacak olursak;

$$\eta_o := \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{aqo1}} \quad \eta_o = 0.62$$

$$\eta_p := \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{aqp1}}$$

$$\eta_p = 1$$

$$\eta_r := \frac{\sigma_{er}}{\sigma_{aqr1}}$$

$$\eta_r = 0.82$$

$$\eta_s := \frac{\sigma_{es}}{\sigma_{aqs1}}$$

$$\eta_s = 0.87$$

En kritik nokta olan "o" noktasına göre ömür hesabı yapalım;

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aqo1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 k_{fo}}{m_o} \right)}} \quad N_{f11} = 2.648 \times 10^4 \text{ çevrim}$$

4.2.2 II. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b21} = 421425 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 21706 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo2} = 87 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao2} = 269 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo2} = 297 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 3.241 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

4.2.3 III. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b31} = 280549 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 14450 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo3} = 58 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao3} = 179 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo3} = 191 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 2.698 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

4.2.4 Ön Mahruti Mili İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{e\text{şo}} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\sigma_{aqo1}} + \frac{C'_7}{\sigma_{aqo2}} + \frac{C'_8}{\sigma_{aqo3}}} \quad \sigma_{e\text{şo}} = 298 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{fe\text{şo}} := \left[\frac{\sigma_{e\text{şo}}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 \cdot k_{fo}}{m_o} \right)}} \quad N_{fe\text{şo}} = 3.167 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{e\text{şo}} := N_{fe\text{şo}} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{şo}} = 14402 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{e\text{şoeff}} := \frac{L_{e\text{şo}}}{0.08} \quad L_{e\text{şoeff}} = 180022 \quad \text{km}$$

Ön tekerlerin patinaja düşmeden ön mahruti milinin taşıyabileceği max. tork:

$\mu := 0.55$ arazide teker ile yer arasındaki sürtünme katsayısı

$F_{\text{ön}} := 12000$ N ön dingile gelen yük

$$M_b := F_{\text{ön}} \cdot \mu \cdot 1000 \cdot \frac{d_t}{2 \cdot i} \quad M_b = 477656 \quad \text{N.mm}$$

Patinaja düşme olasılığı yalnız I. Vites için geçerli olmaktadır. Bu durumda nihai hesaplamada

$L_{\text{eş}} = 18606$ km çıkmaktadır.

Araç, ömrünün %8'ini ($\zeta = 0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{\text{eşoeff}} := \frac{18606}{0.08} \quad L_{\text{eşoeff}} = 232575 \quad \text{km}$$

5. ARKA DİFERANSİYEL DİŞLİLERİ VE MİLİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI

5.1 Arka Mahruti-Ayna Dişlisinin Mukavemet ve Ömür Hesapları

5.1.1 I. Vites 4x2 Durumu

$\eta_v := 0.9$		toplam verim
$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \eta_v$		$M_{b11} = 769365$ N.mm
$b_1 := 41.5$ mm		diş genişliği,
$d_{m1} := 48.11$ mm		bölüm dairesi çapı,
$Z_1 := 8$ $Z_2 := 43$		diş sayıları
$m_{mn} := 3.866$ mm		ortalama normal modül
$\beta_1 := 50 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad		mahruti eğim açısı (50 °)
$\beta_2 := 26.96 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad		ayna eğim açısı (26.96 °)
$\sigma_u := 930$ N/mm ²		kopma mukavemeti
$\sigma_y := 590$ N/mm ²		akma sınırı
$\alpha_0 := 21.25 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad		basınç açısı (21.25 °)
$\gamma_1 := \operatorname{atan}\left(\frac{Z_1}{Z_2}\right)$ rad		mahruti koni yarı açısı (10.54 °)
$\gamma_2 := \operatorname{atan}\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)$ rad		ayna koni yarı açısı (79.46 °)
$Z_{eş1} := \frac{Z_1}{(\cos(\beta_1))^3 \cdot \cos(\gamma_1)}$		$Z_{eş1} = 31$
$Z_{eş2} := \frac{Z_2}{\cos(\beta_2)^3 \cdot \cos(\gamma_2)}$		$Z_{eş2} = 332$

$$q_{k1} := 2.58$$

form faktörü çizelge ek 2.2'den alınmıştır.

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\sqrt{\left(\frac{Z_{e\varnothing 1} + 2}{\cos(\alpha_0)} \right)^2 - Z_{e\varnothing 1}^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_{e\varnothing 2} + 2}{\cos(\alpha_0)} \right)^2 - Z_{e\varnothing 2}^2} - (Z_{e\varnothing 1} + Z_{e\varnothing 2}) \cdot \tan(\alpha_0) \right]$$

$$\varepsilon_1 = 1.73 \quad \text{profil kavrama oranı}$$

$$\varepsilon_2 := 0.93 \quad \text{adım kavrama oranı}$$

Mahruti dişlinin adım kavrama oranı ayna dişlideki adım kavrama oranına eşittir.

$$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \varepsilon = 2.66$$

$$q_{\varepsilon 1} := \frac{1}{\varepsilon} \quad q_{\varepsilon 1} = 0.38 \quad (\text{kavrama oranı faktörü})$$

$$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_{m1}} \quad F_{t11} = 31984 \quad \text{N (teğetsel kuvvet)}$$

$$\sigma_{b11} := \frac{F_{t11}}{b_1 \cdot m_{mn}} \cdot q_{k1} \cdot q_{\varepsilon 1} \quad \sigma_{b11} = 194 \quad \text{N/mm}^2 (\text{eğilme gerilmesi})$$

Arka Mahruti dişlisi ömür hesabını yapacak olursak;

$$\sigma_{b\max} := \sigma_{b11} \quad \sigma_{b\max} = 194 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{b\min} := 0 \quad \sigma_{b\min} = 0 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a11} := \frac{\sigma_{b\max}}{2} \quad \sigma_{a11} = 97 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m11} := \sigma_{a11} \quad \sigma_{m11} = 97 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq11} := \frac{\sigma_{a11}}{1 - \frac{\sigma_{m11}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq11} = 108 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$r_1 := 0.8$ mm dış dibi radiusu,

$t_1 := 9.7$ mm dış dibi genişliği

$h_1 := 7.8$ mm dış yüksekliği

$m_e := 0.5$

$m_d := 0.933$ $m=3.866$ için çizelge ek 2.3'den alınmıştır.

$m_s := 0.72$ şekil ek 2.2'den alınmıştır.

$m_t := 1$

$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t$ $m_o = 0.336$

$$k_{f1} := 0.18 + \left[\left(\frac{t_1}{r_1} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t_1}{h_1} \right)^{0.45} \right] \quad k_{f1} = 1.784 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 k_{f1}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 3.584 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$\frac{r_1}{m_{mn}} = 0.21$ $k_{f1Ni} := 0.99$ şekil ek 2.6'dan alınmıştır.

$$N_{f11Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq11}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1Ni}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 k_{f1Ni}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11Ni} = 2.005 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

Arka köprü Ayna dişlisi diş dibi eğilme hesabı yapacak olursak;

$b_2 := 30.16$ mm	diş genişliği,
$d_{m2} := 186.5$ mm	bölüm dairesi çapı,
$m_{mn} := 3.866$ mm	ortalama normal modül
$\beta_2 := 26.96 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	eğim açısı
$\gamma_2 := \text{atan}\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)$ rad	ayna koni yarı açısı (79.46 °)
$\alpha_0 := 21.25 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	basınç açısı (21.25 °)
$Z_{eş1} = 31$	$Z_{eş2} = 332$
$q_{k2} := 2.2$	form faktörü;izelge ek 2.2'den alınmıştır.
$\varepsilon_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\sqrt{\left(\frac{Z_{eş1} + 2}{\cos(\alpha_0)}\right)^2 - Z_{eş1}^2} + \sqrt{\left(\frac{Z_{eş2} + 2}{\cos(\alpha_0)}\right)^2 - Z_{eş2}^2} - (Z_{eş1} + Z_{eş2}) \cdot \tan(\alpha_0) \right]$	
$\varepsilon_1 = 1.73$	
$R_{a2} := 110.42$ mm	koni uzunluğu
$\psi_2 := 7.76 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	atlama açısı
$t_s := 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_{a2}}{Z_2}$ mm	baş dairesi diş adımı
$S := R_{a2} \cdot \psi_2$ mm	atlama
$\varepsilon_2 := \frac{S}{t_s}$	$\varepsilon_2 = 0.93$
$\varepsilon := \varepsilon_1 + \varepsilon_2$	$\varepsilon = 2.65$

$$q_{\epsilon 2} := \frac{1}{\epsilon} \quad q_{\epsilon 2} = 0.38 \quad (\text{kavrama oranı faktörü})$$

$$M_{b21} := M_{b11} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad M_{b21} = 4135337 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} := \frac{2 \cdot M_{b21}}{d_{m2}} \quad F_{t21} = 44347 \quad \text{N} \quad (\text{teğetsel kuvvet})$$

$$\sigma_{b21} := \frac{F_{t21}}{b_2 \cdot m_{mn}} \cdot q_{k2} \cdot q_{\epsilon 2} \quad \sigma_{b21} = 315 \quad \text{N/mm}^2 \quad (\text{eğilme gerilmesi})$$

Arka köprü ayna dişlisinin ömür hesabını yapacak olursak;

$$\sigma_{bmax} := \sigma_{b21} \quad \sigma_{bmax} = 315 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{bmin} := 0 \quad \sigma_{bmin} = 0 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{min eğilme gerilmesi,}$$

$$\sigma_{a21} := \frac{\sigma_{bmax}}{2} \quad \sigma_{a21} = 158 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{gerilme genliği,}$$

$$\sigma_{m21} := \sigma_{a21} \quad \sigma_{m21} = 158 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama gerilme,}$$

$$\sigma_{aq21} := \frac{\sigma_{a21}}{1 - \frac{\sigma_{m21}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aq21} = 190 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken gerilme genliği,}$$

$$r_2 := 1.10 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi radiusu}$$

$$t_2 := 9.7 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi genişliği}$$

$$h_2 := 9.4 \quad \text{mm} \quad \text{diş yüksekliği}$$

$$m_e := 0.5$$

$$m_d := 0.933 \quad m=3.866 \text{ için çizelge ek 2.3'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_t := 1$$

$$m_o := m_e \cdot m_d \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.336$$

$$k_{f2} := 0.18 + \left[\left(\frac{t_2}{r_2} \right)^{0.15} \cdot \left(\frac{t_2}{h_2} \right)^{0.45} \right]$$

$$k_{f2} = 1.586 \quad \text{çentik faktörü}$$

$$N_{f21} := \left[\frac{\sigma_{aq21}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_b} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f2}}{m_b}\right)}}$$

$$N_{f21} = 3.711 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

$$\frac{r_2}{m_{mn}} = 0.28$$

$$k_{f2Ni} := 0.89$$

şekil ek 2.6'dan alınmıştır.

$$N_{f21Ni} := \left[\frac{\sigma_{aq21}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2Ni}}{m_b} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f2Ni}}{m_b}\right)}}$$

$$N_{f21Ni} = 8.729 \times 10^8 \quad \text{çevrim}$$

5.1.2 II. Vites 4x2 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b12} = 419328$	N.mm	$M_{b22} = 2253888$	N.mm
$F_{t12} = 17432$	N	$F_{t22} = 24170$	N
$\sigma_{b12} = 105$	N/mm ²	$\sigma_{b22} = 172$	N/mm ²
$\sigma_{m12} = 53$	N/mm ²	$\sigma_{m22} = 86$	N/mm ²
$\sigma_{a12} = 53$	N/mm ²	$\sigma_{a22} = 86$	N/mm ²
$\sigma_{aq12} = 56$	N/mm ²	$\sigma_{aq22} = 95$	N/mm ²
$N_{f12} = 1.043 \times 10^9$	çevrim	$N_{f22} = 1.745 \times 10^8$	çevrim
$N_{f12Ni} = 4.461 \times 10^{12}$	çevrim	$N_{f22Ni} = 5.309 \times 10^{11}$	çevrim

5.1.3 III. Vites 4x2 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b13} = 279153$	N.mm	$M_{b23} = 1500447$	N.mm
$F_{t13} = 11605$	N	$F_{t23} = 16091$	N
$\sigma_{b13} = 70$	N/mm ²	$\sigma_{b23} = 114$	N/mm ²
$\sigma_{m13} = 35$	N/mm ²	$\sigma_{m23} = 57$	N/mm ²
$\sigma_{a13} = 35$	N/mm ²	$\sigma_{a23} = 57$	N/mm ²
$\sigma_{aq13} = 36$	N/mm ²	$\sigma_{aq23} = 61$	N/mm ²
$N_{f13} = 9.268 \times 10^9$	çevrim	$N_{f23} = 1.997 \times 10^9$	çevrim
$N_{f13Ni} = 1.482 \times 10^{14}$	çevrim	$N_{f23Ni} = 3.071 \times 10^{13}$	çevrim

5.1.4 IV. Vites 4x2 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b14} = 193500$	N.mm	$M_{b24} = 1040063$	N.mm
$F_{t14} = 8044$	N	$F_{t24} = 11153$	N
$\sigma_{b14} = 49$	N/mm ²	$\sigma_{b24} = 79$	N/mm ²
$\sigma_{m14} = 24$	N/mm ²	$\sigma_{m24} = 40$	N/mm ²
$\sigma_{a14} = 24$	N/mm ²	$\sigma_{a24} = 40$	N/mm ²
$\sigma_{aq14} = 25$	N/mm ²	$\sigma_{aq24} = 41$	N/mm ²
$N_{f14} = 6.432 \times 10^{10}$	çevrim	$N_{f24} = 1.696 \times 10^{10}$	çevrim
$N_{f14Ni} = 3.312 \times 10^{15}$	çevrim	$N_{f24Ni} = 1.08 \times 10^{15}$	çevrim

5.1.5 V. Vites 4x2 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b15} = 151290$	N.mm	$M_{b25} = 813184$	N.mm
$F_{t15} = 6289$	N	$F_{t25} = 8720$	N
$\sigma_{b15} = 38$	N/mm ²	$\sigma_{b25} = 62$	N/mm ²
$\sigma_{m15} = 19$	N/mm ²	$\sigma_{m25} = 31$	N/mm ²
$\sigma_{a15} = 19$	N/mm ²	$\sigma_{a25} = 31$	N/mm ²
$\sigma_{aq15} = 19$	N/mm ²	$\sigma_{aq25} = 32$	N/mm ²
$N_{f15} = 2.336 \times 10^{11}$	çevrim	$N_{f25} = 6.985 \times 10^{10}$	çevrim
$N_{f15Ni} = 2.62 \times 10^{16}$	çevrim	$N_{f25Ni} = 1.14 \times 10^{16}$	çevrim

5.1.6 I. Vites 4x4 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b16} = 773212$	N.mm	$M_{b26} = 4156014$	N.mm
$F_{t16} = 32143$	N	$F_{t26} = 44569$	N
$\sigma_{b16} = 195$	N/mm ²	$\sigma_{b26} = 317$	N/mm ²
$\sigma_{m16} = 97$	N/mm ²	$\sigma_{m26} = 158$	N/mm ²
$\sigma_{a16} = 97$	N/mm ²	$\sigma_{a26} = 158$	N/mm ²
$\sigma_{aq16} = 109$	N/mm ²	$\sigma_{aq26} = 191$	N/mm ²
$N_{f16} = 3.483 \times 10^7$	çevrim	$N_{f26} = 3.589 \times 10^6$	çevrim
$N_{f16Ni} = 1.916 \times 10^{10}$	çevrim	$N_{f26Ni} = 8.259 \times 10^8$	çevrim

5.1.7 II. Vites 4x4 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b17} = 421425$	N.mm	$M_{b27} = 2265157$	N.mm
$F_{t17} = 17519$	N	$F_{t27} = 24291$	N
$\sigma_{b17} = 106$	N/mm ²	$\sigma_{b27} = 173$	N/mm ²
$\sigma_{m17} = 53$	N/mm ²	$\sigma_{m27} = 86$	N/mm ²
$\sigma_{a17} = 53$	N/mm ²	$\sigma_{a27} = 86$	N/mm ²
$\sigma_{aq17} = 56$	N/mm ²	$\sigma_{aq27} = 95$	N/mm ²
$N_{f17} = 1.015 \times 10^9$	çevrim	$N_{f27} = 1.693 \times 10^8$	çevrim
$N_{f17Ni} = 4.271 \times 10^{12}$	çevrim	$N_{f27Ni} = 5.047 \times 10^{11}$	çevrim

5.1.8 III. Vites 4x4 Durumu

Mahruti		Ayna	
$M_{b18} = 280549$	N.mm	$M_{b28} = 1507950$	N.mm
$F_{t18} = 11663$	N	$F_{t28} = 16171$	N
$\sigma_{b18} = 71$	N/mm ²	$\sigma_{b28} = 115$	N/mm ²
$\sigma_{m18} = 35$	N/mm ²	$\sigma_{m28} = 57$	N/mm ²
$\sigma_{a18} = 35$	N/mm ²	$\sigma_{a28} = 57$	N/mm ²
$\sigma_{aq18} = 37$	N/mm ²	$\sigma_{aq28} = 61$	N/mm ²
$N_{f18} = 9.025 \times 10^9$	çevrim	$N_{f28} = 1.94 \times 10^9$	çevrim
$N_{f18Ni} = 1.421 \times 10^{14}$	çevrim	$N_{f28Ni} = 2.924 \times 10^{13}$	çevrim

5.1.9 Arka Mahruti Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş1} := \frac{1}{\frac{C_1}{\sigma_{aq11}} + \frac{C_2}{\sigma_{aq12}} + \frac{C_3}{\sigma_{aq13}} + \frac{C_4}{\sigma_{aq14}} + \frac{C_5}{\sigma_{aq15}} + \frac{C_6}{\sigma_{aq16}} + \frac{C_7}{\sigma_{aq17}} + \frac{C_8}{\sigma_{aq18}}}$$

$$\sigma_{eş1} = 38 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş1} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1}}{m_0}\right)}} \quad N_{feş1} = 7.123 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feş1Ni} := \left[\frac{\sigma_{eş1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f1Ni}}{m_0} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9k_{f1Ni}}{m_0}\right)}} \quad N_{feş1Ni} = 9.72 \times 10^{13} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eş1} := N_{feş1} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş1} = 3.239 \times 10^6 \quad \text{km}$$

$$L_{eşNi} := N_{feş1Ni} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşNi} = 4.42 \times 10^{10} \quad \text{km}$$

5.1.10 Arka Ayna Dişlisi İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{eş2} := \frac{1}{\frac{C_1}{\sigma_{aq21}} + \frac{C_2}{\sigma_{aq22}} + \frac{C_3}{\sigma_{aq23}} + \frac{C_4}{\sigma_{aq24}} + \frac{C_5}{\sigma_{aq25}} + \frac{C_6}{\sigma_{aq26}} + \frac{C_7}{\sigma_{aq27}} + \frac{C_8}{\sigma_{aq28}}}$$

$$\sigma_{eş2} = 64 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş2} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 k_{f2}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş2} = 1.492 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

$$N_{feş2Ni} := \left[\frac{\sigma_{eş2}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{f2Ni}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 k_{f2Ni}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş2Ni} = 1.889 \times 10^{13} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eş2} := N_{feş2} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş2} = 3.646 \times 10^6 \quad \text{km}$$

$$L_{eş2Ni} := N_{feş2Ni} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş2Ni} = 4.616 \times 10^{10} \quad \text{km}$$

5.2 Arka Mahruti Milinin Mukavemet ve Ömür Hesabı

5.2.1 I. Vites 4x2 Durumu

$\eta_v := 0.9$	toplam verim
$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \cdot \eta_v$	$M_{b11} = 769365$ N.mm
$d_{m1} := 48.11$ mm	bölüm dairesi çapı
$\beta_1 := 50 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	eğim açısı (50 °)
$\alpha_0 := 21.25 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	basınç açısı (21.25 °)
$\gamma_1 := 10.54 \cdot \frac{\pi}{180}$ rad	mahruti koni yarı açısı (10.54 °)
$l_1 := 89.0$ mm	$l_2 := 35.7$ mm

$\sigma_u := 930$ N/mm ²	$m_{mn} := 3.866$ mm
-------------------------------------	----------------------

$F_{t11} := \frac{2 \cdot M_{b11}}{d_{m1}}$	$F_{t11} = 31984$ N	Ft kuvveti x- ekseni üzerindedir.
---	---------------------	-----------------------------------

$$F_a := F_{t11} \cdot \left(\frac{\tan(\alpha_0) \cdot \sin(\gamma_1)}{\cos(\beta_1)} + \tan(\beta_1) \cdot \cos(\gamma_1) \right)$$

$F_a = 41013$ N	Fa kuvveti z- ekseni üzerindedir.
-----------------	-----------------------------------

$$F_r := F_{t11} \cdot \left(\frac{\tan(\alpha_0) \cdot \cos(\gamma_1)}{\cos(\beta_1)} - \tan(\beta_1) \cdot \sin(\gamma_1) \right)$$

$F_r = 12051$ N	Fr kuvveti y- ekseni üzerindedir.
-----------------	-----------------------------------

$$\sum M_x, A = 0$$

$$B_r := \frac{F_r \cdot (l_1 + l_2) - F_a \cdot \frac{d_{m1}}{2}}{l_1}$$

$$\sum F_y = 0$$

$B_r = 5800$	N
--------------	---

$$A_r := F_r - B_r \quad A_r = 6251 \quad N$$

$$\Sigma M_z, A=0$$

$$\Sigma F_x=0$$

$$B_t := \frac{F_{t11} \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} \quad B_t = 44813 \quad N$$

$$A_t := B_t - F_{t11} \quad A_t = 12829 \quad N$$

Kritik noktalar o,p,r, ve s noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$M_{xo} := A_r \cdot l_1 \quad M_{xo} = 556350 \quad Nmm$$

$$M_{zo} := A_t \cdot l_1 \quad M_{zo} = 1141814 \quad Nmm$$

$$M_{toto} := \sqrt{M_{xo}^2 + M_{zo}^2} \quad M_{toto} = 1270143 \quad Nmm \quad \text{"o" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{xp} := A_r \cdot 11.1 \quad M_{xp} = 69387 \quad Nmm$$

$$M_{zp} := A_t \cdot 11.1 \quad M_{zp} = 142406 \quad Nmm$$

$$M_{totp} := \sqrt{M_{xp}^2 + M_{zp}^2} \quad M_{totp} = 158411 \quad Nmm \quad \text{"p" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{xr} := A_r \cdot 66.3 \quad M_{xr} = 414450 \quad Nmm$$

$$M_{zr} := A_t \cdot 66.3 \quad M_{zr} = 850587 \quad Nmm$$

$$M_{totr} := \sqrt{M_{xr}^2 + M_{zr}^2} \quad M_{totr} = 946185 \quad Nmm \quad \text{"r" noktasındaki bileşke moment}$$

$$M_{xs} := A_r \cdot l_1 + (A_r + B_r) \cdot 14.3 \quad M_{xs} = 728677 \quad Nmm$$

$$M_{zs} := A_t \cdot l_1 - (B_t - A_t) \cdot 14.3 \quad M_{zs} = 684449 \quad Nmm$$

$$M_{tots} := \sqrt{M_{xs}^2 + M_{zs}^2} \quad M_{tots} = 999720 \quad Nmm \quad \text{"s" noktasındaki bileşke moment}$$

$$\sigma_o := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.94^3} \right) \cdot M_{toto} \quad \sigma_o = 303 \quad N/mm^2$$

$$\tau_o := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.94^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_o = 92 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mo1} := \sqrt{3 \cdot \tau_o^2} \quad \sigma_{mo1} = 159 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao1} := \sqrt{\sigma_o^2} \quad \sigma_{ao1} = 303 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo1} := \frac{\sigma_{ao1}}{1 - \frac{\sigma_{mo1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqo1} = 366 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

$$\sigma_p := \left(\frac{32}{\pi \cdot 28.6^3} \right) \cdot M_{totp} \quad \sigma_p = 69 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot 28.6^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_p = 167 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mp1} := \sqrt{3 \cdot \tau_p^2} \quad \sigma_{mp1} = 290 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ap1} := \sqrt{\sigma_p^2} \quad \sigma_{ap1} = 69 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqp1} := \frac{\sigma_{ap1}}{1 - \frac{\sigma_{mp1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqp1} = 100 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

$$\sigma_r := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.3^3} \right) \cdot M_{totr} \quad \sigma_r = 239 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_r := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.3^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_r = 97 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{mr1} := \sqrt{3 \cdot \tau_r^2} \quad \sigma_{mr1} = 168 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ar1} := \sqrt{\sigma_r^2} \quad \sigma_{ar1} = 239 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqr1} := \frac{\sigma_{ar1}}{1 - \frac{\sigma_{mr1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqr1} = 292 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

$$\sigma_s := \left(\frac{32}{\pi \cdot 34.94^3} \right) \cdot M_{tots} \quad \sigma_s = 239 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot 34.94^3} \right) \cdot M_{b11} \quad \tau_s = 92 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ms1} := \sqrt{3 \cdot \tau_s^2} \quad \sigma_{ms1} = 159 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{as1} := \sqrt{\sigma_s^2} \quad \sigma_{as1} = 239 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqs1} := \frac{\sigma_{as1}}{1 - \frac{\sigma_{ms1}}{\sigma_u}} \quad \sigma_{aqs1} = 288 \quad \text{(eşdeğer tam değişken gerilme genliği)}$$

Çentik faktörü ve diğer gerilme ye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım;

$$d_p := 28.6 \quad \text{mm} \quad d_r := 34.3 \quad \text{mm} \quad d_s := 34.94 \quad \text{mm}$$

$$\frac{d_r}{d_p} = 1.2 \quad r_p := 0.5 \quad \frac{r_p}{d_p} = 0.017$$

$$K_{tp} := 2.6 \quad K_t \text{ değerleri şekil ek 2.3'ten alınmıştır.}$$

$$q_p := 0.77 \quad q_r := 0.82 \quad \text{"q" değerleri şekil ek 2.5 (a)'dan alınmıştır.}$$

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1) \quad k_{fp} = 2.23$$

$$k_{fo} := 1$$

$$k_{fr} := 1$$

'r' noktası ile 's' noktası arasındaki çap oranı 1'e çok yakın olduğundan $k_{fr}=1$ alındı.

$$r := 0.8 \quad \text{mm} \quad \text{diş dibi radiusu,} \quad \frac{r}{m_{mn}} = 0.21$$

$$k_{fs} := 1 \quad \text{şekil ek 2.6'dan alınmıştır.}$$

$$m_d := 0.9 \quad \text{çizelge 1.1'den alınmıştır.}$$

$$m_s := 0.9 \quad \text{yüzey faktörü şekil ek 2.2'den alınmıştır.}$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma dayanımı sınırı faktörü}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \quad m_o = 0.41$$

$$\sigma_{eo} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fo}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{eo} = 377 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ep} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{ep} = 169 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{er} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{er} = 377 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{es} := \frac{m_d \cdot m_s \cdot m_e}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \sigma_{es} = 377 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\eta_o := \frac{\sigma_{eo}}{\sigma_{aqo1}} \quad \eta_o = 1.03$$

$$\eta_p := \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{aqp1}} \quad \eta_p = 1.68$$

$$\eta_r := \frac{\sigma_{er}}{\sigma_{aqr1}} \quad \eta_r = 1.29$$

$$\eta_s := \frac{\sigma_{es}}{\sigma_{aqs1}} \quad \eta_s = 1.31$$

En kritik nokta olan "o" noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left[\frac{\sigma_{aqo1}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log\left(\frac{0.9 \cdot k_{fo}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 4.043 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

5.2.2 II. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b21} = 419328 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t21} = 17432 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo2} = 87 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao2} = 165 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo2} = 182 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 4.376 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

5.2.3 III. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b31} = 279153 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t31} = 11605 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo3} = 58 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao3} = 110 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo3} = 117 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 3.636 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

5.2.4 IV. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b41} = 193500 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t41} = 8044 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo4} = 40 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao4} = 76 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo4} = 80 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f41} = 1.756 \times 10^{13} \quad \text{çevrim}$$

5.2.5 V. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b51} = 151290 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t51} = 6289 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo5} = 31 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao5} = 60 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo5} = 62 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f51} = 2.284 \times 10^{14} \quad \text{çevrim}$$

5.2.6 I. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b61} = 773212 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t61} = 32143 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo6} = 160 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao6} = 305 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo6} = 368 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f61} = 3.806 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

5.2.7 II. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b71} = 421425 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t71} = 17519 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo7} = 87 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao7} = 166 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo7} = 183 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f71} = 4.141 \times 10^9 \quad \text{çevrim}$$

5.2.8 III. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b81} = 280549 \quad \text{N.mm}$$

$$F_{t81} = 11663 \quad \text{N}$$

$$\sigma_{mo8} = 58 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{ao8} = 111 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{aqo8} = 118 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f81} = 3.447 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

5.2.9 Arka Mahruti Mili İçin Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\sigma_{e\text{şo}} := \frac{1}{\frac{C_1}{\sigma_{aqo1}} + \frac{C_2}{\sigma_{aqo2}} + \frac{C_3}{\sigma_{aqo3}} + \frac{C_4}{\sigma_{aqo4}} + \frac{C_5}{\sigma_{aqo5}} + \frac{C_6}{\sigma_{aqo6}} + \frac{C_7}{\sigma_{aqo7}} + \frac{C_8}{\sigma_{aqo8}}}$$

$$\sigma_{e\text{şo}} = 124 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{fe\text{şo}} := \left[\frac{\sigma_{e\text{şo}}}{0.822 \cdot \left(\frac{k_{fo}}{m_o} \right)^{0.863} \cdot \sigma_u} \right]^{\frac{-3.478}{\log \left(\frac{0.9 k_{fo}}{m_o} \right)}}$$

$$N_{fe\text{şo}} = 2.142 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m}$$

teker çapı

$$i := 5.375$$

diferansiyel çevrim oranı

$$L_{e\text{šo}} := N_{f\text{ešo}} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000}$$

$$L_{e\text{šo}} = 97383815 \quad \text{km}$$



6. KARDAN VE ÖN-ARKA AKS MİLLERİ İÇİN MUKAVEMET VE ÖMÜR HESAPLARI

6.1 Kardan Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı

6.1.1 I. Vites 4x2 Durumu

Kardan mili (şaft), kayıcı mil, kayıcı çatal, tüp çatal ve borudan oluşmaktadır. Araçta dört adet kardan mili olup, değiştirilebilirlik özelliğini kazandırmak için tüm kardan milleri aynıdır. Bu kardan millerinden en fazla torca maruz kalanı motor ile transfer arasındaki mildir.

$$M_{b11} := 205000 \cdot 4.17 \quad M_{b11} = 854850 \quad \text{N.mm}$$

$$\delta_{\max} := 17 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \text{rad} \quad \text{bağlı miller arasındaki max. açısı (17 °)}$$

$$M_{\max} := \frac{M_{b11}}{\cos(\delta_{\max})} \quad M_{\max} = 893910 \quad \text{N.mm}$$

$$M_{\min} := M_{b11} \cdot \cos(\delta_{\max}) \quad M_{\min} = 817497 \quad \text{N.mm}$$

$$M_{\text{alt}} := \frac{M_{\max} - M_{\min}}{2} \quad M_{\text{alt}} = 38206 \quad \text{N.mm}$$

$$M_m := \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2} \quad M_m = 855703 \quad \text{N.mm}$$

$$\sigma_{u1} := 1080 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{Kayıcı mil (SAE 4140)}$$

$$\sigma_{y1} := 765 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{u2} := 540 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{Kayıcı çatal (SAE 1137)}$$

$$\sigma_{y2} := 285 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{u3} := 475 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{Boru (St 44.2 BK)}$$

$$\sigma_{y3} := 255 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{u1} := 0.8 \cdot \sigma_{u1} \quad \tau_{u1} = 864 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{u2} := 0.8 \cdot \sigma_{u2} \quad \tau_{u2} = 432 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{u3} := 0.8 \cdot \sigma_{u3} \quad \tau_{u3} = 380 \quad \text{N/mm}^2$$

Kritik noktalar p, r, s, t ve n noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$d_p := 34.85 \quad \text{mm}$$

Kayıcı mil frezeli ucunda "p" noktası için hesaplama yapılırken "d_p" çapı olarak diş üstü çapı alınmıştır. Bunun nedeni bu tip sistemler birbirleri ile beraber çalıştıklarından erkek ve dişi dişler boşlukları tamamlamaktadır. Dolayısıyla hesaplamada kayıcı mil için diş üstü çapı dikkate alınmış ve çentik faktörü $k_{fp}=1$ alınmıştır.

$$d_{riç} := 32.45 \quad \text{mm}$$

Kayıcı çatalda "r" noktası için hesaplama yapılırken "d_{riç}" çapı olarak frezeli kısmın diş üstü ve diş dibi çaplarının ortalaması alınmıştır. Kayıcı milin frezeli ucu, kayıcı çatalın frezeli boşluğunu uzunluk olarak tam doldurmadığından kayıcı çatal için $k_{ff}=1.45$ çentik faktörü alınmıştır.

$$d_{rdış} := 42.86 \quad \text{mm}$$

$$d_s := 29.4 \quad \text{mm}$$

$$d_{tiç} := 45 \quad \text{mm}$$

$$d_{tdış} := 50 \quad \text{mm}$$

$$d_{niç} := 45 \quad \text{mm}$$

$$d_{ndış} := 53.5 \quad \text{mm}$$

$$\tau_{ap} := \frac{16 \cdot M_{alt}}{\pi \cdot d_p^3} \quad \tau_{ap} = 5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{mp} := \frac{16 \cdot M_m}{\pi \cdot d_p^3} \quad \tau_{mp} = 103 \quad \text{N/mm}^2$$

$\tau_{aqp} := \frac{\tau_{ap}}{1 - \frac{\tau_{mp}}{\tau_{u1}}}$	$\tau_{aqp} = 5$	N/mm^2	eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği
$\tau_{ar} := \frac{16 \cdot d_{rdış} \cdot M_{alt}}{\pi \cdot (d_{rdış}^4 - d_{riç}^4)}$	$\tau_{ar} = 4$	N/mm^2	
$\tau_{mr} := \frac{16 \cdot d_{rdış} \cdot M_m}{\pi \cdot (d_{rdış}^4 - d_{riç}^4)}$	$\tau_{mr} = 82$	N/mm^2	
$\tau_{aqr} := \frac{\tau_{ar}}{1 - \frac{\tau_{mr}}{\tau_{u2}}}$	$\tau_{aqr} = 5$	N/mm^2	eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği
$\tau_{as} := \frac{16 \cdot M_{alt}}{\pi \cdot d_s^3}$	$\tau_{as} = 8$	N/mm^2	
$\tau_{ms} := \frac{16 \cdot M_m}{\pi \cdot d_s^3}$	$\tau_{ms} = 171$	N/mm^2	
$\tau_{aqs} := \frac{\tau_{as}}{1 - \frac{\tau_{ms}}{\tau_{u1}}}$	$\tau_{aqs} = 10$	N/mm^2	eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği
$\tau_{at} := \frac{16 \cdot d_{tdış} \cdot M_{alt}}{\pi \cdot (d_{tdış}^4 - d_{tiç}^4)}$	$\tau_{at} = 5$	N/mm^2	
$\tau_{mt} := \frac{16 \cdot d_{tdış} \cdot M_m}{\pi \cdot (d_{tdış}^4 - d_{tiç}^4)}$	$\tau_{mt} = 101$	N/mm^2	

$$\tau_{aqt} := \frac{\tau_{at}}{1 - \frac{\tau_{mt}}{\tau_{u3}}} \quad \tau_{aqt} = 6 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

Boru ile kayıcı mil kaynak bağlantısı ;

$$\tau_{an1} := \frac{16 \cdot d_{ndış} \cdot M_{alt}}{\pi \cdot (d_{ndış}^4 - d_{niç}^4)} \quad \tau_{an1} = 3 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{mn1} := \frac{16 \cdot d_{ndış} \cdot M_m}{\pi \cdot (d_{ndış}^4 - d_{niç}^4)} \quad \tau_{mn1} = 57 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqn1} := \frac{\tau_{an1}}{1 - \frac{\tau_{mn1}}{\tau_{u3}}} \quad \tau_{aqn1} = 3 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

Çentik faktörü ve diğer gerilmeye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım.

$$d_s := 29.4 \quad \text{mm} \quad r_s := 5.5$$

$$\frac{50}{d_s} = 1.7 \quad \frac{r_s}{d_s} = 0.187$$

$$K_{ts} := 1.25 \quad K_{ts} \text{ değerleri şekil ek 2.4'den alınmıştır.}$$

$$q_s := 0.98 \quad 'q' \text{ değerleri şekil ek 2.5 (b)'den alınmıştır.}$$

$$k_{fp} := 1$$

$$k_{fr} := 1.45 \quad \text{kamalı mil çentik faktörü (Akkurt ve Kent, 1975).}$$

$$k_{fs} := 1 + q_s \cdot (K_{ts} - 1) \quad k_{fs} = 1.245$$

$$k_{ft} := 1$$

$$k_{fn} := 2 \quad \text{kaynak bağlantısı çentik faktörü (Akkurt ve Kent, 1975).}$$

"p" noktası için;

$$m_d := 0.9 \quad \text{çizelge 1.1'den alınmıştır}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır}$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma sınırı faktörü}$$

$$m_t := 0.58 \quad \text{burulma yük faktörü}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.19$$

$$\tau_{ep} := \frac{m_o}{k_{fp}} \cdot \sigma_{u1} \quad \tau_{ep} = 203 \quad \text{N/mm}^2$$

"r" noktası için;

$$m_d := 0.9 \quad \text{çizelge 1.1'den alınmıştır}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır}$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma sınırı faktörü}$$

$$m_t := 0.58 \quad \text{burulma yük faktörü}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.19$$

$$\tau_{er} := \frac{m_o}{k_{fr}} \cdot \sigma_{u2} \quad \tau_{er} = 70 \quad \text{N/mm}^2$$

"s" noktası için;

$$m_d := 0.9 \quad \text{boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır}$$

$$m_s := 0.9 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır}$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma sınırı faktörü}$$

$$m_t := 0.58 \quad \text{burulma yük faktörü}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.23$$

$$\tau_{es} := \frac{m_o}{k_{fs}} \cdot \sigma_{u1} \quad \tau_{es} = 204 \quad \text{N/mm}^2$$

"t" noktası için;

$m_d := 0.85$ boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır

$m_s := 0.7$ yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır

$m_e := 0.5$ eğilme yorulma sınırı faktörü

$m_t := 0.58$ burulma yük faktörü

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.17$$

$$\tau_{et} := \frac{m_o}{k_{ft}} \cdot \sigma_{u3} \quad \tau_{et} = 82 \quad \text{N/mm}^2$$

"n" noktası için;

$m_d := 0.85$ boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır

$m_s := 0.77$ yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır

$m_e := 0.5$ eğilme yorulma sınırı faktörü

$m_t := 0.58$ burulma yük faktörü

$K_k := 0.8$ kaynak kalitesi faktörü

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.1898$$

$$\tau_{en1} := K_k \cdot \left(\frac{m_o}{k_{fn}} \cdot \sigma_{u3} \right) \quad \tau_{en1} = 36 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\eta_p := \frac{\tau_{ep}}{\tau_{aqp}} \quad \eta_p = 39$$

$$\eta_r := \frac{\tau_{er}}{\tau_{aqr}} \quad \eta_r = 15$$

$$\eta_s := \frac{\tau_{es}}{\tau_{aqs}} \quad \eta_s = 21$$

$$\eta_t := \frac{\tau_{et}}{\tau_{aqt}} \quad \eta_t = 13$$

$$\eta_n := \frac{\tau_{en1}}{\tau_{aqn1}} \quad \eta_n = 12$$

En kritik olan η_n noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$m_o = 0.1898$$

$$N_{f11} := \left(\frac{m_o \cdot \tau_{aqn1}}{0.648 \cdot k_{fn} \cdot \tau_{u3}} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 k_{fn}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 1.04 \times 10^{10}$$

6.1.2 II. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b21} = 465920 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mn2} = 31.1 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{an2} = 1.4 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{an2} = 1.4 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 1.036 \times 10^{10} \quad \text{çevrim}$$

6.1.3 III. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b31} = 310170 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mn3} = 20.7 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{an3} = 0.9 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqn3} = 1 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 4.719 \times 10^{11} \quad \text{çevrim}$$

6.1.4 IV. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b41} = 215000 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mn4} = 14 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{an4} = 0.6 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqn4} = 0.7 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f41} = 1.747 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

6.1.5 V. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b51} = 168100 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mn5} = 11 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{an5} = 0.5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqn5} = 0.5 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f51} = 4.161 \times 10^{12} \quad \text{çevrim}$$

6.1.6 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\tau_{eşn} := \frac{1}{\frac{C_1 + C_6}{\tau_{aqn1}} + \frac{C_2 + C_7}{\tau_{aqn2}} + \frac{C_3 + C_8}{\tau_{aqn3}} + \frac{C_4}{\tau_{aqn4}} + \frac{C_5}{\tau_{aqn5}}}$$

$$\tau_{eşn} = 1.03 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feşn} := \left(\frac{m_o \cdot \tau_{eşn}}{0.648 \cdot k_{fn} \cdot \tau_{u3}} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 \cdot k_{fn}}{m_o}\right)}} \quad N_{feşn} = 3.952 \times 10^{11}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$i := 5.375 \quad \text{diferansiyel çevrim oranı}$$

$$L_{eşn} := \frac{1}{2} \cdot N_{feşn} \cdot \pi \cdot \frac{d_t}{i} \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eşn} = 8.985 \times 10^7 \quad \text{km}$$

6.2 Ön Aks Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı

6.2.1 I. Vites 4x4 Durumu

$$\eta_v := 0.9$$

$$M_b := 205000 \cdot 4.17 \cdot 5.375 \cdot \eta_v \cdot \frac{2.01}{2} \cdot \frac{1}{2} \quad M_b = 2078007 \quad \text{N.mm}$$

Aracın tekerleğinin yukarıda hesaplanan tork değerini almadan patinaja düşeceği ve sonuçta ön aksın hiçbir zaman 1. viteste bu tork değerini yaşamayacağı düşünülerek tork değeri aşağıdaki yöntemle hesaplanmıştır.

$$F_{\text{tot}} := 30000 \quad \text{N} \quad \text{Aracın toplam max. yüklü ağırlığı}$$

$$F_{\text{ön}} := \frac{1}{2} \cdot F_{\text{tot}} \cdot \frac{2}{5} \quad \text{Aracın ön tekerleğine gelen max. yüklü ağırlık}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{Tekerlek çapı}$$

$$\mu := 0.55 \quad \text{Yol ile teker arasındaki sürtünme katsayısı}$$

$$M_{b1} := 1000 \cdot \frac{d_t}{2} \cdot \mu \cdot F_{\text{ön}} \quad M_{b1} = 1283700 \quad \text{Nmm}$$

Burada M_{b1} aracın patinaja düşmeden taşıyabileceği max.tork miktarıdır.

$$M_{\text{max}} := M_{b1}$$

$$\sigma_u := 1080 \quad \text{N/mm}^2 \quad \sigma_y := 765 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_u := 0.8 \cdot \sigma_u \quad \tau_u = 864 \quad \text{N/mm}^2$$

Kritik noktalar p, r, s ve t noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$d_p := 35.10 \quad \text{mm}$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_p^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_p = 151 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{\text{mp}} := \frac{\tau_p}{2} \quad \tau_{\text{mp}} = 76 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ap} := \frac{\tau_p}{2} \quad \tau_{ap} = 76 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqp} := \frac{\tau_{ap}}{1 - \frac{\tau_{mp}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqp} = 83 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

$$d_r := 30.25 \quad \text{mm}$$

$$\tau_r := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_r^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_r = 236 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{mr} := \frac{\tau_r}{2} \quad \tau_{mr} = 118 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ar} := \frac{\tau_r}{2} \quad \tau_{ar} = 118 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqr} := \frac{\tau_{ar}}{1 - \frac{\tau_{mr}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqr} = 137 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

$$d_s := 28.5 \quad \text{mm}$$

Ön aksın frezeli ucunda bulunan "s" noktası için hesaplama yapılırken d_s çapı olarak dışüstü çapı alınmıştır. Bunun nedeni bu tip sistemler birbirleri ile beraber çalıştıklarından erkek ve dişi dişler boşlukları tamamlamaktadır. Dolayısıyla hesaplamalar diş üstü çapı dikkate alınarak yapılmıştır.

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_s^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_s = 282 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ms1} := \frac{\tau_s}{2} \quad \tau_{ms1} = 141 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{as1} := \frac{\tau_s}{2} \quad \tau_{as1} = 141 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqs1} := \frac{\tau_{as1}}{1 - \frac{\tau_{ms1}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqs1} = 169 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

$$d_t := 32 \quad \text{mm}$$

$$\tau_t := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_t^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_t = 200 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{mt} := \frac{\tau_t}{2} \quad \tau_{mt} = 100 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{at} := \frac{\tau_t}{2} \quad \tau_{at} = 100 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqt} := \frac{\tau_{at}}{1 - \frac{\tau_{mt}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqt} = 113 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

Çentik faktörü ve diğer gerilme ye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım

$$\frac{61}{d_p} = 1.74$$

$$\frac{32}{d_r} = 1.06$$

$$\frac{35.10}{d_t} = 1.1$$

$$r_p := 4$$

$$r_r := 3$$

$$r_t := 5$$

$$\frac{r_p}{d_p} = 0.114$$

$$\frac{r_r}{d_r} = 0.099$$

$$\frac{r_t}{d_t} = 0.156$$

$$K_{tp} := 1.4$$

$$K_{tr} := 1.2$$

$$K_{tt} := 1.1$$

K_{tp} değerleri şekil ek 2.4'ten alınmıştır.

$$q_p := 0.98$$

$$q_r := 0.98$$

$$q_t := 0.98$$

"q" değerleri şekil ek 2.5 (b)'den alınmıştır.

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1) \quad k_{fp} = 1.39$$

$$k_{fr} := 1 + q_r \cdot (K_{tr} - 1) \quad k_{fr} = 1.2$$

$$k_{ft} := 1 + q_t \cdot (K_{tt} - 1) \quad k_{ft} = 1.1$$

$$k_{fs} := 1$$

$$m_d := 0.9 \quad \text{boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır}$$

$$m_s := 0.72 \quad \text{yüzey faktörü, şekil ek 2.2'den alınmıştır}$$

$$m_e := 0.5 \quad \text{eğilme yorulma dayanımı sınırı faktörü}$$

$$m_t := 0.58 \quad \text{burulma yük faktörü}$$

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.19$$

$$\tau_{ep} := \frac{m_o}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{ep} = 146 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{er} := \frac{m_o}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{er} = 170 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{es} := \frac{m_o}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{es} = 203 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{et} := \frac{m_o}{k_{ft}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{et} = 185 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\eta_p := \frac{\tau_{ep}}{\tau_{aqp}} \quad \eta_p = 1.76$$

$$\eta_r := \frac{\tau_{er}}{\tau_{aqr}} \quad \eta_r = 1.24$$

$$\eta_s := \frac{\tau_{es}}{\tau_{aqs1}} \quad \eta_s = 1.202$$

$$\eta_t := \frac{\tau_{et}}{\tau_{aqt}} \quad \eta_t = 1.64$$

En kritik nokta olan "s" noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left(\frac{m_b \cdot \tau_{aqs1}}{0.648 \cdot k_{fs} \cdot \tau_u} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 \cdot k_{fs}}{m_b}\right)}} \quad N_{f11} = 2.58 \times 10^6$$

6.2.2 II. Vites 4x4 Durumu

$$\begin{aligned} M_{b2} &= 1132579 && \text{N.mm} \\ \tau_{ms2} &= 125 && \text{N/mm}^2 \\ \tau_{as2} &= 125 && \text{N/mm}^2 \\ \tau_{aqs2} &= 146 && \text{N/mm}^2 \\ N_{f21} &= 5.522 \times 10^6 && \text{çevrim} \end{aligned}$$

6.2.3 III. Vites 4x4 Durumu

$$\begin{aligned} M_{b3} &= 753975 && \text{N.mm} \\ \tau_{ms3} &= 83 && \text{N/mm}^2 \\ \tau_{as3} &= 83 && \text{N/mm}^2 \\ \tau_{aqs3} &= 92 && \text{N/mm}^2 \\ N_{f31} &= 5.932 \times 10^7 && \text{çevrim} \end{aligned}$$

6.2.4 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\tau_{eş} := \frac{1}{\frac{C'_6}{\tau_{aqs1}} + \frac{C'_7}{\tau_{aqs2}} + \frac{C'_8}{\tau_{aqs3}}} \quad \tau_{eş} = 142 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş} := \left(\frac{m_o \cdot \tau_{eş}}{0.648 \cdot k_{fs} \cdot \tau_u} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 k_{fs}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş} = 6.287 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$L_{eş} := N_{feş} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş} = 15367 \quad \text{km}$$

Araç, ömrünün %8'ini ($C_g=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür şöyle olur;

$$L_{eşeff} := \frac{L_{eş}}{0.08} \quad L_{eşeff} = 192089 \quad \text{km}$$

6.3 Arka Aks Mili Mukavemet ve Ömür Hesabı

6.3.1 I. Vites 4x2 Durumu

$$\eta_v := 0.9 \quad \text{toplam verim}$$

$$M_{b1} := 205000 \cdot 4.17 \cdot 5.375 \cdot \eta_v \cdot \frac{1}{2} \quad M_{b1} = 2067668 \quad \text{N.mm}$$

$$M_{\max} := M_{b1} \quad M_{b1} = 2067668 \quad \text{N.mm}$$

$$\sigma_u := 1080 \quad \text{N/mm}^2 \quad \sigma_y := 765 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_u := 0.8 \cdot \sigma_u \quad \text{N/mm}^2 \quad \tau_u = 864 \quad \text{N/mm}^2$$

Kritik noktalar p, r, ve s noktaları olarak indislenmiştir. Noktalara ait hesaplamalar aşağıdadır.

$$d_p := 30 \quad \text{mm}$$

$$\tau_p := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_p^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_p = 390 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{mp1} := \frac{\tau_p}{2} \quad \tau_{mp1} = 195 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ap1} := \frac{\tau_p}{2} \quad \tau_{ap1} = 195 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqp1} := \frac{\tau_{ap1}}{1 - \frac{\tau_{mp1}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqp1} = 252 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

$$d_r := 30 \quad \text{mm}$$

$$\tau_r := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_r^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_r = 390 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{mr} := \frac{\tau_r}{2} \quad \tau_{mr} = 195 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ar} := \frac{\tau_r}{2} \quad \tau_{ar} = 195 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqr} := \frac{\tau_{ar}}{1 - \frac{\tau_{mr}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqr} = 252 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

$$d_s := 31.75 \quad \text{mm}$$

Arka aks milinin frezeli ucunda bulunan "s" noktası için hesaplama yapılırken d_s çapı olarak diş üstü çapı alınmıştır. Bunun nedeni bu tip sistemler birbirleri ile beraber çalıştıklarından erkek ve dişi dişler boşlukları tamamlamaktadır. Dolayısıyla hesaplamalar diş üstü çapı dikkate alınarak yapılmıştır.

$$\tau_s := \left(\frac{16}{\pi \cdot d_s^3} \right) \cdot M_{b1} \quad \tau_s = 329 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{max. burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{ms} := \frac{\tau_s}{2} \quad \tau_{ms} = 165 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{ortalama burulma gerilmesi}$$

$$\tau_{as} := \frac{\tau_s}{2} \quad \tau_{as} = 165 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{burulma gerilmesi genliği}$$

$$\tau_{aqs1} := \frac{\tau_{as}}{1 - \frac{\tau_{ms}}{\tau_u}} \quad \tau_{aqs1} = 203 \quad \text{N/mm}^2 \quad \text{eşdeğer tam değişken burulma gerilmesi genliği}$$

Çentik faktörü ve diğer gerilmeye etki eden faktörlere göre malzemenin yorulma dayanımı sınırını hesaplayalım

$$d_p := 30 \quad \text{mm} \quad d_r := 30 \quad \text{mm} \quad d_s := 31.75 \quad \text{mm}$$

$$\frac{73.50}{d_p} = 2.45$$

$$\frac{32}{d_r} = 1.07$$

$$r_p := 4$$

$$r_r := 100$$

$$\frac{r_p}{d_p} = 0.133$$

$$\frac{r_r}{d_r} = 3.333$$

$$K_{tp} := 1.4$$

$$K_{tr} := 1.1$$

K_{tp} değerleri Şekil ek 2.4'ten alınmıştır.

$$q_p := 0.98$$

$$q_r := 0.98$$

'q' değerleri Şekil ek 2.5 (b)' den alınmıştır.

$$k_{fp} := 1 + q_p \cdot (K_{tp} - 1)$$

$$k_{fp} = 1.39$$

$$k_{fr} := 1 + q_r \cdot (K_{tr} - 1)$$

$$k_{fr} = 1.1$$

$$k_{fs} := 1$$

$$m_d := 0.9$$

boyut faktörü, çizelge 1.1'den alınmıştır

$$m_s := 0.72$$

yüzey faktörü, Şekil ek 2.2'den alınmıştır

$$m_e := 0.5$$

eğilme yorulma dayanımı sınırı faktörü

$$m_t := 0.58$$

burulma yük faktörü

$$m_o := m_d \cdot m_e \cdot m_s \cdot m_t \quad m_o = 0.19$$

$$\tau_{ep} := \frac{m_o}{k_{fp}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{ep} = 146 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{er} := \frac{m_o}{k_{fr}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{er} = 185 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{es} := \frac{m_o}{k_{fs}} \cdot \sigma_u \quad \tau_{es} = 203 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\eta_p := \frac{\tau_{ep}}{\tau_{aqp1}} \quad \eta_p = 0.58$$

$$\eta_r := \frac{\tau_{er}}{\tau_{aqr}} \quad \eta_r = 0.73$$

$$\eta_s := \frac{\tau_{es}}{\tau_{aqs1}} \quad \eta_s = 1$$

En kritik nokta olan "p" noktasına göre ömür hesabı yapalım.

$$N_{f11} := \left(\frac{m_o \cdot \tau_{aqp1}}{0.648 \cdot k_{fp} \cdot \tau_u} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 \cdot k_{fp}}{m_o}\right)}} \quad N_{f11} = 1.048 \times 10^5$$

6.3.2 II. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b2} = 1126944 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp2} = 106 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap2} = 106 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp2} = 121 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f21} = 2.144 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

6.3.3 III. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b3} = 750224 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp3} = 71 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap3} = 71 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp3} = 77 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f31} = 1.389 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

6.3.4 IV. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b4} = 520031 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp4} = 49 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap4} = 49 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp4} = 52 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f41} = 7.043 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

6.3.5 V. Vites 4x2 Durumu

$$M_{b5} = 406592 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp5} = 38 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap5} = 38 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp5} = 40 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f51} = 2.052 \times 10^8 \quad \text{çevrim}$$

6.3.6 I. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b6} = 2078007 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp6} = 196 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap6} = 196 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp6} = 253 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f61} = 1.021 \times 10^5 \quad \text{çevrim}$$

6.3.7 II. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b7} = 1132579 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp7} = 107 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap7} = 107 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp7} = 122 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f71} = 2.094 \times 10^6 \quad \text{çevrim}$$

6.3.8 III. Vites 4x4 Durumu

$$M_{b8} = 753975 \quad \text{N.mm}$$

$$\tau_{mp8} = 71 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{ap8} = 71 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\tau_{aqp8} = 77 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{f81} = 1.358 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

6.3.9 Palmgren-Miner Metodu İle Eşdeğer Ömür Hesabı

$$\tau_{eş} := \frac{1}{\frac{C_1}{\tau_{aqp1}} + \frac{C_2}{\tau_{aqp2}} + \frac{C_3}{\tau_{aqp3}} + \frac{C_4}{\tau_{aqp4}} + \frac{C_5}{\tau_{aqp5}} + \frac{C_6}{\tau_{aqp6}} + \frac{C_7}{\tau_{aqp7}} + \frac{C_8}{\tau_{aqp8}}}$$

$$\tau_{eş} = 81 \quad \text{N/mm}^2$$

$$N_{feş} := \left(\frac{m_o \cdot \tau_{eş}}{0.648 \cdot k_{fp} \cdot \tau_u} \right)^{\frac{-3}{\log\left(\frac{0.72 \cdot k_{fp}}{m_o}\right)}} \quad N_{feş} = 1.111 \times 10^7 \quad \text{çevrim}$$

$$d_t := 0.778 \quad \text{m} \quad \text{teker çapı}$$

$$L_{eş} := N_{feş} \cdot \pi \cdot d_t \cdot \frac{1}{1000} \quad L_{eş} = 27166 \quad \text{km}$$

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Aracın aktarma elemanlarının mukavemet ve ömür hesaplamaları sonucunda tespit edilen eşdeğer ömür değerleri çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Aktarma elemanları eşdeğer ömür değerleri

Aktarma Sistemi	Aktarma Elemanı	$L_{eş}$ (km)	$L_{eşeff}$ (km)
Transfer	Daimi İştirak Dişlisi	676979	8.462×10^6
	Grup A Dişlisi	872914	1.091×10^7
	Grup B Dişlisi	58126	726577
	Seyyar Dişli	622731	7.784×10^6
	Daimi İştirak Mili	7.452×10^6	9.314×10^7
	Prizdirek Mili	1.12×10^8	1.4×10^9
	Kamalı Mil	1.273×10^6	1.592×10^7
Ön Diferansiyel	Ayna Dişlisi	15545	194315
	Mahruti Dişlisi	36282	453522
	Mahruti Mili	18606	232575
Arka Diferansiyel	Ayna Dişlisi	3.646×10^6	3.646×10^6
	Mahruti Dişlisi	3.239×10^6	3.239×10^6
	Mahruti Mili	9.738×10^7	9.738×10^7
Kardan Mili ve Akslar	Kardan Mili	8.985×10^7	8.985×10^7
	Ön Aks Mili	15367	192089
	Arka Aks Mili	27166	27166

Bu çizelgede $L_{eş}$, aktarma elemanlarının motorun en yüksek torku vermesi durumundaki eşdeğer ömür değerlerini göstermektedir. Bu sütunda, dişliler için T.J. Dolan ve E.I. Broghamer tarafından önerilen yöntemle göre hesapla bulunan eşdeğer ömür değerleri görülmektedir. Çizelge 7.2'de $L_{eşNi}$, dişlilerin Niemann tarafından önerilen çentik faktörüne göre hesapla bulunan ömür değerlerini göstermektedir. Her iki çizelgedeki $L_{eşeff}$ ve $L_{eşNieff}$ sütunlarında ise efektif (gerçek) ömür değerleri verilmektedir. Yapılan test sonucunda, aracın ömrünün %8'ini ($C_0=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 7.2 Dişlilerin Niemann çentik faktörüne göre eşdeğer ömür değerleri

Aktarma Sistemi	Aktarma Elemanı	$L_{eşNi}$ (km)	$L_{eşNieff}$ (km)
Transfer	Daimi İştirak Dişlisi	1.435×10^9	1.794×10^{10}
	Grup A Dişlisi	2.754×10^9	3.422×10^{10}
	Grup B Dişlisi	4.344×10^7	5.43×10^8
	Seyyar Dişli	8.835×10^8	1.104×10^{10}
Ön Diferansiyel	Ayna Dişlisi	5.068×10^6	6.335×10^7
	Mahruti Dişlisi	1.676×10^7	2.095×10^8
Arka Diferansiyel	Ayna Dişlisi	4.616×10^{10}	4.616×10^{10}
	Mahruti Dişlisi	4.42×10^{10}	4.42×10^{10}

Transfer ve diferansiyel dişlilerinin ömür hesaplamaları iki farklı kaynaktan tespit edilen çentik faktörlerine (k_f) göre yapılmıştır. Niemann şekil Ek 2.6'dan alınan çentik faktörlerine göre yapılan dişli eşdeğer ömür değerleri, Dolan ve Broghamer tarafından verilen diş dibi çentik faktörü esas alınarak yapılan eşdeğer ömür değerlerinden çok daha büyük çıkmıştır. Transfer Grup B dişlisinde, Niemann'a göre ömür değerinden 747 kat daha yüksek bulunmuştur. Emniyetli tarafta kalmak için küçük olan ömür değerleri esas alınmıştır. Ayrıca araç ömrünün %8'ini ($C_0=0.08$) 4x4 konumunda geçirdiğinden transfer dişlilerinden en kritik olan Grup B dişlisinin ömrü 726577 km olacaktır.

Diferansiyellerde ayna dişlilerinden kritik olan ön ayna dişlinin eşdeğer ömrünün 15545 km, efektif (gerçek) ömrünün ise 194315 km olduğu tespit edilmiştir.

Mahruti dişli ve milleri tek parça olmasına rağmen ömür incelenmesi açısından dişli ve mil ayrı ayrı irdelenmiştir. Arka mahruti dişli ve milinde yorulma açısından dişlinin daha az ömür verdiği tespit edilmiştir (3.239×10^6 km). Ön mahruti dişli ve milinde ise mahruti dişli milinin yorulma açısından daha kritik olduğu görülmüştür. Ön mahruti dişli ve milinde efektif (gerçek) ömür 232575 km bulunmuştur.

Araçta dört adet kardan mili olup, değiştirilebilirlik özelliğini kazandırmak için tüm kardan milleri aynıdır. Bu kardan millerinden en fazla tork'a maruz kalanı, dolayısıyla ömrü en az olanı şanzıman ile transfer arasındaki kardan milidir. Bu durumda en kritik kardan milinin ömrü 8.985×10^7 km olacaktır.

Ön aks milinin ömür hesabında eşdeğer ömür 15367 km bulunmasına karşılık, ön aks mili sadece 4x4 konumunda yüklenmeye maruz kalacağından ve araç ömrünün %8'ini 4x4 konumunda geçirdiğinden efektif (gerçek) eşdeğer ömür 192089 km olacaktır.

Ömür hesaplamaları yapılan aktarma elemanlarından ömrü en düşük çıkan eleman olarak arka aks milleri tespit edilmiştir (27166 km).

Bulunan tüm eşdeğer ömür değerleri, motorun her viteste en yüksek burulma momenti (tork) vermesi durumlarında geçerlidir. Ancak sürekli olarak bu durumlar yaşanmayacağından ömür, hesapla bulunan değerlerden daha yüksek olacaktır.

Aktarma elemanlarının ömür değerlendirmeleri ile ilgili olarak literatürde teorik açıklamalar ve çok az nümerik hesaplar mevcuttur. Bu çalışmada gerçek ölçülerle verilen parçaların dinamik zorlanmalar altındaki ömür değerlendirmeleri yapılarak teknik literatüre katkı sağlanmıştır.

Sonuç olarak hesaplanan ömür değerlerine göre aktarma elemanlarında yorulma kırılması nedeniyle stok oluşturulmasına gerek olmadığı, sadece kaza durumları için yedek parça imalatının yapılabileceği değerlendirilmiştir.

Hesapla bulunan ömür değerlerinin doğrulanması için belli sayıda araçların birliklerde test edilerek fabrika tarafından izlenmesi ve elde edilen test sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında belirlenen ömürlerin, kırılma mekaniği esaslı yaklaşım göz önünde tutularak “Kırılma Tokluğu” kavramıyla gerilmeler hesap edilerek elde edilecek ömürlerle mukayese edilmesi, teorik değerlendirmeler arasındaki farkı da ortaya koyacaktır. Bu konuda ileride yapılacak bir çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

Palmgren-Miner denklemlerinde her vites konumunda maksimum tork değerleri esas alınarak gerilmeler hesaplanmıştır. Ancak maksimum tork değerleri devamlı yaşanmayacağından, maksimum tork değerleri dışında olabilecek durumların istatistiki değerlendirmesi göz önüne alınarak ömür hesaplarının yapılması teorik ve pratik yönden literatüre katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., Kent, M., 1975, "Makine Elemanları", I. Cilt, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Akkurt, M., 1990, "Makine Elemanları", II. Cilt, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Collins, J.A., 1993, "Failure Of Materials In Mechanical Design-Analysis, Prediction, Prevention", Second Edition, Ohio.
- Dowling, N.E., 1993, "Mechanical Behavior Of Materials- Engineering Methods For Deformation, Fracture And Fatigue", Virginia.
- Eryürek, İ.B., 1993, "Hasar Analizi", İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Harzadın, G., Yurdakonar, S., 1970, "Makine Elemanları" III. Cilt, İstanbul.
- Maitra, G.M., 1988, "Handbook of Gear Design", First Edition, New Delhi.
- Shigley, J.E., 1986, "Mechanical Engineering Design", First Metric Edition, Michigan.
- Tahralı, N., Dikmen F., 1995, "Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik ve Ömür Hesapları", YTÜ Matbaası, İstanbul.



EKLER

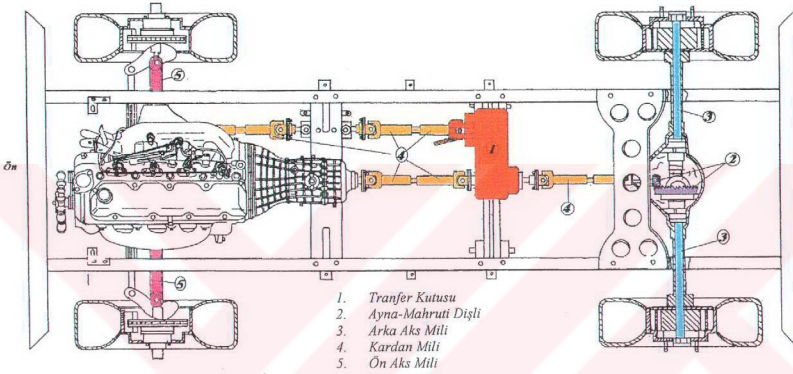
- Ek 1 GTD 4x4 arazi aracının şasi ve aktarma elemanlarının fotoğraf ve resimleri
- Ek 2 GTD 4x4 aracın aktarma elemanlarının ömür hesaplamalarında yararlanılan çizelge ve şekiller
- Ek 3 GTD 4x4 aracın millerinin kesme kuvveti (V) ve moment (M) diyagramları



Ek 1 GTD 4x4 arazi aracının şasi ve aktarma elemanlarının fotoğraf ve resimleri

Aktarma elemanlarının ömür hesapları yapılan GTD model 4x4 aracın şasi ve aktarma elemanlarının fotoğraf ve resimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Şekil Ek 1.1'de aracın üstten şasi görünümünün şematik gösterilişi verilmiştir. Ana aktarma elemanları ayrı renklerde gösterilerek numaralandırılmıştır.

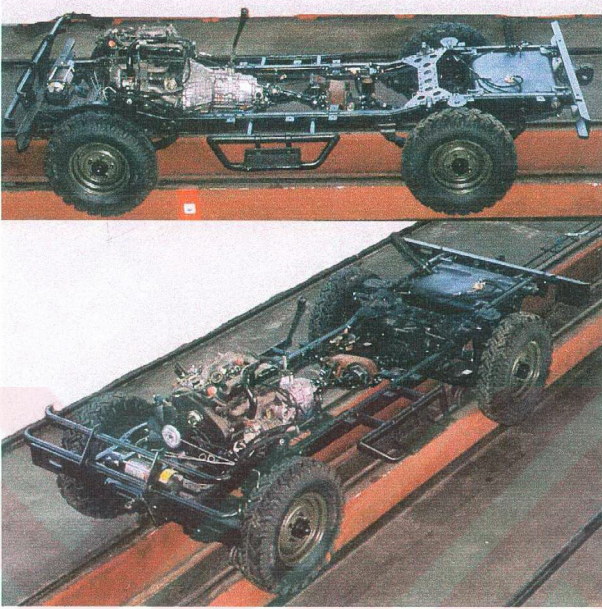


Şekil Ek 1.1 Aracın şasisinin şematik görünüşü.

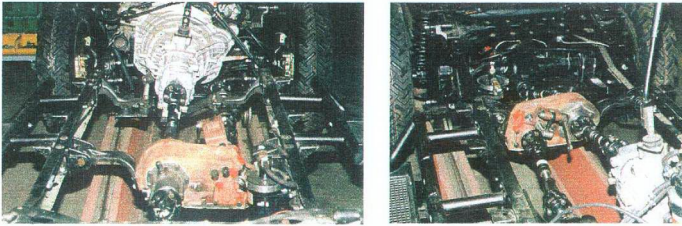
Şekil Ek 1.2'de, aracın montaj bandı üzerinde çeşitli açılardan çekilen şasisinin fotoğrafları görülmektedir.

Aracın aktarma elemanlarından olan transfer kutusu içerisindeki dişliler ve milleri, transfer kutusu içerisinde buldukları konumları muhafaza edilerek fotoğraflanmıştır. Şekil Ek 1.3'te transfer kutusunun önden ve arkadan şasi üzerindeki fotoğrafları görülmektedir. Şekil Ek 1.4'te ise transfer kutusu içerisindeki dişlilerin ve millerinin fotoğrafı verilmiştir. Şekil Ek 1.5'te ise transfer kutusu şematik olarak gösterilmektedir

Aracın ön ve arka ayna ve mahruti dişlileri fotoğrafları ise Şekil Ek 1.6'te verilmiştir. Şekil Ek 1.7'da aracın ön ve arka aks milleri, Şekil Ek 1.8'de ise kardan milinin montajlı ve montajsız fotoğrafları görülmektedir.



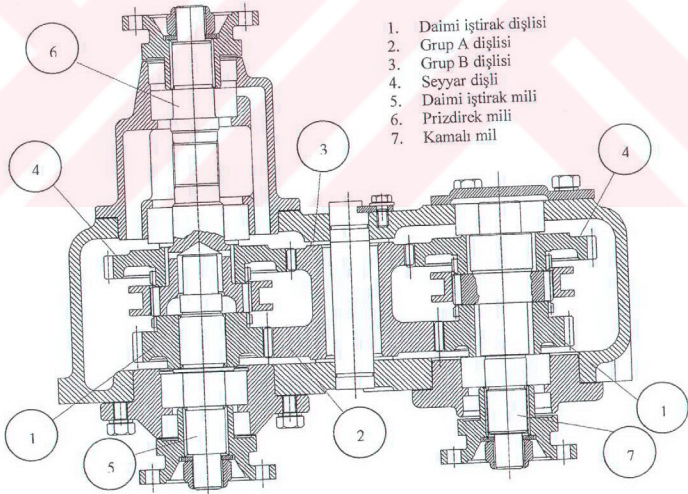
Şekil Ek 1.2 Aracın şasisinin montaj bandı üzerinde çeşitli açılardan fotoğrafı



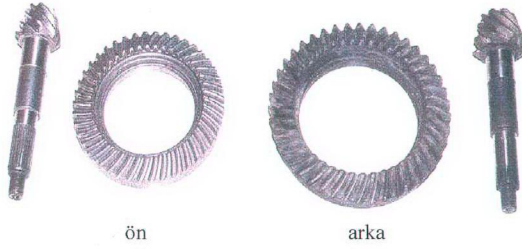
Şekil Ek 1.3 Tranfer kutusunun şasi üzerindeki konumu



Şekil Ek 1.4 Transfer kutusu içerisindeki dişliler ve miller



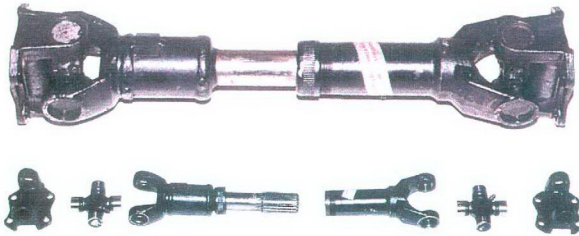
Şekil Ek 1.5 Transfer kutusunun şematik olarak gösterilişi



Şekil Ek 1.6 Ön ve arka ayna-mahrutu dişliler



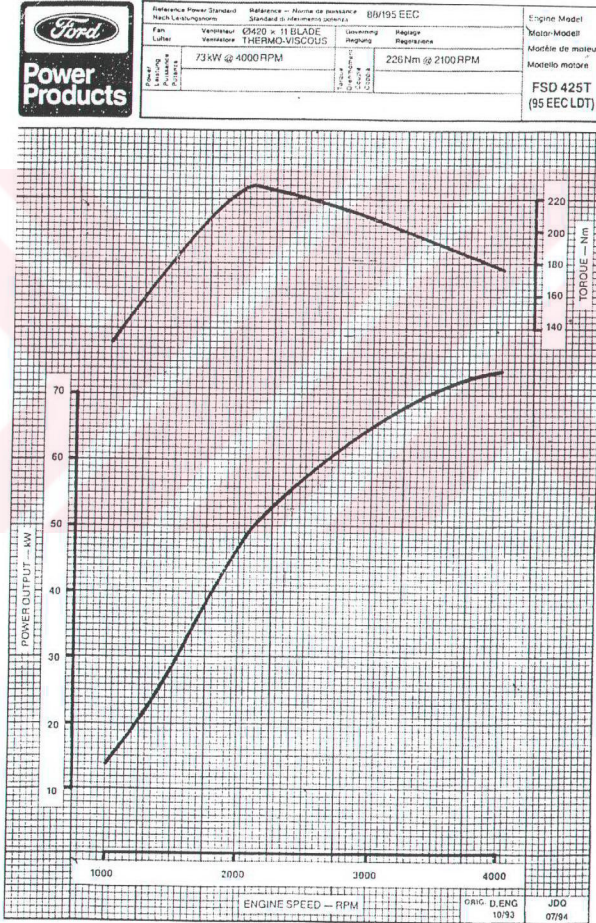
Şekil Ek 1.7 Ön-arka aks milleri



Şekil Ek 1.8 Kardan mili

Ek 2 GTD 4x4 aracın aktarma elemanlarının ömür hesaplamalarında yararlanılan çizelge ve şekiller

Aracın aktarma elemanları ömür hesaplamaları yapılırken değişik kaynaklardan alınan çizelge ve şekillerden faydalanılmıştır. Şekil Ek 2.1'de araçta kullanılan 2500cc Turbo Dizel Ford motorunun (FSD-425T) güç ve tork eğrisi görülmektedir. Aracın test sonucunda bulunan max. ve min. devirlere göre diyagramdan o vitesteki ortalama tork değerleri tespit edilmiştir.



Şekil Ek 2.1 2500 cc Turbo Dizel Ford motorunun güç ve tork eğrisi.

Çizelge Ek 2.1 Aktarma elemanlarının malzemesi, akma ve kopma mukavemeti

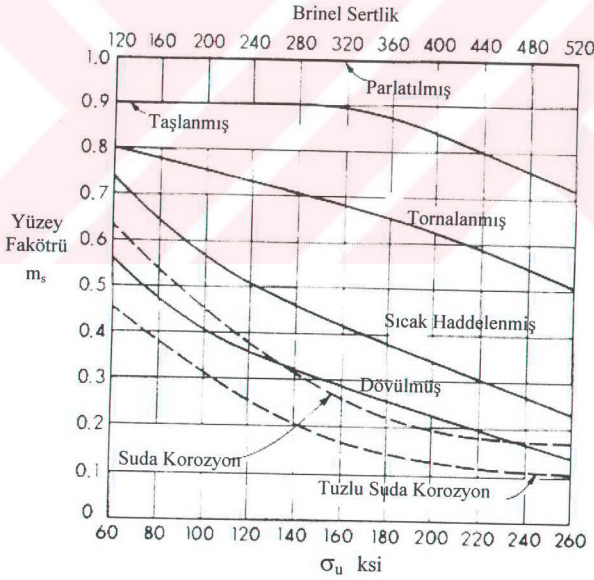
Aktarma Elemanı Adı	Kullanıldığı Yer	Malzeme	Kopma Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)
Daimi İştirak Dişlisi Grup A ve B Dişlisi Seyyar Dişli Ayna ve mahrutu Dişli	Transfer Transfer Transfer Arka ve Ön Dif.	21NiCrMo2 (DIN) 8620 H (SAE)	930	590
Daimi İştirak Mili Prizdirek Mili Kamalı Mil Mahrutu Mili	Transfer Transfer Transfer Arka ve Ön Dif.	21NiCrMo2 (DIN) 8620 H (SAE)	930	590
Arka Aks Mili Ön Aks Mili	Arka Köprü Ön Köprü	42CrMo4 (DIN) 4140 (SAE)	1080	765
Kardan Mili Borusu	Kardan Mili	St44-2 BK (DIN 2391)	475	255
Kayıcı Çatal, Kayıcı Mil	Kardan Mili	35 S 20 (DIN) 1137 (SAE)	540	285

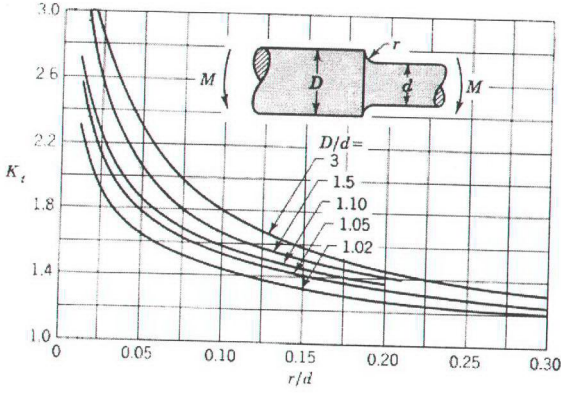
Çizelge Ek 2.2 Sıfır (x=0) dişliler için form faktörü (Akkurt, 1990).

Z_{eş}	12	14	15	16	17	18	19
q_k	3,7	3,33	3,23	3,15	3,08	3	2,98
Z_{eş}	20	21	22	23	24	25	26
q_k	2,95	2,9	2,86	2,82	2,78	2,73	2,7
Z_{eş}	27	28	29	30	35	40	45
q_k	2,67	2,64	2,62	2,6	2,51	2,45	2,41
Z_{eş}	50	65	70	80	90	100	∞
q_k	2,37	2,29	2,28	2,25	2,23	2,21	2,2

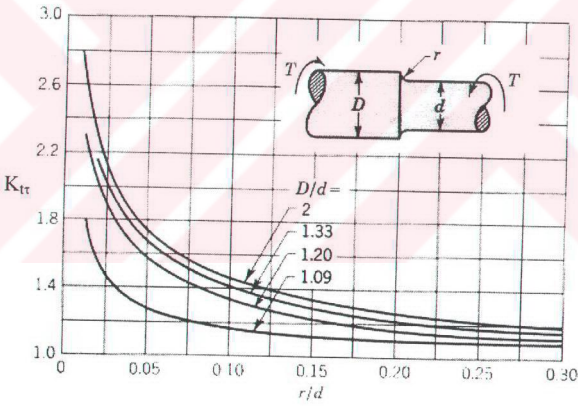
Çizelge Ek 2.3 Dişliler için boyut faktörü (Shigley, 1986).

Modül (m)	Faktör (m_d)	Modül (m)	Faktör (m_d)
1-2	1.000	11	0.843
2.25	0.984	12	0.836
2.5	0.974	14	0.824
2.75	0.965	16	0.813
3	0.956	18	0.804
3.5	0.942	20	0.796
4	0.930	22	0.788
4.5	0.920	25	0.779
5	0.910	28	0.770
5.5	0.902	32	0.760
6	0.894	36	0.752
7	0.881	40	0.744
8	0.870	45	0.736
9	0.860	50	0.728
10	0.851		

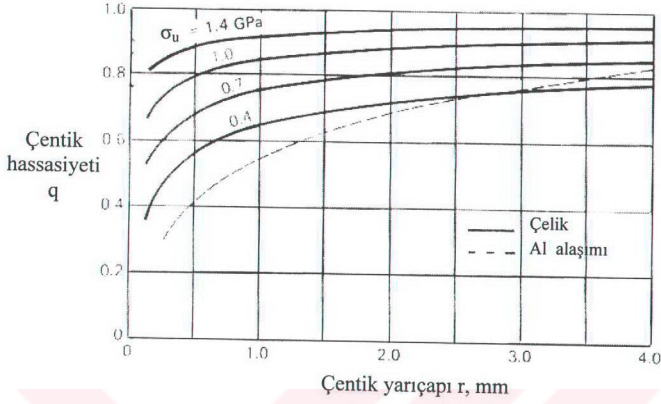
Şekil Ek 2.2 YüzeY düzgünlük faktörü (m_s) diyagramı (Dowling, 1993).



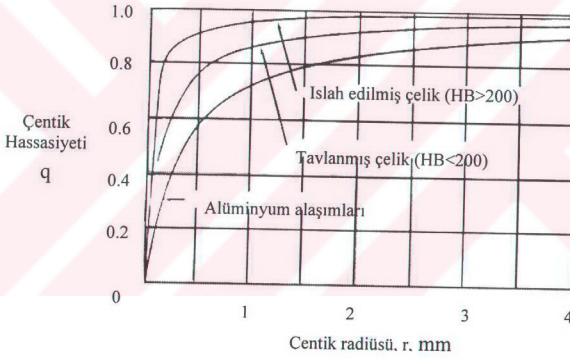
Şekil Ek 2.3 Eğilmeye çalışan kademeli mil K_t değerleri (Shigley, 1986).



Şekil Ek 2.4 Burulmaya çalışan kademeli mil K_{tr} değerleri (Shigley, 1986).

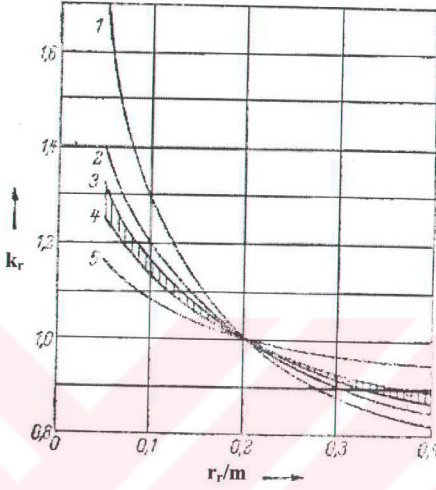


(a)



(b)

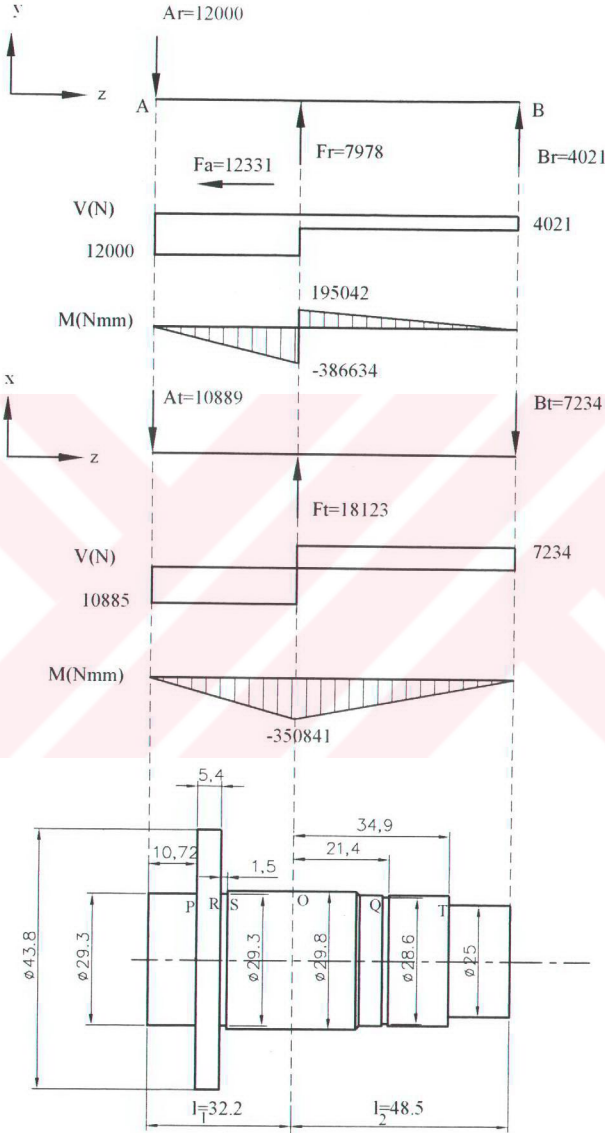
Şekil Ek 2.5 Tam değişken eğilme veya tam değişken aksenal kuvvetlere maruz çelik ve Al alaşımları için "q" değerleri (a). Tam değişken burulmaya maruz çelik ve Al. alaşımları için "q" değerleri (b) (Shigley, 1986).



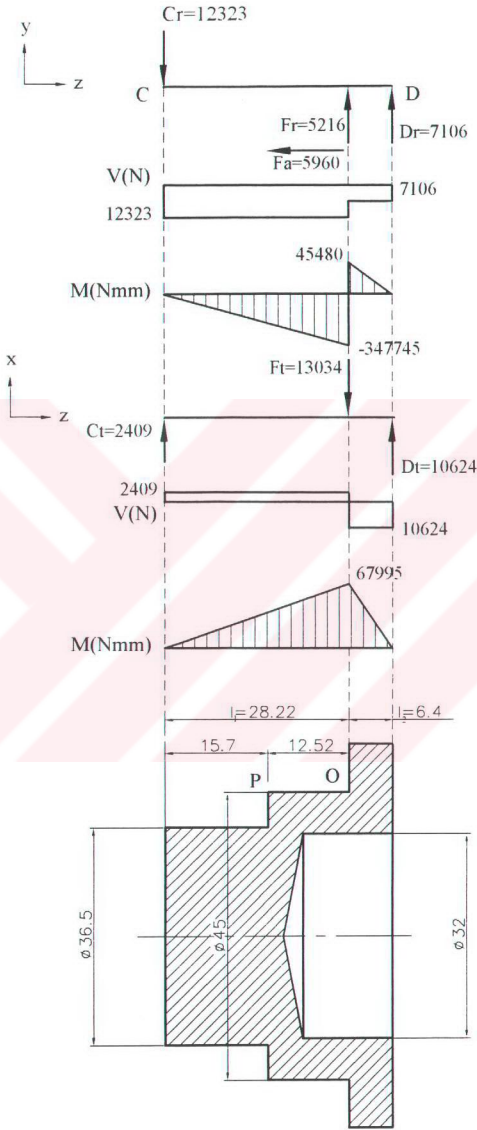
Şekil Ek 2.6 FZG deneylerine dayalı, diş dibi yarıçapına göre çentik faktörlerine etkisi (Harzadın ve Yurdakonar, 1970).

Şekil Ek 2.6'daki eğriler beş ayrı türde malzemeleri ifade etmektedir. 1-) Polarizaskop deneylerine göre, 2-)Çok iyi ıslah edilmiş dişliler için, 3-4-)semente edilmiş dişliler için, 5-) St60 çeliği ve ıslah edilmemiş dişliler için.

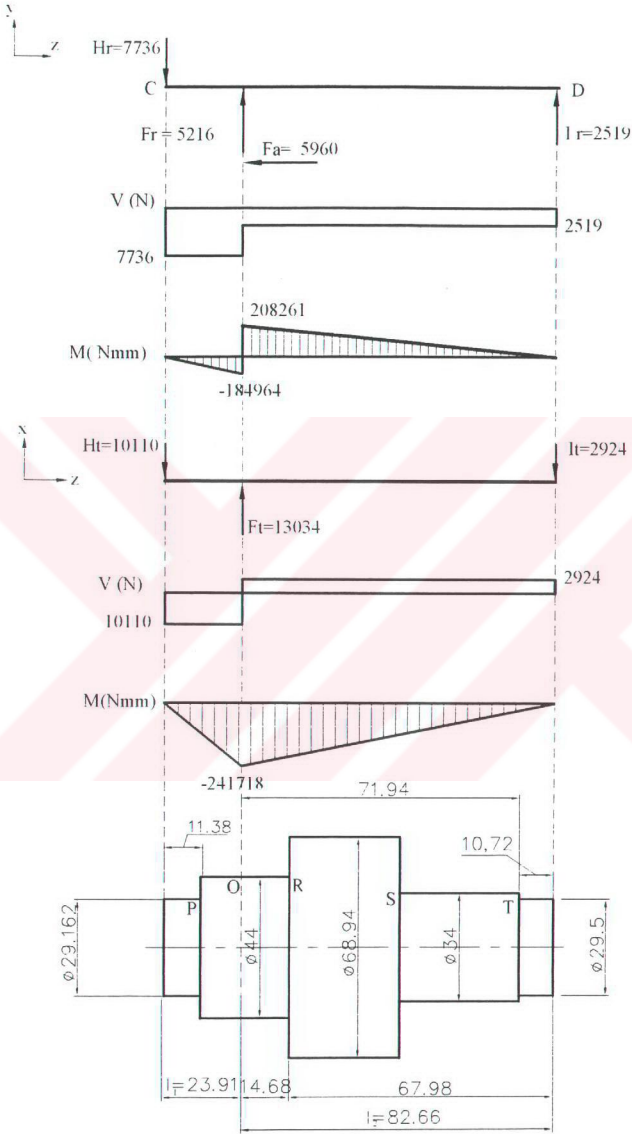
Ek 3 GTD 4x4 aracın millerinin kesme kuvveti (V) ve moment (M) diyagramları



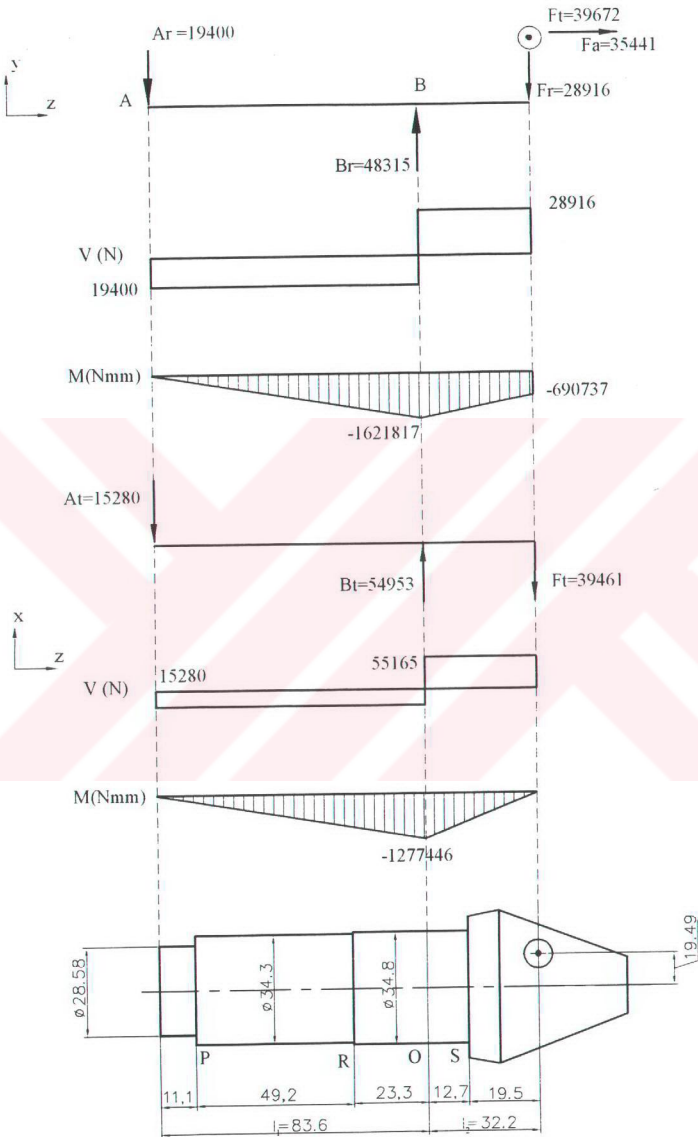
Şekil Ek 3.1 Daimi iştirak milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.



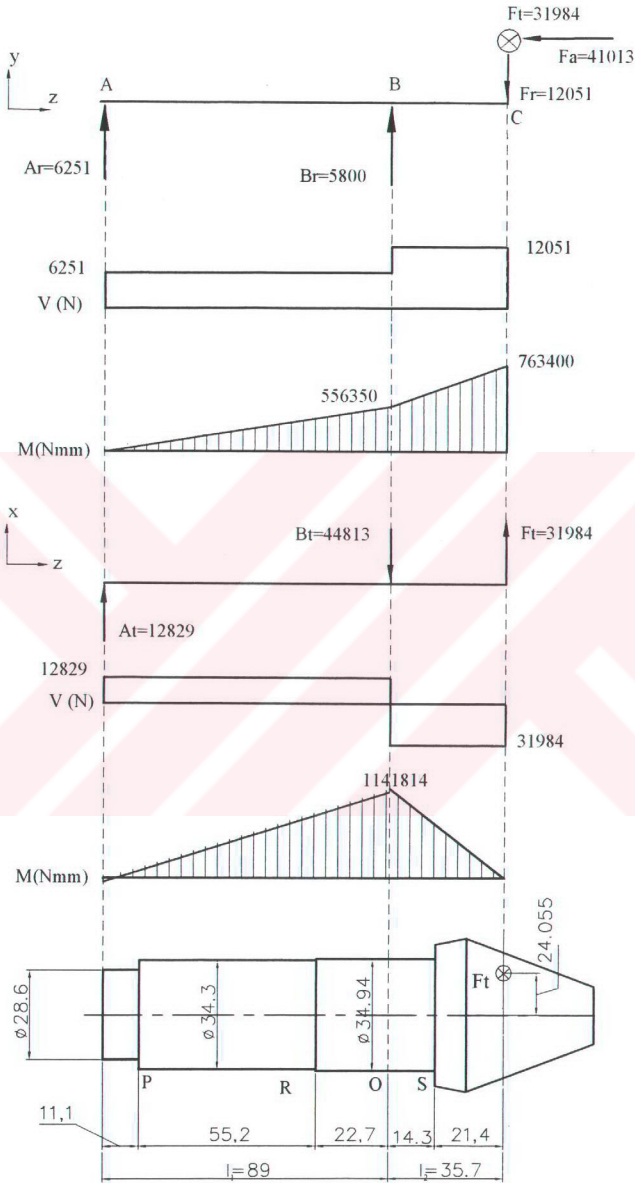
Şekil Ek 3.2 Prizdirek milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.



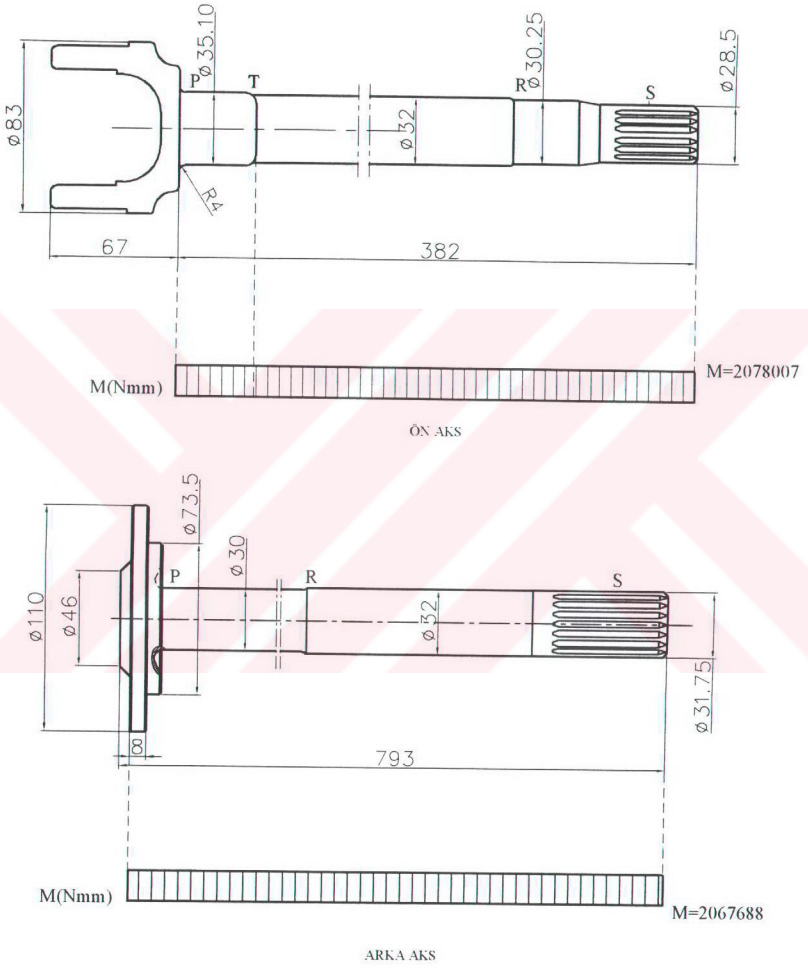
Şekil Ek 3.3 Kamalı milin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.



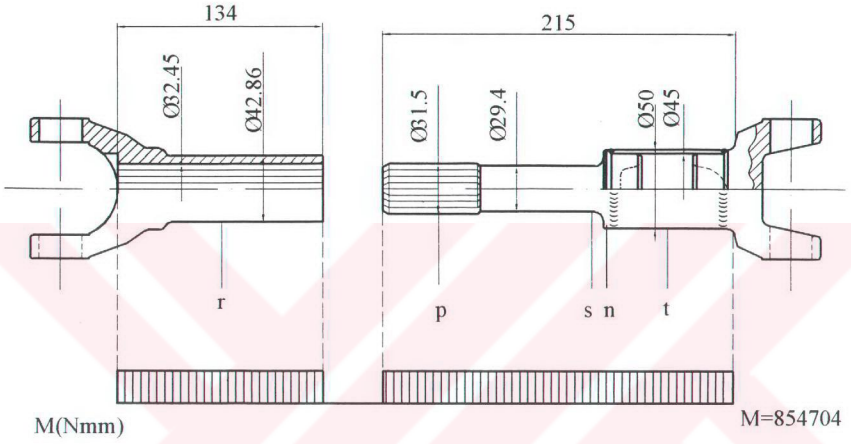
Şekil Ek 3.4 Ön mahruti milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.



Şekil Ek 3.5 Arka mahruti milinin kesme (V) kuvveti ve moment (M) diyagramı.



Şekil Ek 3.6 Ön ve arka aks millerinin moment (M) diyagramı.



Şekil Ek 3.7 Kardan milinin moment (M) diyagramı.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	06.04.1956	
Doğum yeri	Ankara	
Lise	1971-1974	Ankara Atatürk Lisesi
Lisans	1974-1978	A.D.M.M. Akademisi, Ankara
Yüksek Lisans	2000-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Mak. Müh. Anabilim Dalı, Kontrüksiyon Programı

Çalıştığı kurum

1979-2002	Türk Silahlı Kuvvetlerinin Muhtelif Birimlerinde. Halen 1013. Ord. Ana Tam. Fab. Müdürlüğünde Teknik Müdür.
-----------	---