

67833

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİNAMİK ZORLANMALAR ETKİSİNDE
ÇALIŞAN MAKİNA PARÇALARININ
GÜVENİRLİK VE ÖMÜR HESAPLARI**

Mak. Müh. Kamil TURAEV

F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programında hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Necati TAHRALI

Prof. Dr. Tahsin KUT
Tkut

İSTANBUL, 1997

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
GİRİŞ	1
BÖLÜM I	3
1. Dinamik Zorlanmaların İstatistik Olarak Değerlendirilmesi	3
1.1. Makine Parçalarının Yüklenme Durumları	3
2. İstatistik Diyagramların İncelenmesi	6
2.1. Histogram, Frekans Poligonu, Birikimli (Kümülatif) Özgül Frekans Dağılımı Diyagramlarının Çizimi	6
2.1.1. İhtimaller Hesabı	6
2.2. Wöhler Diyagramlarının Parametrik Çizimi	11
3. Ömür Hesaplarında Birikimli Hasar Durumunun İncelenmesi. Palmgren-Miner Denklemleri	15
4. Wöhler Diyagramının Deneyle Bulunuşu	18
4.1. Zaman Mukavemet Bölgesinde Wöhler Diyagramının Sıra Ortancalarına Göre Çizimi	20
5. Zaman Mukavemet Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı	24
5.1. Eğilme Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)	24
5.2. Çekme Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)	26
5.3. Burulma Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)	28
5.4. Eğilme Hali (İslah Çelikleri İçin)	31
5.5. Burulma Hali (İslah Çelikleri İçin)	33
6. Kardan Kavraması	35
6.1. Kardan Mili Hesapları	36
7. Mil Hesapları	40
7.1. Burulma ve Eğilme Etkisi (Bileşik Zorlanma Durumu)	42
BÖLÜM II	44

8. Nümerik Değerlendirmeler	44
8.1. Kardan Mili	45
8.1.1. Devirsayı Hesapları	45
8.1.2. Moment Hesapları	47
8.1.3. Gerilme Hesapları	50
8.1.4. Ömür Hesapları	59
8.2. Aks Milleri	77
8.2.1. Ç1040 Malzemeli Aksların Ömür ve Güvenirlik Hesapları	77
8.2.2. Takviye Viteste Aks Mili Hesapları	82
8.2.3. Ç4140 Malzemeli Aksların Ömür ve Güvenirlik Hesapları	86
8.2.3.1. Aks Millerinin Sadece Eğilme Zorlanmasına Göre Ömür Hesapları	89
8.2.3.2. Aks Millerinin Bileşik Gerilmelere Göre Ömür Hesapları	92
9. Sonuç	104
10 Kaynaklar	105
EKLER	
EK-1	106
EK-2	107
EK-3	108
EK-4	109
EK-5	110
EK-6	111

ÖZGEÇMİŞ

TEŐEKKÖR

“Dinamik Zorlanmalar Etkisi Altında alıőan Makine Parçalarının Gűvenirlik ve Őműr Hesapları” konulu tezimin tespiti ve incelenmesinde beni teővik eden ve her tűrlű yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Necati TAHRALI’ya sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Ayrıca tezin hazırlanmasında destek ve yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail YŪKSEK ve Mak. Műh. Cihan DEMİR’e teőekkűr ederim.

Makine Műhendisi Kamil TURAEV



ÖZET

İşletme durumunda makine parçaları değişik zorlanmalara maruz kalırlar. Bu zorlanmaların etkisi altında çalışan makine elemanlarının ömür ve güvenilirlik hesapları büyük önem taşımaktadır. Makine elemanlarının ömrü birkaç faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlilerinden biri de işletme şartıdır. Yani bir makine parçası ne tür gerilme ile ne kadar zaman aralığında zorlandığının tespit edilmesidir. Eğer işletme şartları belli ise bir makine parçasının ömür hesaplarında kolayca sonuca varılabilir.

Bu tezde bir aracın, eğilme ve burulma zorlanmaları altında çalışan kardan ve aks millerinin ömür ve güvenilirlik hesapları Birikimli (Kümülatif) ve Birikimsiz Hasar durumları göz önüne alınarak, Palmgren - Miner denklemlerinden yararlanılarak yapıldı.

Kilometre cinsinden hesaplanan ömür değerleri ile aynı zamanda aracın kardan ve aks millerinin stok belirlenmesinde önemli sonuçlar elde edilmiş bulunmaktadır.



ABSTRACT

While operating machine parts are under influence of different stresses. The lifetime reliability calculations of the machine parts are very important. The lifetime of machine parts depends on several factors. One of the most important factors is the working condition. It means to identify under what kind of stress and during which time a machine part is operated. If the working conditions are clear, it is easy to calculate the machine parts lifetime.

In this thesis, the lifetime and reliability analysis of a vehicle's kardan and axle, working under bending and twisting stresses, are done considering the cumulative and non-cumulative damage and using the Palmgren - Miner formulas.

Apart from the lifetime meanings calculated in kilometres, important results were obtained in the stocking of a vehicle's kardan and axles.



GİRİŞ

İşletme durumunda bir makine parçasının kırılması veya şeklinin görevini yapamayacak durumda bozulması muhakkak ki çalışma süresince kendisine etki eden “dinamik kuvvetlerin” sonucudur. Bu kuvvetler şiddet itibari ile küçük de olsalar muntazam veya gayri muntazam periyodik etkileri zamana bağlı olarak, özellikle malzeme, işleme veya kontrüksiyon ve montaj hataları da var ise hızla büyür ve parça bir zaman sonra belirli bir kesite gelince hasar olur. Bunun dışında parçanın şekillendirilmesi de kuvvet çizgilerinin dağılışı ve akışı bakımından ömrünü etkileyen önemli faktörlerden biridir. Mil ve aksların şekillendirilmesi ve üzerlerine açılan kama veya feder yuvalarının meydana getirdiği kesit değişiklikleri ve bu gibi işleme köşelerinde veya üst yüzeyde meydana gelen gözle görülemeyen çatlaklıklar, civataların son derece etkili dış çekilmiş durumları, diş dipleri, yatak yüzeyleri, dişli çarkların diş yüzeylerindeki basıncın etkisi ve buna benzer daha çok örnekler parçanın mukavemeti ile son derecede ilgilidir ve mühendis konstrüktör hesaplarında bütün bu durumları göz önüne almak zorundadır. Artık bu hesapların statik zorlamalar ve gerilmeler ile ilgisi yoktur, parça yüzeyindeki işlemeden dolayı meydana gelen kılcal bir çatlaklık veya malzemenin şeklinden dolayı yoğunlaşan gerilmelerin sebep olduğu çatlaklık zamanla kesitin içine kadar ilerler ve kesit daralmasının belirli bir büyüklüğünde parça aniden kopar. Yorulma dolayısıyla kopan bir parçanın kesit yüzeyinde bu durumu görmek kolaydır. Genellikle zamanla meydana gelen çatlaklık yüzeyi düzgün perdahlanmış gibidir. ve bu yüzeye yorulma, kırılma yüzeyi veya sürekli kırılma yüzeyi denir. [4]

Parçanın şekli ve fiziki yapısının yanı sıra etkili kuvvetlerin meydana getirdiği zorlamaların tarzı da “sürekli kırılma” olayına etkin faktörlerin başında gelir ve bu olayların araştırılması, kontrolü ve hesabı için başlangıçta zorlama tarzını tesbit ve tayin etmek gerekir. [4]

Makina parçalarının dinamik zorlanmalarında mukavemet sınırlarının bilinmesi için deneyler yapılması ve buna göre gerilme ömür değerlerinin bulunması gerekmektedir. Gerilme ömür bağıntısını gösteren diyagramlara Wöhler diyagramları denilmektedir. [2]

Makina parçalarının dinamik gerilmelerle zorlanmaları çekme -- basma veya eğilme deneyleri pülzator adı verilen düzenekler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Zorlayıcı kuvvet hidrolik ise "hidropülzator" mekanik ise "rezonans pülzator" denilmektedir. [3]

Bu çalışmada hesaplar makina parçalarının gerilme ömür diyagramları (Wöhler diyagramları) ve istatistiki hesaplar üzerinde yoğunlaştırıldı. Bu hesapların yapılabilmesi için önce zorlanmaların türü, birikimli (Kümülatif) hasar denilen durumun incelenmesi bu hasarı göz önüne alınarak çizilen Wöhler diyagramlarının bilinmesi gerekir. Sonradan Palmgren - Miner denklemleri kullanılarak ömür hesaplarına geçilecektir.

BÖLÜM I

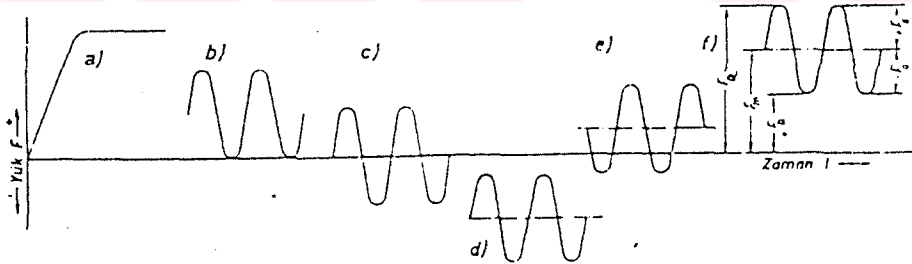
1. Dinamik Zorlanmaların İstatistik Olarak Değerlendirilmesi.

1.1. Makina Parçalarının Yüklenme Durumları. [4]

Çeşitli malzemelerin özellikle çelik malzemenin güvenilirlik sınırları içinde kullanılabilmesi için mukavemet değerlerinin bilinmesi zorunludur. Bunun için deney yapılacak malzemenin tamamen belirli ölçülerde (bu ölçüler norm ve standartlarla saptanmıştır) deney çubukları alınır ve deney makinalarında istenilen tarzda kuvvet altında zorlamaya tabi tutularak malzemenin fiziki değişimleri ve değerleri saptanır ve bir grafik veya tablo halinde kullanılmaya sunulur. Hangi tarz zorlama altında deney yapılırsa yapılsın sonucu etkileyen ve sağlamlılığını yön veren iki önemli faktörün saptanması gerekir.

a) Yükleme Durumu

b) Deney süresi veya yükün etki müddeti böylece deney sonuçları zorlamaların zamanın fonksiyonu şeklinde ifade edilmiş olur.



Şekil 1.1. Çeşitli yüklenme durumları a) Değişmez (statik)

b) Sınır değişken c) Tam değişken d,e,f) Yüklü değişken

Şekil- 1.1 de çeşitli yüklenme şekilleri bir eksen takımında grafik olarak gösterilmiştir. Düşey eksen sıfır durumuna göre (+,-) yük şiddetlerini, yatay eksen ise zamanı ifade etmektedir.

1. Düzgün artan ve sabit yükleme: (Şekil-1.1a) da görüldüğü gibi yükün şiddeti sıfırdan başlayarak tamamen düzgün bir artışla belirli bir değere yükselmiş ve bundan sonra değişmeden sabit kalmıştır.

Buna statik yük veya yükleme denir. Yük şiddeti olarak değişmeyen sabit kalan en büyük yük şiddeti (F) alınır.

2. Değişken yükler : (Şekil-1.1.b,c,e,f,d) Görüldüğü gibi yük şiddeti max. ve min. olarak ayrıca (-,+) bölgelerde zamana bağlı periodik olarak değişmektedir. Malzeme deneylerinde tabii ki yükleme bölgeleri max. ve min yük şiddetleri, periodik zaman aralıkları tamamen belirlidir ancak durumun matematiksel olarak formüle edilebilmesi anlatılabilmesi için bu değişken değerler aşağıdaki sistem içinde mütalaa edilirler.

F_u : Üst yükleme, en büyük yükleme

F_a : Alt yükleme, en küçük yükleme

F_o : Ortalama yükleme

F_g : Yük genliği

F_D : Değişken yükleme (Şekil-1.1. b,c,d,e,f)

F_S : Sınır Değişken yükleme (ön yüklemeli) (şekil-1.1,e,f)

F_T : Tam değişken (şekil-1.1 b)

Genel olarak yük veya kuvvetin ifadesi

$$F = F_o \pm F_g \quad (1.1)$$

şeklinde gösterilir. Ayrıca yükleme durumlarına göre grafiği bölgelere de ayırabiliriz.

I. Bölge : Bu bölgede yük mutlaka (\pm) ve (-) değerler alır. Şekil-1.1 F_t tam değişken yükleme

$$+F_{\bar{u}} = -F_a = \pm F_g \quad F_o = 0 \quad (1.2)$$

II. Bölge: şekil-1.1 b. F_s sınır değişken yükleme.

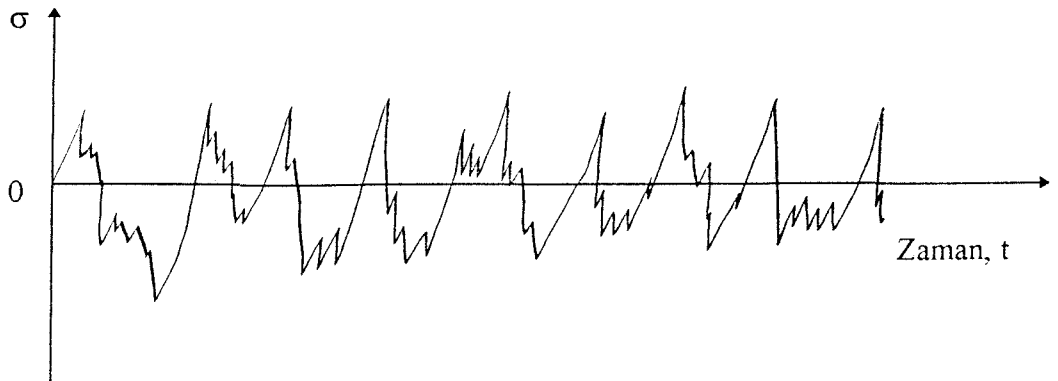
$$F_{\bar{u}} = 2F_g \quad F_a = 0 \quad F_o = F_g / 2 \quad (1.3)$$

III. Bölge : Şekil d,e,f. F_y yüklü değişken yükleme cebirsel işaretler ait olduğu bölgeye göredir.

$$F_{\bar{u}} = F_o + F_g \quad F_a = F_o - F_g \quad (1.4)$$

Bu yüklemeler eğilme veya burulma zorlamalarında M momentle ifade edilirler. $M_{\bar{u}}$ -üst moment, M_a -alt moment, M_o ortalama moment ve M_g -moment genliği gibi. [4]

Yukarıda gördüğümüz zorlanma veya yüklemeler standart yani belli bir kurallara uyan yükleme çeşitleridir. Bilindiği gibi makina parçaları hiç bir kurala uymayan, sadece istatistik hesaplarla hesaplanabilen zorlanmalara maruz kalmaktadır. Bu çeşit zorlanmalara titreşimli veya rastgele değişen zorlanmalar adı verilmektedir. [1]



Şekil 1.2. Titreşimli zorlanmalar

Bu çeşit zorlanmalar yük şiddeti ve işareti itibari ile hesaplanması oldukça zor olan bir yükleme şeklidir. [1]

Hesapları kolaylaştırmak amacıyla mühendis ve konstrüktörler ileride inceleyip açıklayacağımız formül ve kurallara başvurmakta.

Gerçekten titreşimli zorlanmalar matematiğin ihtimaller teorisi bölümünde açıklanan tüm kural ve kavramlar yardımıyla grafik ve diyagramlara dönüştürülerek hesaplanabilmektedir.

2. İstatistik Diyagramların İncelenmesi

2.1. Histogram, Frekans Poligonu, Birikimli (Kümülatif) özgül Frekans Dağılımı diyagramlarının Çizimi.

2.1.1 İhtimaller Hesabı [7]

Genel bir ifadeyle ihtimaller hesabı (teorisi) herhangi bir olayın meydana gelme ihtimalini (olasılığını) inceler. Bu ihtimal 0 ile 1 arasında değişen bir sayı ile elde edilir. buna göre bir makina parçasının istenen bir ömrü gerçekleştirme ihtimali :

N : Makina parçasının herhangi bir ömür değeri (yük tekrarı)

N_a : Makina parçasından istenen ömür değeri (yük tekrarı)

olmak üzere mesela $P(N < N_a) = 0,72$ şeklinde ifade edilebilir. (Bunun anlamı N ömür değerinin istenen N_a ömür değerinden küçük olma ihtimali % 72, N değerinin N_a değerinden büyük olma ihtimali %28 dir).

Bu ihtimal değeri, aynı zamanda makina parçası için güvenilirlik (Reliability) değeri olmaktadır. Yani,

$$G = R = P(N > N_a) = \alpha \quad (2.1)$$

Bu fonksiyonun makina parçası için hasar veya işe yaramama (Failure) ihtimalini veren değeri şöyledir :

$$F = P(N < N_a) = 1 - \alpha \quad (2.2)$$

Böylece işe yaramama ile güvenilirlik arasında

$$F + G = F + R = 1 \quad (2.3)$$

bağıntısı vardır.

Bunlara göre işe yaramama olaylarının istatistik dağılımı veya diğer bir ifade ile yoğunluk fonksiyonu $f(N)$ olmak üzere

$$F(N) = \int_{-\infty}^{N_a} f(N) d(N) = 1 - \alpha \quad (2.4)$$

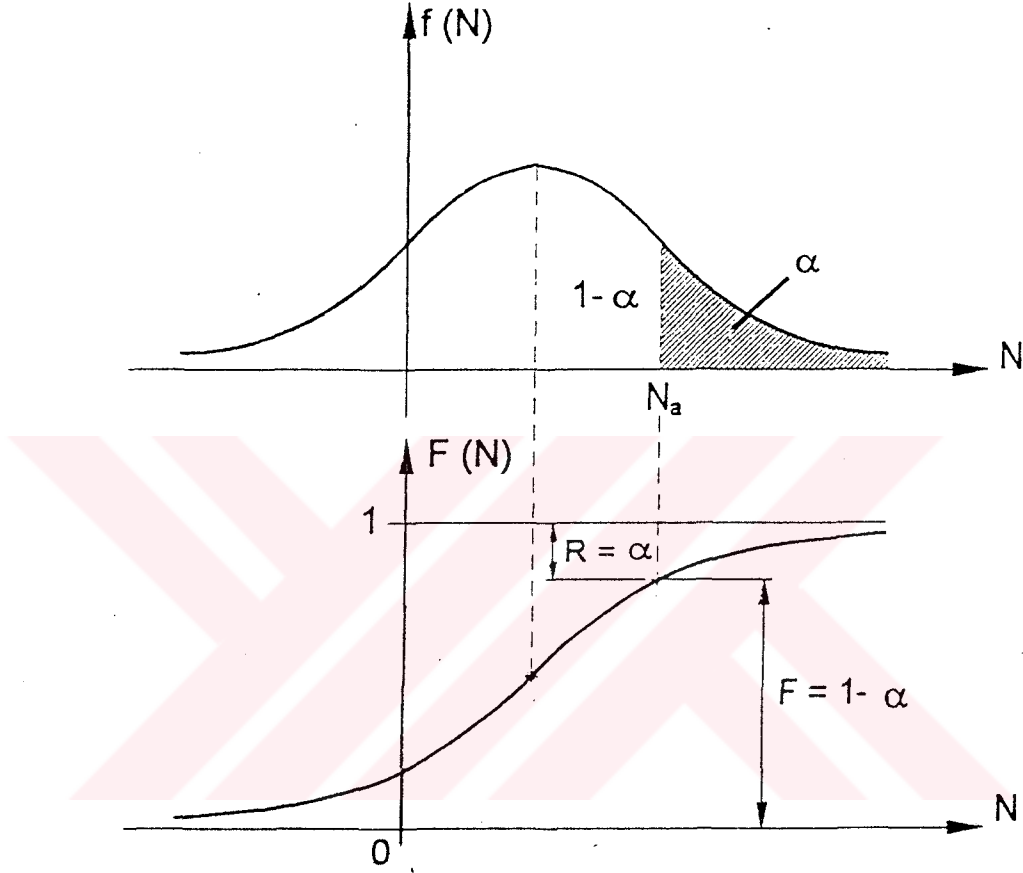
fonksiyonuna “Birikimli (Kümülatif) Dağılım Fonksiyonu” adı verilir. Bu fonksiyon kırılma veya işe yaramama olaylarının dağılımını göstermektedir.

Birikimli dağılım fonksiyonuna göre güvenilirlik değeri hesaplanırsa :

$$G = R = 1 - F(N) = 1 - \int_{-\infty}^{N_a} f(N) d(N) = \int_{N_a}^{+\infty} f(N) d(N) = \alpha \quad (2.5)$$

elde edilir.

Bunların normal dağılım fonksiyonu üzerinde grafik gösterilişi şekil - 2.1 de görülmektedir.



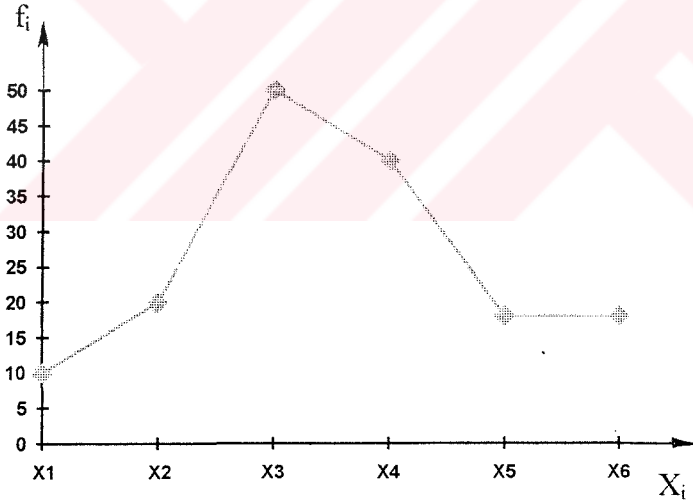
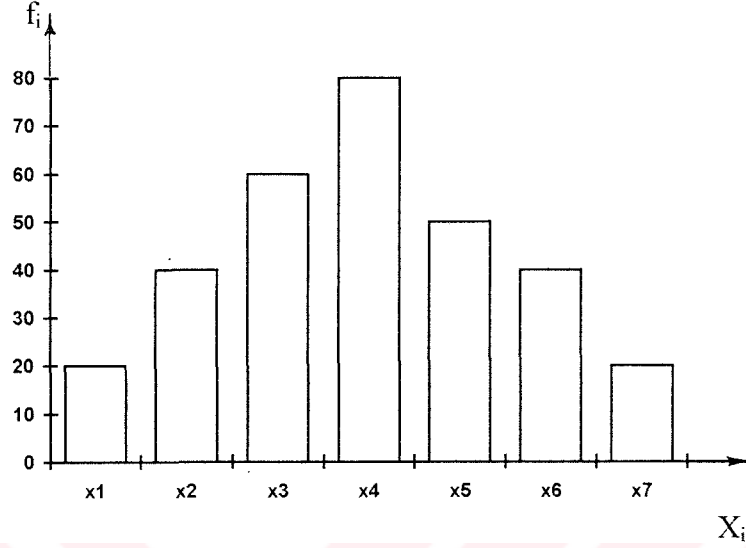
Şekil 2.1.

İstatistikte yoğunluk fonksiyonu ve birikimli dağılım fonksiyonuyla beraber değişik başka diyagramlar da kullanılabilir.

Bunlardan frekans dağılımında işe yarayama olaylarının sayısı nokta nokta gösterilir.

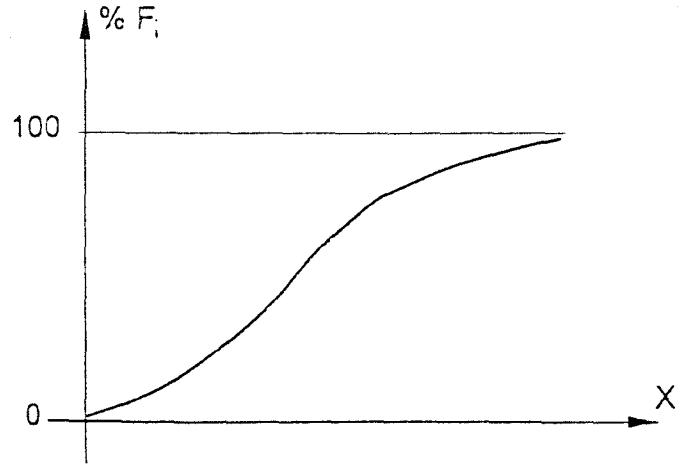
Frekans dağılımının noktaları doğru parçaları ile birleştirilirse frekans poligonu ;

Düşey eksendeki değerler, dikdörtgenlerle temsil edilirse histogram elde edilir.



Her X_i değişken değerine karşılık gelen f_i frekans değerleri toplam olay sayısına (toplam değişken adedine) bölünürse özgül frekanslar elde edilir.

Her değer için özgül frekansların toplamı alınırsa birikimli özgül frekans dağılımı da bulunur.



Şekil 2.3.

İstatistik değerlendirmelerde kullanılan bazı değerlerin tarifleri de şu şekildedir:

Aritmetik Ortalama :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad n : \text{değişken adedi} \quad (2.6)$$

Gelişigüzel değerlerin merkezi değeri, aritmetik ortalama ile bulunur.

Standart Sapma :

$$S_x = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Varyans: Standart sapmanın karesidir.

Gelişigüzel değişkenlerin dağılımı, standart sapma veya varyans ile ifade edilir.

Standart değişken : (standart değer)

$$Z_{\alpha} = \frac{X_i - \bar{X}_i}{S_x} \quad (2.8)$$

İstatistik dağılım fonksiyonunda, ihtimal ve guvenirlik hesabında standart sapmalar esas alınarak tablo haline getirilmiş değerlerdir.

Sıra ortancası : (Sıra ortalaması)

$$A = \frac{j}{n+1} \quad \text{veya} \quad A = \frac{j-0.3}{n+4} \quad (2.9)$$

(j : basamak indisi veya işe yaramama olayları sırası)

Birikimli frekans dağılımını göz önüne alınmadan, aynı değerlendirmeyi yapmak için sıra ortancası yardımı ile kolayca sonuca ulaşılabilir. Ancak mesela sürekli mukavemet bölgesinin değerlendirilmesinde sıra ortancasından yararlanılamaz.

2.2. Wöhler Diyagramlarının Parametrik Çizimi

Bir makina parçası tam değişken gerilme ile deneye tabi tutulsun. Gerilmeler değişik değerlerde olsun. Her gerilme değeri için ömür değerleri aşağıdaki gibidir.

1. Küme Deney adedi i -tane

σ_1 - gerimeyle zorlansın

N_{11} - Yük tekrarı

N_{12} - Yük tekrarı

\vdots

N_{1i} - Yük tekrarı

2. Küme Deney adedi k -tane σ_2 - gerimeyle zorlansın

•

•

•

 N_{21} - Yük tekrarı N_{22} - Yük tekrarı

⋮

 N_{2k} - Yük tekrarın. Küme Deney adedi l -tane σ_n -gerimeyle zorlansın N_{n1} - Yük tekrarı N_{n2} - Yük tekrarı

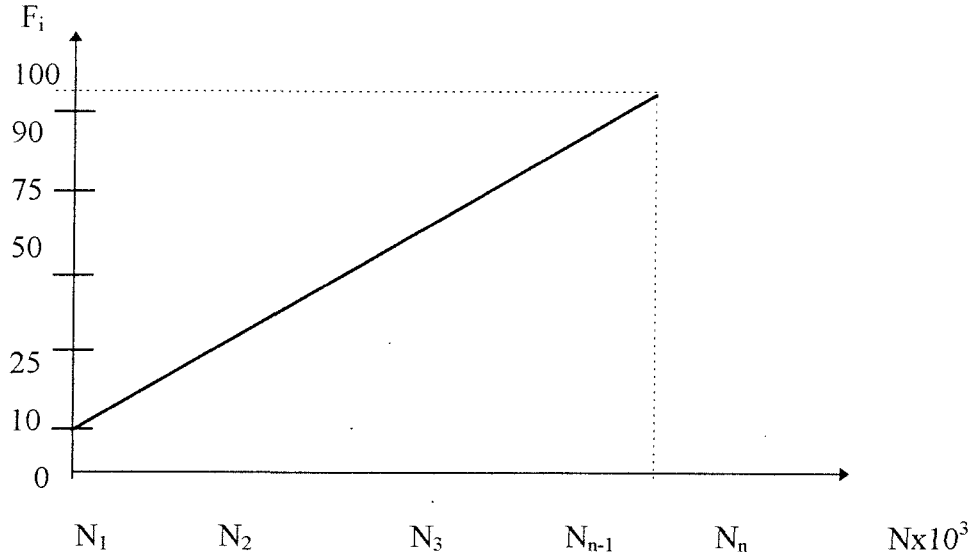
⋮

 N_{nl} - Yük tekrarı

Elde edilen bu sonuçlarla aşağıdaki işlemler yapılır. Her gerilme değeri için ömür değerlerine eşit aralıklı artımlar verilir ve gerçekleşen ömürlerin bu aralıklar içinde bulunan adetleri, yani frekanslar (f_i) bulunur. Sonra özgül frekanslar (f_i/n) ve birikimli özgül frekanslar (F_i) hesaplanarak (F,N) diyagramları çizilir.

1. Küme	σ_1	$n = i$	
$N \times 10^3$	f_i	f_i / n	F_i
$N_1 \dots N_2$	X_1	X_1 / n	X_1 / n
$N_3 \dots N_3$	X_2	X_2 / n	$(X_1 + X_2) / n$
⋮	⋮	⋮	⋮
$N_{n-1} \dots N_n$	X_n	X_n / n	$(X_1 + X_2 + \dots + X_n) / n$

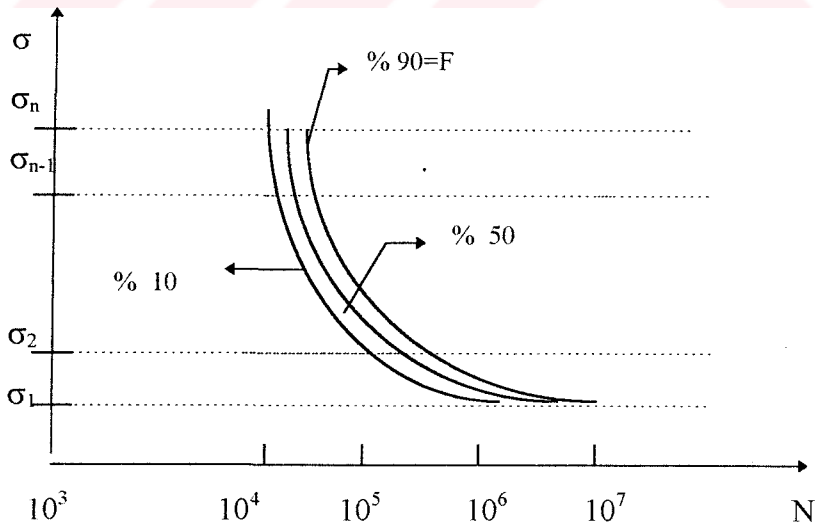
Böylece her küme için benzer tablolar yapıldıktan sonra (F, N) diyagramları çizilir.



Şekil 2.4. 1. Küme için elde edilen (F,N) diyagramı.

Her gerilme değeri için elde edilen birikimli özgül frekans (F_i) diyagramlarından, mesela % 10, % 50 ve % 90 değerlerine karşılık gelen ömür (N) değerleri bulunur. Bu değerler (σ, N) diyagramında işaretlenir.

Sonra her güvenilirlik değerine ait noktalardan uygun eğriler geçirilerek Wöhler diyagramı elde edilir.

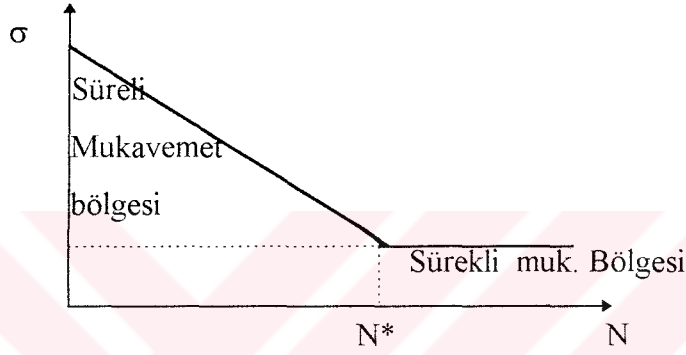


Şekil-2.5. Wöhler Diyagramı

Wöhler diyagramlarında iki bölge mevcuttur.:

1. Süreli (zaman) Mukavemet Bölgesi : Belirli bir gerilme değerinde makina parçasının zorlanması durumunda ömür değeri de belirlidir. Ne kadar yük tekrarı (veya işletme saati) ömrü olacağı bundan sonra hasar meydana geleceğini belirten bölgedir.

2. Sürekli mukavemet Bölgesi : Makina parçasının ömrünün (teorik olarak) sonsuz değerini gösterdiği bölgedir. Teorik olarak sonsuz ömür, gerçekte makina parçasından istenilen ömürden (N^*) daha fazlasını belirtmektedir. (Şekil - 2.6) [7]



Şekil 2.6

3. Ömür Hesaplarında Birikimli Hasar Durumunun İncelenmesi. Palmgren-Miner Denklemleri.

Bazı hallerde, çalışma esnasında makine elemanları tek bir değişken gerilmeye değil de, belirli süreler içinde çeşitli büyüklükteki gerilmelere maruz kalırlar. Örnek olarak bir eleman n_1 - yük tekrarı süresinde σ_1 , n_2 - yük tekrarı süresince σ_2 , vs. gibi gerilme değerlerinin etkisi altında kalabilir. Bu gerilmelerden her biri elemanda ayrı hasarlar meydana getirdiğinden ve kırılmaya sebep olan hasar bunların birikmesinden ileri geldiğinden bu olaya birikimli hasar yorulması denir. Pratik bakımdan problem, bu şekilde zorlanan elemanlar için ömrün veya sonsuz ömür halinde emniyet katsayısının tespitidir. Günümüzde bu problemin tam bir çözümü bulunmamaktadır; ancak pratikte, birtakım noksanlara rağmen Palmgren - Miner adı verilen bir kaide uygulanmaktadır. Bu kaidenin matematiksel bağıntısı

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} = K \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada n_1, n_2, \dots, n_i sırası ile $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i$ ye tekabül eden yük tekrarı, N_1, N_2, \dots, N_i sırası ile $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i$ ye tekabül eden elemanın ömrü ve K deneysel olarak tayin edilen ve değeri 0,7 ile 2,2 arasında değişen bir sabitedir. En çok tavsiye edilen $K = 1$ değeri ile yukarıdaki denklem

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (3.2)$$

olur. n_1, n_2, \dots, n_i - değerlerinin tespiti çok güç olduğundan, bunlar c_1, c_2, \dots, c_i orantı faktörleri olmak üzere elemanın N toplam ömrünün $n_1 = c_1 N, n_2 = c_2 N, \dots, n_i = c_i N$ kısımları olarak ifade edilirse (3.2) denklemi

$$\frac{c_1}{N_1} + \frac{c_2}{N_2} + \dots + \frac{c_i}{N_i} = \frac{1}{N} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$c_1 \cdot N + c_2 \cdot N + \dots + c_i \cdot N = N \text{ ve } c_1 + c_2 + \dots + c_i = 1 \text{ dir.}$$

Palmgren - Miner denkleminin kullanılış şekli bir örnek ile açıklanacaktır. Şekil 3.1'de St 60 için Wöhler diyagramı çizilmiştir. Bu malzemeden yapılmış olan bir eleman, toplam ömrün %10'una ($c_1 = 0,1$), %40'ına ($c_2 = 0,4$) ve %50'sine ($c_3 = 0,5$) tekabül

eden süreler içinde sırasıyla $\sigma_1 = 50 \text{ daN/mm}^2$, $\sigma_2 = 44 \text{ daN/mm}^2$ ve $\sigma_3 = 38 \text{ daN/mm}^2$ değerlerinde tam değişken bir gerilmeye maruzdur. Şekil 3.1'den görüleceği üzere

$$\sigma_1 = 50 \text{ daN/mm}^2 \quad \text{için} \quad N_1 = 3 \cdot 10^3 \text{ yük tekrarı}$$

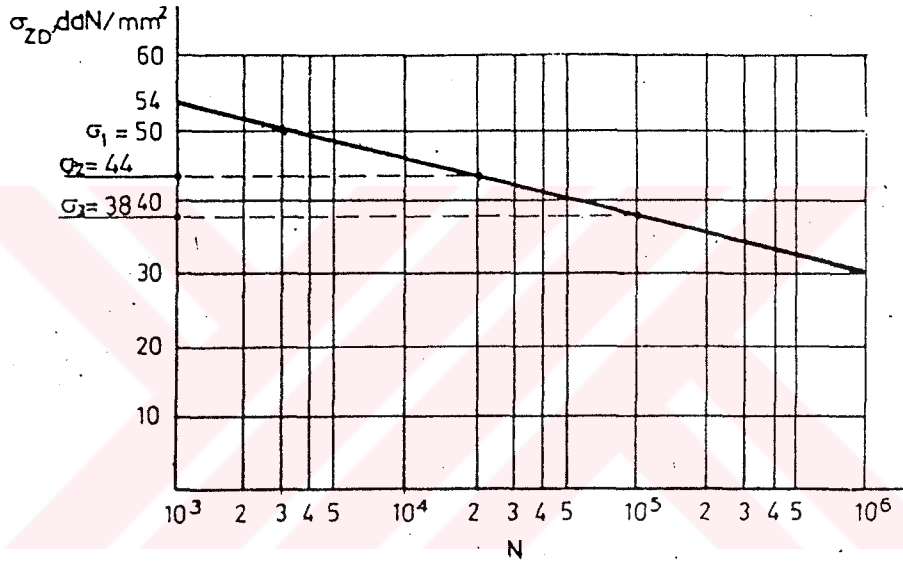
$$\sigma_2 = 44 \text{ daN/mm}^2 \quad \text{için} \quad N_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ yük tekrarı}$$

$$\sigma_3 = 38 \text{ daN/mm}^2 \quad \text{için} \quad N_3 = 1 \cdot 10^5 \text{ yük tekrarı}$$

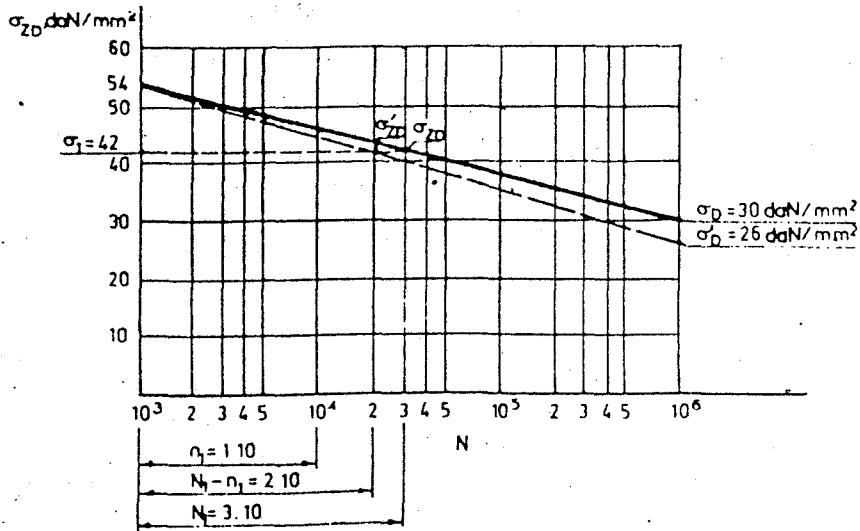
tekabül eder. Bu değerler ile (3.3) denklemini

$$\frac{0,1}{3 \cdot 10^3} + \frac{0,4}{2 \cdot 10^4} + \frac{0,5}{1 \cdot 10^5} = \frac{1}{N}$$

şeklinde yazılır ve bundan da $N = 1,71 \cdot 10^3$ yük tekrarı olarak elde edilir.



Şekil - 3.1



Şekil - 3.2

Miner yöntemi deneyler ile ispat edilememiş şu varsayıma dayanmaktadır. Herhangi bir gerilmenin malzemede meydana getirdiği hasar, gerilmenin yük tekrarı sayısı ile orantılıdır. Birikimli hasara uğramış bir malzemenin sürekli mukavemet sınırı σ_D' ile gösterilirse, yukarıdaki varsayıma göre $\sigma_D' < \sigma_D$ olması gerekir. Burada σ_D , tam değişken sürekli mukavemet sınırındır. σ_D' değerini bulmak için yeter bir yaklaşıklık ile miner kaidesine dayanarak Mason yöntemi kullanılabilir. Buna göre Şekil 3.2'de Wöhler diyagramı çizilmiş olan St60 malzemesinin $n_1 = 1.10^4 = 10.000$ yük tekrarı süresince $\sigma_1 = 42 \text{ daN/mm}^2$ lik tam değişken bir gerilmeye maruz kaldığı düşünülürse, bu gerilmeye tekabül eden ömür $N_1 = 3.10^4 = 30.000$ yük tekrarı olarak diyagramdan okunur. Demek ki $n_1 = 10.000$ yük tekrarı süresince $\sigma_1 = 42 \text{ daN/mm}^2$ lik gerilmenin uygulanmasından sonra malzemenin kalan ömrü $N_1 - n_1 = 30000 - 10000 = 20000$ yük tekrarı olur. $\sigma_1 = 42 \text{ daN/mm}^2$ ve $N_1 - n_1 = 20000$ kalan yük tekrarı için birikimli hasara uğramış malzemenin zamana bağlı mukavemet sınırı σ'_{ZD} dir (Şekil 3.2). σ'_{ZD} ve $N = 10^3$ yük tekrarı sayısı için σ_{ZD} noktalarını birleştiren doğru (şekilde St60 için $\sigma_{ZD} = 54 \text{ daN/mm}^2$ dir) hasara uğramış malzemenin Wöhler eğrisini teşkil etmektedir ve $N = 10^6$ yük tekrarı sayısı için hasara uğramış malzemenin sürekli mukavemet sınırı $\sigma_D' = 26 \text{ daN/mm}^2$ dir.

4. Wöhler Diyagramının Deneylerle Bulunuşu [7]

Bir makina parçası zaman mukavemeti bölgesinde σ_1 , σ_2 , σ_3 gerilmeleri ile sürekli mukavemet bölgesinde ise σ_4 , σ_5 ve σ_6 gerilmeleri ile zorlansın. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olsun.

Tablo 4.1.

Gerilme Q (N/mm ²)	Ömür N (Yük tek.)	Log. Ömür N _e	Gerilme σ (N/mm ²)	Ömür N(Yük tek.)	Log. Ömür N _l
σ_1	N ₁₁	N _{/11}	σ_4	N ₄₁	N _{/41}
	N ₁₂	N _{/12}		N ₄₂	N _{/42}
	N ₁₃	N _{/13}		N ₄₃	N _{/43}
	N ₁₄	N _{/14}			
	N ₁₅	N _{/15}			
	N ₁₆	N _{/16}			
σ_2	N ₂₁	N _{/21}	σ_5	N ₅₁	N _{/51}
	N ₂₂	N _{/22}		N ₅₂	N _{/52}
	N ₂₃	N _{/23}		N ₅₃	N _{/53}
	N ₂₄	N _{/24}		N ₅₄	N _{/54}
				N ₅₅	N _{/55}
				N ₅₆	N _{/56}
				N ₅₇	N _{/57}
				N ₅₈	N _{/58}
σ_3	N ₃₁	N _{/31}	σ_6	N ₆₁	N _{/61}
	N ₃₂	N _{/32}		N ₆₂	N _{/62}
	N ₃₃	N _{/33}		N ₆₃	N _{/63}
	N ₃₄	N _{/34}		N ₆₄	N _{/64}
	N ₃₅	N _{/35}		N ₆₅	N _{/65}
				N ₆₆	N _{/66}
				N ₆₇	N _{/67}
				N ₆₈	N _{/68}
				N ₆₉	N _{/69}

Bu değerlere göre %10, % 50 ve % 90 güvenilirlikli Wöhler diyagramlarının çizimi istensin. Bu deney sonuçlarını normal dağılım kabul ederek istatistiki formüllerle istenen sonuçları elde ederiz.

Sürekli Mukavemet Bölgesi :

Tablo-4.1 deki değerlerden gerilmelerin ortalama ve standart sapma değerleri hesap edilirse:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=4}^6 \sigma_i}{n} = \frac{\sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6}{3}, \quad n=3$$

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=4}^6 (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(\sigma_4 - \bar{\sigma})^2 + (\sigma_5 - \bar{\sigma})^2 + (\sigma_6 - \bar{\sigma})^2}{2}}$$

elde edilir. Buna göre istenilen güvenilirlikteki sürekli mukavemet değerleri :

$$\% 90 \text{ güvenilirlikli : } \sigma_D = -1.28 S_{\sigma} + \bar{\sigma} \quad z_{\alpha} = \frac{\sigma - \bar{\sigma}}{S_{\sigma}} = -1.28 \quad (\text{EK-5'de})$$

$$\% 50 \text{ güvenilirlikli : } \sigma_D = \bar{\sigma} \quad z_{\alpha} = 0 \quad (\text{EK-5'de})$$

$$\% 10 \text{ güvenilirlikli : } \sigma_D = +1.28 S_{\sigma} + \bar{\sigma} \quad z_{\alpha} = 1.28 \quad (\text{EK-5'de})$$

Sürekli Mukavemet Bölgesi :

Her gerilme değeri için yük tekrarlarının logaritmik ömür ortalamaları ve bunların standart sapmaları hesaplanırsa :

σ_1 - gerilmede :

$$\bar{N}_l = \frac{\sum_{i=1}^3 N_i}{3} \quad S_{N_l} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (N_{li} - \bar{N}_l)^2}{2}}$$

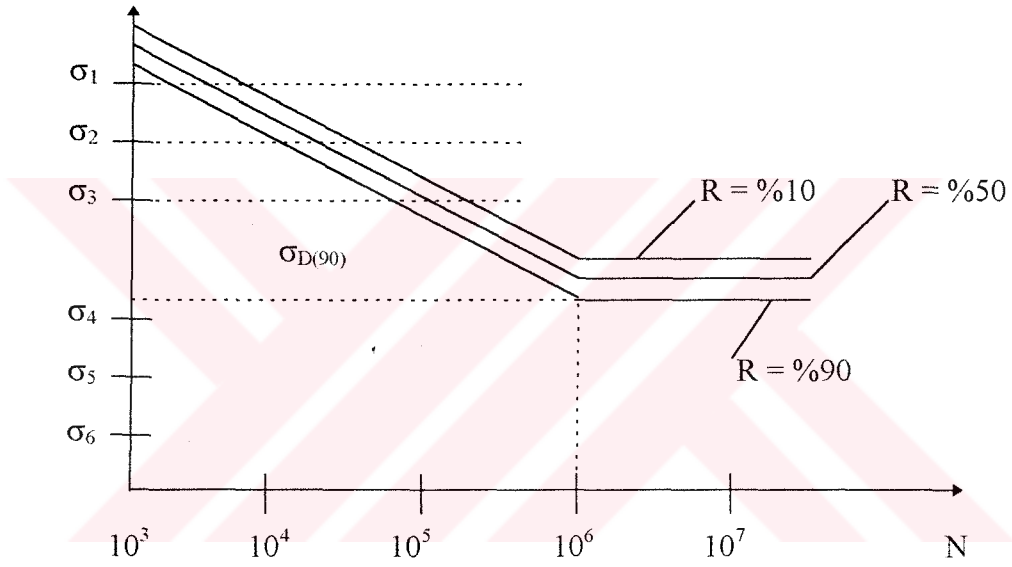
Buna göre istenilen güvenirlikteki ömür değerleri hesaplanırsa :

$$\% 90 \text{ güvenirlikli ömür : } N_f = -1.28 S_{Nf} \bar{N} \quad (\text{EK-5'de})$$

$$\% 50 \text{ güvenirlikli ömür : } N_f = \bar{N}$$

$$\%10 \text{ güvenirlikli Ömür : } N_f = -1.28 S_{Nf} + \bar{N} \quad (\text{EK-5'de})$$

Böylece zaman mukavemetindeki gerilmeler için benzer değerler bulunur. Bu değerleri de Wöhler diyagramına uygularsak



Şekil - 4.1.

4.1. Zaman Mukavemeti Bölgesinde Wöhler Diyagramının Sıra Ortancalarına Göre Çizimi

Wöhler diyagramının sürekli ve zaman mukavemeti bölgelerinde istatistik hesaplar yapılarak %10, % 50 ve % 90 hasar durumu gözönüne alınarak mukavemet değerleri için diyagramlar çizilir. Zaman mukavemeti bölgesinde istatistik hesaplar logaritmik normal dağılım gözönüne alınarak çizimler gerçekleştirilir. Zaman mukavemeti bölgesinde sıra

ortancaları olarak bilinen aşağıdaki hesap değerleri ile kolayca neticeye gitmek mümkün olmaktadır.

$$F = A = \frac{j}{n+1}, \quad F = A = \frac{j-0.3}{n+4} \quad (4.1)$$

J: Basamak indis.

Bir makina parçası $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i$ gerilme değerleri ile zorlansın. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.2.

Gerilme değeri σ	Ömür N (Yük tekr.)	Logaritmik Ömür (N_j)
σ_1	N_{11}	$N_{/11}$
	N_{12}	$N_{/12}$
	N_{13}	$N_{/13}$
σ_2	N_{21}	$N_{/21}$
	N_{22}	$N_{/22}$
	N_{23}	$N_{/23}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
σ_i	N_{i1}	$N_{/i1}$
	N_{i2}	$N_{/i2}$
	N_{i3}	$N_{/i3}$

Bu değerlere göre hasar durumu incelenecektir.

$$\sigma_1 \text{ için } j_{11} = 1 \quad F_{11} = \frac{1}{1+3} = \frac{1}{4} (\%) \rightarrow N_{111}$$

$$j_{12} = 2 \quad F_{12} = \frac{2}{1+3} = \frac{1}{2} (\%) \rightarrow N_{112}$$

$$j_{13} = 3 \quad F_{13} = \frac{3}{1+3} = \frac{3}{4} (\%) \rightarrow N_{113}$$

$$\sigma_2 \text{ iin } j_{21} = 1 \quad F_{21} = \frac{1}{4} (\%) \rightarrow N_{121}$$

$$j_{22} = 2 \quad F_{22} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} (\%) \rightarrow N_{122}$$

$$j_{23} = 3 \quad F_{23} = \frac{3}{4} (\%) \rightarrow N_{123}$$

$$\sigma_i \text{ iin } j_{i1} = 1 \quad F_{i1} = \frac{1}{4} (\%) \rightarrow N_{li1}$$

$$j_{i2} = 2 \quad F_{i2} = \frac{2}{4} (\%) \rightarrow N_{li2}$$

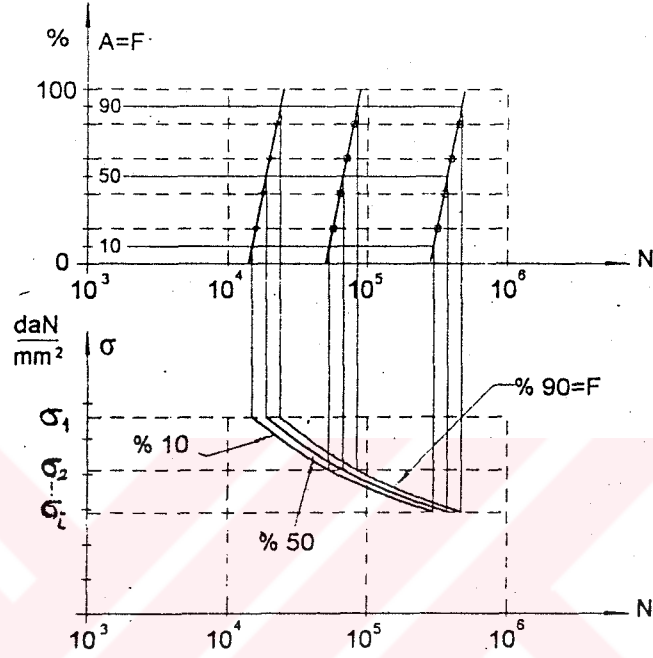
$$j_{i3} = 3 \quad F_{i3} = \frac{3}{4} (\%) \rightarrow N_{li3}$$

Bu değerlere göre Őyle bir tablo düzenlenebilir.

Tablo 4.3

Gerilme	Sıra Ortancası ($A_i = F_i$)		
σ (N/mm ²)	N_1	N_2	N_3
σ_1	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
σ_2	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
.	.	.	.
σ_i	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$

Bu değerler (A,N) diyagramında işaretlerinir ve bunlara karşılık gelen noktalar elde edilir. Aynı hasar yzdesine sahip noktalar uygun eğrilerle birleştirilerek Wöhler diyagramı çizilir. (şekil - 4.2)



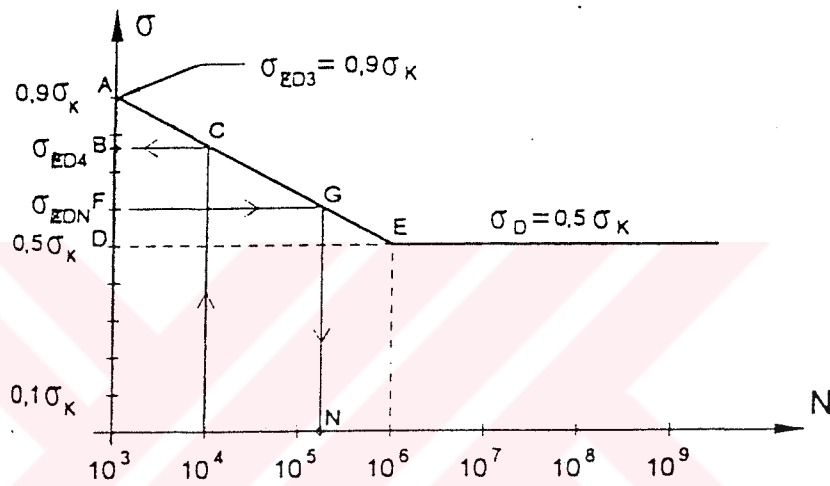
şekil 4.2.

5. Zaman Mukavemeti Bölgesinde Ömür Değerlerinin Analitik Hesabı [7]

5.1. Eğilme Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)

Genel imalat çelikleri için tam değişken eğilme haline ait Wöhler diyagramı aşağıdaki gibi çizilebilir. Genel olarak eğilme zorlanmasında $\sigma_D \approx 0.5 \sigma_K$ alınır.

Bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler EK-6'da verilmiştir.



Şekil 5.1

Makina konstrüksiyonlarında yük tekrar sayısına göre genellikle

- $N < 10^3$: Statik zorlanma bölgesi
- $10^3 < N < 10^6$: Zaman mukavemeti bölgesi
- $N < 10^6$: Sürekli mukavemet bölgesi.

olarak kabul edilir.

σ_{ZD3} : $N = 10^3$ yük tekrarını gerçekleştiren gerilme değeridir. Yani statik yük bütün ömür içinde 10^3 defa tesir ettirilebilir. Genel imalat çelikleri için çekme ve eğilmede bu değer $\sigma_{ZD3} = 0.9 \sigma_K$ olarak hesaplanmıştır.

$N = 10^4$ yük tekrarını gerçekleştiren gerilme değeri σ_{ZD4} olarak yazılır.

Eğilmede σ_{ZD4} değerini hesaplamak için ABC ve ABE üçgenlerinde benzer üçgen bağıntısı yazılırsa :

$$\overline{AB} / \overline{AD} = \overline{BC} / \overline{DE} \quad (5.1)$$

$$\overline{AB} = 0.9\sigma_K - \sigma_{ZD4}$$

$$\overline{AD} = 0.9\sigma_K - 0.5\sigma_K = 0.4\sigma_K$$

$$\overline{BC} = \log 10^4 - \log 10^3 = 1$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_{ZD4}}{0.4\sigma_K} = \frac{1}{3} \quad (5.2)$$

elde edilir. Buradan σ_{ZD4} çekilirse eğilme hali için

$$\sigma_{ZD4} = 0.766 \cdot \sigma_K \quad (5.3)$$

sonucuna ulaşılır.

Bulunan sonuçları genelleştirmek için herhangi bir N yük tekrarındaki σ_{ZDN} gerilmesini ele alalım. burada da AFG ve ADE üçgenlerine göre benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\overline{AF} / \overline{AD} = \overline{FG} / \overline{DE} \quad (5.4)$$

$$\overline{AF} = 0.9 \sigma_K - \sigma_{ZDN}$$

$$\overline{AD} = 0.9 \sigma_K - 0.5 \sigma_K = 0.4 \sigma_K$$

$$\overline{FG} = \log N - \log 10^3 = \log N - 3$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa

$$\frac{0.9 \sigma_K - \sigma_{ZDN}}{0.4 \sigma_K} = \frac{\log N - 3}{3} \quad (5.5)$$

elde edilir. Buradan σ_{ZDN} çekilirse

$$\sigma_{ZDN} = (1.3 - 0.133 \log N) \sigma_K \quad (5.6)$$

sonucuna ulaşılır. Genelleştirilmiş halde yazılan bu bağıntı eğilmede zaman mukavemeti bölgesinde ömür değerlerini verir.

5.2. Çekme Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)

Genel imalat çelikleri için tam değişken çekme haline ait Wöhler diyagramı aşağıdaki gibi çizilebilir.

Genel olarak çekme zorlanmalarında $\sigma_D \approx 0.4 \sigma_K$ alınır. Bu konu ile ayrıntılı bilgiler EK-6'da verilmiştir.

sonucuna ulaşılır.

Bulunan sonucu genelleştirmek için herhangi bir N yük tekrarındaki σ_{ZDN} gerilmesi ele alınır ve burada da AFG ve ADE üçgenlerine göre, benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\overline{AB} / \overline{AD} = \overline{FG} / \overline{DE} \quad (5.10)$$

$$\overline{AF} = 0.9 \sigma_K - \sigma_{ZDN}$$

$$\overline{AD} = 0.9 \sigma_K - 0.4 \sigma_K = 0.5 \sigma_K$$

$$\overline{FG} = \log N - \log 10^3 = \log N - 3$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan, bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa

$$\frac{0.9 \sigma_K - \sigma_{ZDN}}{0.5 \sigma_K} = \frac{\log N - 3}{3} \quad (5.11)$$

elde edilir. Buradan σ_{ZDN} çekilirse

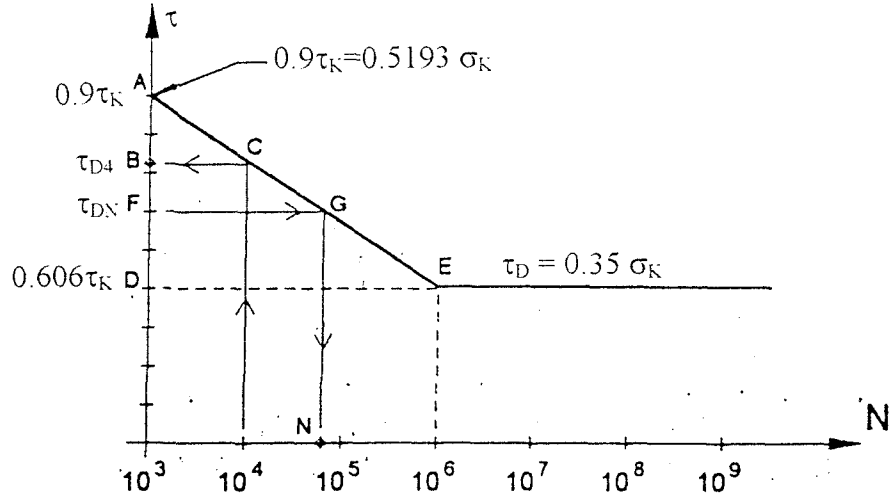
$$\sigma_{ZDN} = (1.4 - 0.1666 \log N) \sigma_K \quad (5.12)$$

sonucuna ulaşılır. Genelleştirilmiş halde yazılan bu bağıntı çekmede zaman mukavemeti bölgesinde ömür değerlerini verir.

5.3. Burulma Hali (Genel İmalat Çelikleri İçin)

Genel imalat çelikleri için tam değişken burulma haline ait Wöhler diyagramı aşağıdaki gibi çizilir.

Genel olarak burulma zorlanmalarında $\tau_D = 0.350 \sigma_K$ alınır. $\tau_K = 0.577 \sigma_K$. Bu konuyla ilgili daha ayrıntılı bilgiler EK-6'da verilmiştir.



Şekil 5.3.

Burulmada $N = 10^4$ tekrarını gerçekleştirerek gerilme değeri τ_{D4} ü hesaplamak için ABC ve ADE üçgenlerinde benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}} \quad (5.13)$$

$$\overline{AB} = 0.9 \tau_K - \tau_{D4}$$

$$\overline{AD} = 0.9 \tau_K - 0.606 \tau_K = 0.294 \tau_K$$

$$\overline{BC} = \log 10^4 - \log 10^3 = 1$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa

$$\frac{0.9 \tau_K - \tau_{D4}}{0.294 \tau_K} = \frac{1}{3} \quad (5.14)$$

elde edilir. Buradan τ_{D4} çekilirse burulma hali için

$$\tau_{D4} = 0.802 \tau_K \quad (5.15)$$

sonucuna ulaşılır.

Bulunan sonucu genelleştirmek için herhangi bir N yük tekrarındaki τ_{DN} gerilmesi ele alınır ve burada da AFG ve ADE üçgenlerine göre benzer üçgen bağıntısı yazılırsa:

$$\overline{AB} / \overline{AD} = \overline{FC} / \overline{DE} \quad (5.16)$$

$$\overline{AF} = 0.9 \tau_K - \tau_{DN}$$

$$\overline{AD} = 0.9 \tau_K - 0.606 \tau_K = 0.294 \tau_K$$

$$\overline{FC} = \log N - \log 10^3 = \log N - 3$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan bu değerler (5.16)'da kullanılırsa

$$\frac{0.9 \tau_K - \tau_{DN}}{0.294 \tau_K} = \frac{\log N - 3}{3} \quad (5.17)$$

elde edilir. Buradan τ_{DN} çekilirse

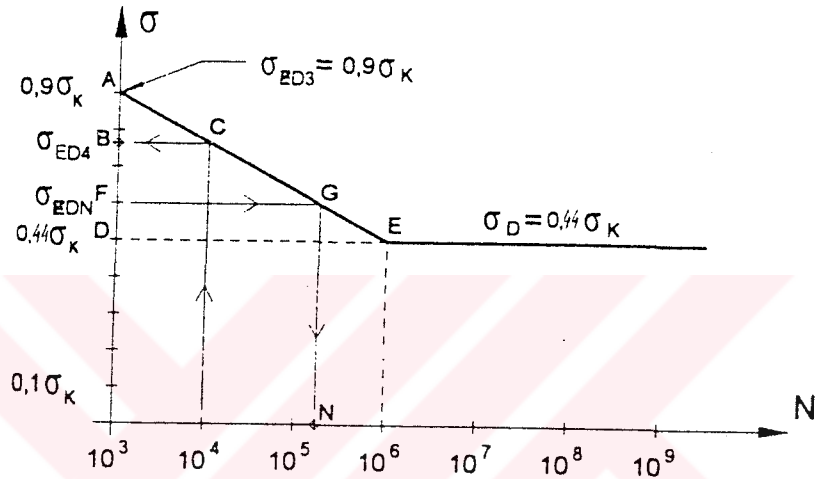
$$\tau_{DN} = (1.194 - 0.098 \log N) \tau_K \quad (5.18)$$

sonucuna ulaşılır. Genelleştirilmiş halde yazılan bu bağıntı burulmada zaman mukavemeti bölgesinde ömür değerlerini verir. Yukarıdaki pratik Wöhler diyagramı çizimleri yalnız genel imalat çelikleri için yapılmıştır.

5.4-Eğilme Hali (Islah Çelikleri İçin) [7]

Islah çelikleri için,tam değişken eğilme haline ait Wöhler diyagramı aşağıdaki gibi çizilebilir.

Genel olarak ıslah çeliklerinde $\sigma_D=0.44\sigma_K$ alınır. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler EK-6'da verilmiştir.



Eğilmelerde $N=10^4$ yük tekrarı gerçekleştirecek gerilme değeri σ_{ED4} 'ü hesaplamak için ABC ve ADE üçgenlerinde benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AD}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{DE}} \quad (5.19)$$

$$AB=0.9\sigma_K-\sigma_{ED4}$$

$$AD=0.9\sigma_K-0.44\sigma_K=0.46\sigma_K$$

$$BC=\log 10^4-\log 10^3=1$$

$$DE=\log 10^6-\log 10^3=3$$

olduğundan bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa,

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_{ED4}}{0.46\sigma_K} = \frac{1}{3} \quad (5.20)$$

elde edilir. Buradan σ_{ED4} çekilirse, eğilme hali için

$$\sigma_{ED4} = 0.747\sigma_K$$

sonucuna ulaşılır. Bulunan sonucu genelleştirmek için herhangi bir N yük tekrarındaki σ_{EDN} gerilmesi ele alınır ve burada da AFG ve ADE üçgenlerine göre, benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\overline{AF} / \overline{AD} = \overline{FG} / \overline{DE} \quad (5.21)$$

$$AF = 0.9\sigma_K - \sigma_{EDN}$$

$$AD = 0.46\sigma_K$$

$$FG = \log N - \log 10^3 = \log N - 3$$

$$DE = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

olduğundan bu değerler yukarıdaki bağıntıda kullanılırsa,

$$\frac{0.9\sigma_K - \sigma_{EDN}}{0.46\sigma_K} = \frac{\log N - 3}{3} \quad (5.22)$$

elde edilir. Buradan σ_{EDN} çekilirse

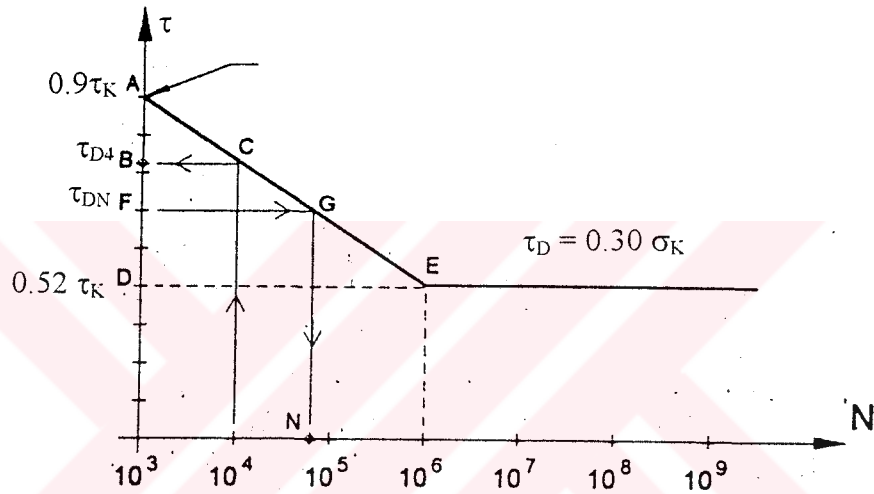
$$\sigma_{EDN} = (1.36 - 0.1533 \log N) \sigma_K \quad (5.23)$$

sonucuna ulaşılır. Genelleştirilmiş halde yazılan bu bağıntı eğilmede zaman mukavemeti (sürel mukavemet) bölgesinde ömür değerlerini verir.

5.5-Burulma Hali (Islah Çelikleri İçin) [7]

Islah çelikleri için tam değişken burulma haline ait Wöhler diyagramı aşağıdaki gibi çizilebilir.

Genel olarak ıslah çeliklerinde $\tau_D=0.30\sigma_K$ alınır. $\tau_K=0.577\sigma_K$. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler EK-6'da verilmiştir.



Şekil 5.5.

Burulmada $N=10^4$ yük tekrarını gerçekleştirecek gerilme değeri τ_{D4} 'ü hesaplamak için ABC ve ADE üçgenlerinde benzer üçgen bağıntısı yazılırsa,

$$\overline{AB} / \overline{AD} = \overline{BC} / \overline{DE} \quad (5.24)$$

$$\overline{AB} = 0.9\tau_K - \tau_{D4}$$

$$\overline{AD} = 0.9\tau_K - 0.52\tau_K = 0.38\tau_K$$

$$\overline{BC} = \log 10^4 - \log 10^3 = 1$$

$$\overline{DE} = \log 10^6 - \log 10^3 = 3$$

$$\frac{0.9\tau_K - \tau_{D4}}{0.38\tau_K} = \frac{3}{1} \quad (5.25)$$

elde edilir. Buradan τ_{D4} çekilirse burulma hali için

$$\tau_{D4} = 0.773\tau_K \quad (5.26)$$

sonucuna ulaşılır.

Bulunan sonucu genelleştirmek için herhangi bir N yük tekrarındaki τ_{DN} gerilmesi ele alınır ve burada da AFG ve ADE üçgenlerine göre benzer üçgen bağıntısı yazılırsa

$$\overline{AF} / \overline{AD} = \overline{FG} / \overline{DE} \quad (5.27)$$

$$\overline{AF} = 0.9\tau_K - \tau_{DN}$$

$$\overline{AD} = 0.38\tau_K$$

$$\overline{DE} = 3$$

$$\overline{FG} = \log N - 3$$

olduğundan bu değerler (5.27) de kullanılırsa

$$\frac{0.9\tau_K - \tau_{DN}}{0.38\tau_K} = \frac{\log N - 3}{3} \quad (5.28)$$

elde edilir. Buradan τ_{DN} çekilirse

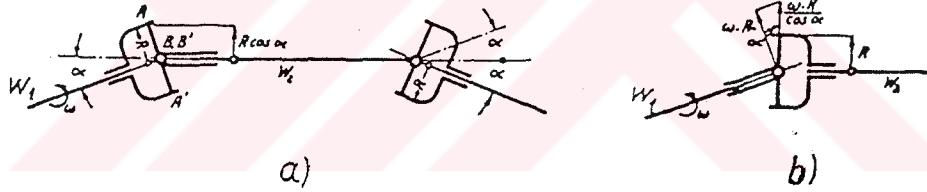
$$\tau_{DN} = (1.28 - 0.127 \log N) \tau_K \quad (5.29)$$

sonucuna ulaşılır. Genelleştirilmiş halde yazılan bu bağıntı burulmada (ıslah çelikleri için) zaman mukavemeti bölgesinde ömür değerlerini verir.

6-Kardan Kavraması [6]

Amerikalıların Hooke kavraması ve bazı yazarlarımızın haç mafsallı kavrama da dedikleri bu kavramaları görevi eksenleri karşılıklı olarak $5^\circ \dots 8^\circ$ eğik olan milleri bağlamaktır. Kardan kavraması dört temel parçadan meydana gelmiştir: uçlarında iki muylu bulunan, mil uçlarına kamalı iki kovan, bu kovan muylularına yataklık yapan ve bunları birleştiren yuvalı iki bilezik, yardımcı parça olarak da bilezikleri birleştiren civatalar ve yatak burçları ile mil kamalarıdır. Kardan, vites kutusundan arka tekerleklere gücün taşınmasında, arka tekerleklerin yayanmasından ötürü shaftın oynayabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Otomobilin altında, toz ve çamura maruz bir durumda bulunuşu, tozdan korunmasını ve iyice yağlanmasını gerektirir. Tozdan korunmak için burç başları kapalı çatallı kovanlar küresel torna edilmiş olup, içi küresel bileziklerde oturmaktadır.

Kardan kavramalarının başlıca mahzuru, ω -açısal hızı sabit olarak nakledememeleridir.



Şekil 6.1-Kardan kavramasında açısal hızlar.

Şekil 6.1 de görüldüğü gibi sabit bir açısal hız ile dönen W_1 mili W_2 milini değişken bir açısal hızla döndürmektedir; a-durumda A ve A' muyluları B ve B' muylularını $R \cos \alpha$ kolu ile döndürdüklerinden bunların hızı ωR olmayıp, $V_{\min} = \omega R \cos \alpha$ dır. 90° lik bir dönüşten sonra b-durum meydana gelmekte ve burada $V_{\max} = \frac{\omega R}{\cos \alpha}$ olmaktadır.

$$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (6.1)$$

olarak değişen hızın oranını buluruz ki 5°lik açılar için bile ($1/\cos^2\alpha=1.008$) kendini hissettiren hız farkları meydana gelir; α açısı büyüdükçe bu farklar da artar ve $\alpha=10^\circ$ de değerleri 1.031 yani %3.1 olur; $\alpha=20^\circ$ de %12.4 ve $\alpha=40^\circ$ de ise %54 lük hız farkları meydana gelir.

6.1-Kardan Mili Hesapları [1]

Şekil-6.2 de W_1 milinin eksenine göre kaplinin iki görünüşü şema halinde gösterilmiştir. aa ve bb doğruları sırasıyla W_1 ve W_2 millerine bağlı çatalları göstermektedir. Miller dönerken aa bir daire, bb ise kesik çizgilerle gösterilmiş bir elips çizer.

W_1 mili aa' dan a_1a_1' 'e φ_1 açısı kadar döndüğü takdirde, izdüşüm düzleminde bb aynı φ_1 açısını tarayarak b_1b_1' 'e kadar dönecektir. Buna karşılık bb_1 kendi düzleminde φ_2 açısı kadar dönmüş olacaktır. Bu açıyı diğer bir deyimle b_2 noktasını tayin etmek için ilkin b_1' noktası bulunur. Bu noktanın aa düzlemindeki izdüşümü c_2 noktası olup bunu düşey düzlemde iz düşürmek suretiyle aranan b_2 noktası bulunur. b_1 ve b_2 noktalarının aa üzerindeki izdüşümleri sırasıyla c_1 ve c_2 olduğu takdirde,

$$\tan \varphi_1 = \frac{oc_1}{b_1c_1} \quad \text{ve} \quad \tan \varphi_2 = \frac{oc_2}{b_2c_2} = \frac{oc_2}{b_1c_1}$$

ifadeleri yazılır ki bunlardan da

$$\frac{\tan \varphi_2}{\tan \varphi_1} = \frac{oc_1}{oc_2} = \frac{oc_1}{ob_1} = \cos \alpha$$

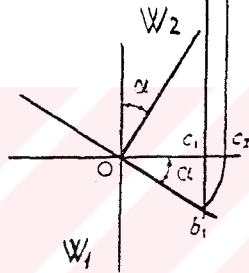
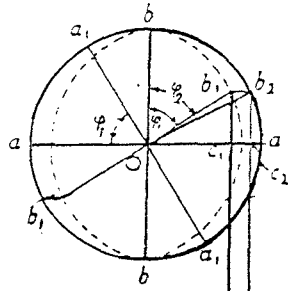
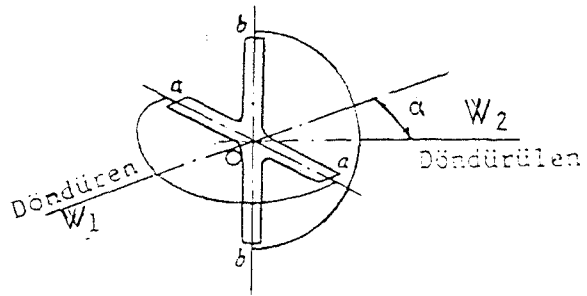
veya

$$\tan \varphi_1 = \tan \varphi_2 \cos \alpha$$

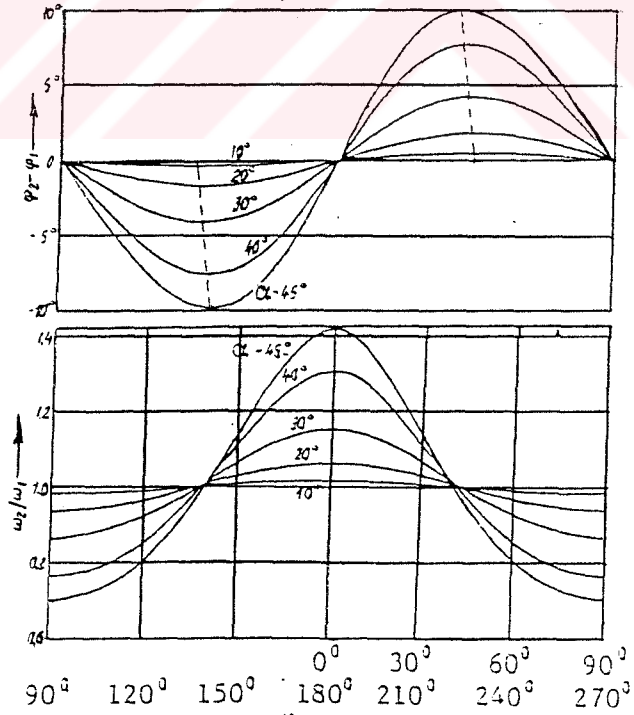
elde edilir. Bu denklemin iki tarafının zamana göre türevi alınırsa,

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi_1} \quad (6.2)$$

denklemini bulunur. Şekil-6.3 de de görüldüğü gibi $\cos \varphi_1 = \pm 1$, yani $\varphi_1=0^\circ$ ve 180° için ω_2/ω_1 oranı max. değerini ($1/\cos \alpha$) alır ve $\cos \varphi_1=0$, yani $\varphi_1=90^\circ$ ve 270° için ω_2/ω_1 oranı min. değerini ($\cos \alpha$) alır.



Şekil - 6.2



Şekil - 6.3

Böylece bir devir sırasında döndürülen milin hızı

$$\omega_{2\max} = \frac{\omega_1}{\cos\alpha} \quad \text{ve} \quad \omega_{2\min} = \omega_1 \cos\alpha$$

veya

$$n_{2\max} = \frac{n_1}{\cos\alpha} \quad \text{ve} \quad n_{2\min} = n_1 \cos\alpha \quad (6.3)$$

olmak üzere iki defa max.'dan ve iki defa min.'dan geçer. Sistemin hız geçişindeki düzgünsüzlüğü

$$\delta = \frac{\omega_{2\max} - \omega_{2\min}}{\omega_1} = \frac{1/\cos\alpha - \cos\alpha}{1} = \sin\alpha \tan\alpha \quad (6.4)$$

düzgünsüzlük sayısı ile tarif edilir.

Böylece

$$\tan\varphi_1 = \pm\sqrt{\cos\alpha}$$

koşulunu gerçekleştiren dört simetrik noktada $\omega_2 = \omega_1$ dir. Bu da gösteriyor ki, döndürülen mil sabit hızla dönerken, döndürülen mil bir dönüşte ancak dört defa döndüren milin açısal hızından geçecektir.

(6.2) denkleminde

$$\omega_2 = \frac{\cos\alpha}{1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1} * \omega_1 \quad (6.5)$$

yazılır ve bu ifadenin zamana göre türevi alınırsa döndürülen milin açısal ivmesi

$$a_{a_2} = \frac{d\omega_2}{dt} = -\omega_1 \frac{\cos\alpha \sin^2\alpha \sin^2\varphi_1}{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)^2} \quad (6.6)$$

şeklinde bulunur.

Max. açısal ivme için

$$\frac{d}{d\varphi_1} \left[\frac{\sin 2\varphi_1}{(1 - \sin^2\alpha \cos^2\varphi_1)^2} \right] = 0$$

ifadesi yazılır ki bundan da

$$\cos 2\varphi_1 = \frac{2 \sin^2\alpha (2 - \cos^2 2\varphi_1)}{2 - \sin^2\alpha}$$

bulunur. Bu denklem φ_1 'e göre çözülürse, $\alpha \leq 30^\circ$ olmak üzere, $\varphi_1 \approx 45^\circ$ sonucuna varılır ki $\cos^2 2\varphi_1$ değeri 2'ye göre çok küçüktür. Bu nedenle yukarıdaki denklem

$$\cos 2\varphi_1 \approx \frac{2 \sin^2 \alpha}{2 - \sin^2 \alpha} \quad (6.7)$$

tarzında basitleştirilir. Bu ifade $\alpha \leq 30^\circ$ olması koşulu ile geçerlidir.

Açısal ivme $a_{a_2} = \frac{d\omega_2}{dt}$, sistemde darbe ve titreşimleri meydana getiren

$$M_{km} = a_{a_2} I_{m_2} \quad (6.8)$$

kütlesel momentinin doğmasına neden olur. Diğer taraftan mafsallardaki sürtünme kaybı ihmal edilir ve enerjinin tamamı döndüren milden döndürülen mile iletiildiği kabul edilirse

$$M_{b_1} \omega_1 = M_{b_2} \omega_2 \quad (6.9)$$

ifadesinden

$$M_{b_2} = M_{b_1} \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

yazılır. (6.10) denklemleri göz önünde tutulursa döndürülen mil

$$M_{b_2 \max} = M_{b_1} \frac{\omega_1}{\omega_{2 \min}} = M_{b_1} \frac{1}{\cos \alpha} \quad (6.10)$$

$$M_{b_2 \min} = M_{b_1} \frac{\omega_1}{\omega_{2 \max}} = M_{b_1} \cos \alpha$$

değerleri arasında değişen burulma momentine maruzdur.

7-Mil Hesapları [5]

Millerde daire kesiti ve boyları uzun birer makina elemanıdır. Genel olarak çevresel kuvvetler, yani momentler taşırlar ve burulmaya çalışırlar, taşıdıkları yüklerden otürü burulma ile birlikte eğilmeye de çalışabilirler.

a)Burulmaya göre:

Milin taşıyacağı güç $N[BG]$ olarak ve dakikada yapacağı dönüş $n[d/dak]$ olarak bilindikten sonra milin çapı $d[cm]$ olarak şöyle hesaplanır:

Eğilmeye çalışan bir mildeki eğilme momenti

$$M_e = W_e \sigma_e = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_e \approx 0.1d^3 \sigma_e \quad (7.1)$$

Burulmaya çalışan bir mildeki burulma momenti:

$$M_b = W_b \tau = \frac{\pi d^3}{16} \tau = 0.2d^3 \tau \quad (7.2)$$

dır.

İçi boş millerin hesaplarında yalnız W_b mukavemet momenti değerleri değişir:

$$N = P.V = \frac{PV}{75} [BG] \quad (7.3)$$

$$1BG=0.736kW=75daN.m/s$$

$$1kW=1.36BG=102daN.m/s$$

$$V = \frac{2\pi.r.n}{60} \text{ değerini (7.3) de yerine koyar ve } P.r = M_b \text{ olarak alır ve formülü } M_b \text{ ya göre}$$

çözersek

$$M_b = 716.2 \frac{N}{n} [N.m] \quad (7.4)$$

buluruz. Burulan bir milde $M_b = W_b \tau$ olduğunu hatırlar ve (7.4) ile (7.2) yi eşitler ve formülü d 'ye göre çözersek mil çapı için şu formülü buluruz:

$$d = \sqrt[3]{\frac{716.2}{\tau} 5 \frac{N}{n}} \quad [m] \quad (7.5)$$

Bu formüldeki $716.2 N/n = M_b$ olduğundan şu şekilde yazabiliriz:

$$d = \sqrt[3]{\frac{5M_b}{\tau}} = \sqrt[3]{\frac{16M_b}{\pi\tau}} \quad [m] \quad (7.6)$$

olur.

İçi boş silindirik kesitlerde dış çap D ve iç çap d ile gösterilse burulma mukavemet momenti:

$$W_b = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) \quad (7.7)$$

ve milin dış çapı

$$D = \frac{1}{\sqrt[3]{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \sqrt[3]{\frac{16M_b}{\pi\tau}} \quad [m] \quad (7.8)$$

olacaktır.

7.1-Burulma ve Eğilme Etkisi (Bileşik Zorlanma Durumu) [5]

Yukarıda sözü edilen burulma gerilmesine ek olarak eğilme gerilmelerinin tayini için denge denklemlerinden yatak tepkilerinin ve eğilme momenti diyagramlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tehlikeli kesitlerde bileşik zorlanma durumları göz önüne alınmalı ve buna göre eşdeğer gerilmeler hesaplanmalıdır. Sadece eğilmeye göre mil hesabı yapılamaz.

Eğilme gerilmesi için

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \leq \sigma_{em}$$

Burulma gerilmesi için

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \tau_{bem}$$

eşitlikleri yazılır. Mildeki bileşik gerilmenin hesabı için kırılma varsayımlarından yararlanır. Bunlardan şekil değiştirme enerjisi varsayımına göre eşdeğer gerilme:

$$\sigma_{es} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_b^2} \leq \sigma_{esem} \quad (7.9)$$

olarak yazılır.

Şayet gerilmeler moment cinsinden yazılırsa eşdeğer gerilme, içi dolu kesitler için

$$\sigma_{ep} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{M_e^2 + \frac{M_b^2}{2}} \leq \sigma_{epem} \quad (7.10)$$

veya burada

$$M_{ep} = \sqrt{M_e^2 + \frac{M_b^2}{2}} \quad (7.11)$$

denirse

$$\sigma_{ep} = \frac{32}{\pi d^3} M_{ep} \leq \sigma_{epm} \quad (7.12)$$

yazılabilir. Böylece mil çapı olarak

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 M_{ep}}{\pi \sigma_{epm}}} \quad (7.13)$$

eşitliği bulunmuş olacak.

BÖLÜM II**8-NÜMERİK DEĞERLENDİRMELER**

Kayıcı mil malzemesi:	42CrMo4 (Ç4140)
Uzatma borusu malzemesi:	St 34
Motor gücü:	78 BG (4500d/d)
Max. Tork:	14,6 daN.m (2800d/d)
Diferansiyelin çevrim oranı:	$i_d = 5,38$

Viteslerin çevrim oranları:

1. Vites	$i_1 = 3,96$
2. Vites	$i_2 = 2,39$
3. Vites	$i_3 = 1,57$
4. Vites	$i_4 = 1,00$
Takviye vites	$i_T = 2,46$

Tekerlek çapı: $D_t = 800 \text{ mm}$

Kardan milinin eğim açısı: $\alpha = 9^\circ$

Aracın değişik viteslerdeki hız durumu:

1. Vites	$V_1 = 10 \dots 25 \text{ km/h}$
2. Vites	$V_2 = 20 \dots 50 \text{ km/h}$
3. Vites	$V_3 = 33 \dots 80 \text{ km/h}$
4. Vites	$V_4 = 45 \dots 110 \text{ km/h}$

8.1- KARDAN MİLİ

8.1.1 Devirsayıları Hesapları

Verilen değerlere göre kardan milinin (EK-2'de) devirsayılarını hesaplayacağız.
Önce her vitese tekabül eden tekerlek devirsayılarını bulalım:

$$V = \omega_t r_t = \frac{\pi n_t r_t}{30} \quad [\text{m/s}]$$

Buradan tekerlek devirsayısı:

$$n_t = \frac{30V}{\pi r_t}$$

olur. Yukarıdaki formüle göre her vitesteki tekerlek devirsayılarını tespit edelim:

1. Vites: $V_{11} = 10\text{km/h} = 2.8\text{m/s}; \quad V_{12} = 25\text{km/h} = 6.9\text{m/s};$

$$n_{t11} = \frac{30 \cdot 2,8}{\pi \cdot 0,4} = 66,8 \text{ d/d}$$

$$n_{t12} = \frac{30 \cdot 6,9}{\pi \cdot 0,4} = 164,7 \text{ d/d}$$

2. Vites: $V_{21} = 20\text{km/h} = 5.5\text{m/s}; \quad V_{22} = 50\text{km/h} = 13.8\text{m/s};$

$$n_{t21} = 131.3 \text{ d/d}$$

$$n_{t22} = 329.5 \text{ d/d}$$

3. Vites: $V_{31} = 33\text{km/h} = 9.2\text{m/s}; \quad V_{32} = 80\text{km/h} = 22.2\text{m/s};$

$$n_{t31} = 219.6 \text{ d/d}$$

$$n_{t32} = 530 \text{ d/d}$$

4. Vites: $V_{41} = 45\text{km/h} = 12.5\text{m/s}; \quad V_{42} = 110\text{km/h} = 30.5\text{m/s};$

$$n_{t41} = 298.4 \text{ d/d}$$

$$n_{t42} = 728 \text{ d/d}$$

Bu sonuçlarla mahrutinin devirsayılarını hesaplayabiliriz. Bilindiği gibi mahrutü ile vites kutusu çıkış milinin hızları aynıdır. Bunlarla paralel olarak motor devrini de hesaplayalım.

Vites kutusu çıkış mili devirsayıları:

$$1. \text{ Vites: } n_{v.k11} = n_{t11} \cdot i_d = 66,8 \cdot 5,38 = 359 \text{ d/d}$$

$$n_{v.k12} = 886 \text{ d/d}$$

$$2. \text{ Vites: } n_{v.k21} = 706 \text{ d/d}$$

$$n_{v.k22} = 1773 \text{ d/d}$$

$$3. \text{ Vites: } n_{v.k31} = 1181 \text{ d/d}$$

$$n_{v.k32} = 2851 \text{ d/d}$$

$$4. \text{ Vites: } n_{v.k41} = 1605 \text{ d/d}$$

$$n_{v.k42} = 3916 \text{ d/d}$$

Motor devirsayıları:

$$n_{M11} = n_{v.k11} i_1 = 359 \cdot 3,96 = 1422 \text{ d/d}$$

$$n_{M12} = 3508 \text{ d/d}$$

$$n_{M21} = 1687 \text{ d/d}$$

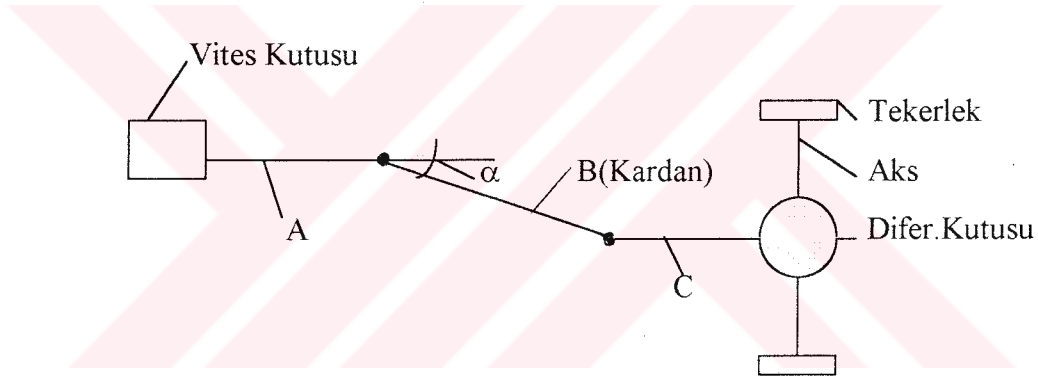
$$n_{M22} = 4237 \text{ d/d}$$

$$n_{M31} = 1854 \text{ d/d}$$

$$n_{M32} = 4476 \text{ d/d}$$

$$n_{M41} = 1605 \text{ d/d}$$

$$n_{M42} = 3916 \text{ d/d}$$



Şekil - 8.1. Araç hareketli kısımlarının modeli

Yukarıda belirttiğimiz gibi mahrutü (C) ile vites kutusu çıkış milinin (A) hızları aynıdır.

Buna göre:

$$\omega_{B \max} = \frac{\omega_A}{\cos \alpha} = \frac{\omega_C}{\cos \alpha} \quad \omega_{B \min} = \omega_A \cos \alpha = \omega_C \cos \alpha \quad (8.1)$$

veya

$$n_{B \max} = \frac{n_A}{\cos \alpha} = \frac{n_C}{\cos \alpha} \quad n_{B \min} = n_A \cos \alpha = n_C \cos \alpha \quad (8.2)$$

olmaktadır.

Buradan yola çıkarak kardan milinin max. ve min. hızlarını bulabiliriz:

$$1. \text{ Vites: } n_{K \max 11} = n_{v.k 11} / \cos \alpha = 359 / \cos 9^\circ = 363 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 11} = n_{v.k 11} \cos \alpha = 359 \cos 9^\circ = 354 \text{ d/d}$$

$$n_{K \max 12} = n_{v.k 12} / \cos \alpha = 886 / \cos 9^\circ = 897 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 12} = n_{v.k 12} \cos \alpha = 886 \cos 9^\circ = 875 \text{ d/d}$$

$$2. \text{ Vites: } n_{K \max 21} = n_{v.k 21} / \cos \alpha = 706 / \cos 9^\circ = 715 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 21} = n_{v.k 21} \cos \alpha = 706 \cos 9^\circ = 697 \text{ d/d}$$

$$n_{K \max 22} = n_{v.k 22} / \cos \alpha = 1773 / \cos 9^\circ = 1795 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 22} = n_{v.k 22} \cos \alpha = 1773 \cos 9^\circ = 1751 \text{ d/d}$$

$$3. \text{ Vites: } n_{K \max 31} = n_{v.k 31} / \cos \alpha = 1181 / \cos 9^\circ = 1196 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 31} = n_{v.k 31} \cos \alpha = 1181 \cos 9^\circ = 1166 \text{ d/d}$$

$$n_{K \max 32} = n_{v.k 32} / \cos \alpha = 2851 / \cos 9^\circ = 2886 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 32} = n_{v.k 32} \cos \alpha = 2851 \cos 9^\circ = 2881 \text{ d/d}$$

$$4. \text{ Vites: } n_{K \max 41} = n_{v.k 41} / \cos \alpha = 1605 / \cos 9^\circ = 1625 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 41} = n_{v.k 41} \cos \alpha = 1605 \cos 9^\circ = 1585 \text{ d/d}$$

$$n_{K \max 42} = n_{v.k 42} / \cos \alpha = 3916 / \cos 9^\circ = 3965 \text{ d/d}$$

$$n_{K \min 42} = n_{v.k 42} \cos \alpha = 3916 \cos 9^\circ = 3868 \text{ d/d}$$

8.1.2-Moment Hesapları

Yukarıda hesaplanan değerlerle kardan milindeki momentleri bulmaya çalışalım. Bunun için kardan milinin: 1.kayıcı mil ve 2.uzatma borusu olarak ikiye ayırarak hesaplayacağız. Motor performans (n-M_b) diyagramından motorun çıkış momentleri aşağıdaki gibidir (Diyagram EK-1'de)

1. Vites: $n_{M11} = 1422d/d$ de	$M_{bM11} = 11700daN.mm$
$n_{M12} = 3508d/d$ de	$M_{bM12} = 13450daN.mm$
2. Vites: $n_{M21} = 1687d/d$ de	$M_{bM21} = 12100daN.mm$
$n_{M12} = 4237d/d$ de	$M_{bM22} = 12350daN.mm$
3. Vites: $n_{M31} = 1854d/d$ de	$M_{bM31} = 12300daN.mm$
$n_{M32} = 4476d/d$ de	$M_{bM32} = 11900daN.mm$
4. Vites: $n_{M41} = 1605d/d$ de	$M_{bM41} = 11900daN.mm$
$n_{M42} = 3916d/d$ de	$M_{bM42} = 12850daN.mm$

Vites kutusundan çıkış momentleri aşağıdaki gibidir:

1. Vites: $M_{bA11} = M_{bM11} \cdot i_1 = 11700 \cdot 3,96 = 46332daN.mm$
$M_{bA12} = M_{bM12} \cdot i_1 = 13450 \cdot 3,96 = 53262daN.mm$
2. Vites: $M_{bA21} = M_{bM21} \cdot i_2 = 12100 \cdot 2,39 = 28919daN.mm$
$M_{bA22} = M_{bM22} \cdot i_2 = 12350 \cdot 2,39 = 29516daN.mm$
3. Vites: $M_{bA31} = M_{bM31} \cdot i_3 = 12300 \cdot 1,57 = 19311daN.mm$
$M_{bA32} = M_{bM32} \cdot i_3 = 11900 \cdot 1,57 = 18683daN.mm$
4. Vites: $M_{bA41} = M_{bM41} \cdot i_4 = 11900 \cdot 1,00 = 11900daN.mm$
$M_{bA41} = M_{bM41} \cdot i_4 = 12850 \cdot 1,00 = 12850daN.mm$

olacaktır.

Bulunan değerler vites kutusundan çıkan, yani vites kutusu çıkış mili (A)'nın moment değerleridir. Kardan (B) milinin momentleri α eğim açısından dolayı farklı olacaktır.

$$M_{bB \max} = \frac{M_{bA}}{\cos \alpha} \quad (8.3)$$

$$M_{bB \min} = M_{bA} \cos \alpha \quad (8.4)$$

denklemleri gözönünde bulundurularak işlemler yapılırsa:

$$1. \text{ Vites: } M_{bB11 \max} = M_{bA11} / \cos \alpha = 46332 / \cos 9^\circ = 46909 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB11 \min} = M_{bA11} \cdot \cos \alpha = 46332 \cdot \cos 9^\circ = 45762 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB12 \max} = 53926 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB12 \min} = 52606 \text{ daN.mm}$$

$$2. \text{ Vites: } M_{bB21 \max} = 29279 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB21 \min} = 28563 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB22 \max} = 29884 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB22 \min} = 29153 \text{ daN.mm}$$

$$3. \text{ Vites: } M_{bB31 \max} = 19552 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB31 \min} = 19073 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB32 \max} = 18916 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB32 \min} = 18453 \text{ daN.mm}$$

$$4. \text{ Vites: } M_{bB41 \max} = 12048 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB41 \min} = 11753 \text{ daN.mm}$$

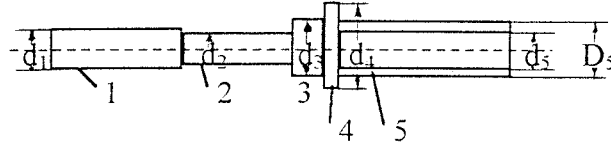
$$M_{bB42 \max} = 13010 \text{ daN.mm}$$

$$M_{bB42 \min} = 12692 \text{ daN.mm}$$

8.1.3-Gerilme Hesapları

a)Kayıcı Mil

Önce kayıcı mil için gerilme hesapları yapacağız. Onun için kayıcı mili kısımlara ayıracağız.



Şekil-8.1 Kayıcı mil modeli

$d_1 = 26.5$ mm (feder kısmının ortalama çapı)

$d_2 = 26$ mm

$d_3 = 37$ mm

$d_4 = 45$ mm

$D_5 = 40$ mm

$d_5 = 33$ mm

1.KISIM

1. Kısımın burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_1} = \frac{\pi d_1^3}{16} = \frac{\pi \cdot (26.5)^3}{16} = 3654 \text{ mm}^3$$

Nominal burulma gerilmesinin genel formülü:

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{\frac{\pi d^3}{16}}$$

idi. Yukarıda hesaplanan değerleri bu formüle uygulayarak kayıcı milin 1.kısımındaki nominal gerilmenin max. ve min. değerlerini hesaplayalım ($M_{b_{ij}}^{(B)}$ - kardan milinin momentleri) :

$$1. \text{ Vites: } \tau_{b_{11\max}}^{(I)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{46909}{3654} = 12.84 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(I)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{45762}{3654} = 12.52 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{12\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{53926}{3654} = 14.76 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{52606}{3654} = 14.40 \text{ daN/mm}^2$$

2. Vites:

$$\tau_{b_{21\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{21\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{29279}{3654} = 8.01 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{21\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{21\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{28563}{3654} = 7.82 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{22\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{29884}{3654} = 8.18 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{22\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{29153}{3654} = 7.98 \text{ daN/mm}^2$$

3. Vites:

$$\tau_{b_{31\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{31\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{19552}{3654} = 5.35 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{31\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{31\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{19073}{3654} = 5.22 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{32\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{18916}{3654} = 5.18 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{32\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{18453}{3654} = 5.05 \text{ daN/mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{41\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{41\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{12048}{3654} = 3.30 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{41\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{11753}{3654} = 3.22 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\max}}^{(1)} = \frac{M_{b_{42\max}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{13010}{3654} = 3.56 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\min}}^{(1)} = \frac{M_{b_{42\min}}^{(B)}}{W_{b_1}} = \frac{12692}{3654} = 3.47 \text{ daN/mm}^2$$

2.KISIM

Kayıcı milin 2.kısımının burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_2} = \frac{\pi d_2^3}{16} = \frac{\pi \cdot 26^3}{16} = 3451 \text{mm}^3$$

Kayıcı milin 1.kısımı için yapılan işlemlerin aynısı 2.kısım için uygulanırsa:

1.Vites: $\tau_{b_{11\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{46909}{3451} = 13.59 \text{daN/mm}^2$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{45762}{3451} = 13.26 \text{daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{12\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{53926}{3451} = 15.63 \text{daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{12\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{52606}{3451} = 15.24 \text{daN/mm}^2$$

2.Vites: $\tau_{b_{21\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{21\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{29279}{3451} = 8.48 \text{daN/mm}^2$

$$\tau_{b_{21\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{21\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{28563}{3451} = 8.28 \text{daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{22\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{29884}{3451} = 8.66 \text{daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{22\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{29153}{3451} = 8.45 \text{daN/mm}^2$$

3.Vites: $\tau_{b_{31\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{31\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{19552}{3451} = 5.66 \text{daN/mm}^2$

$$\tau_{b_{31\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{31\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{19073}{3451} = 5.53 \text{daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{32\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{18916}{3451} = 5.48 \text{daN/mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{32\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{32\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{18453}{3451} = 5.35 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{41\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{12048}{3451} = 3.49 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{41\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{11753}{3451} = 3.41 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\max}}^{(2)} = \frac{M_{b_{42\max}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{13010}{3451} = 3.77 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\min}}^{(2)} = \frac{M_{b_{42\min}}^{(B)}}{W_{b_2}} = \frac{12692}{3451} = 3.68 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

3. KISIM

3. Kısım için burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_3} = \frac{\pi d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 37^3}{16} = 9945 \text{ mm}^3$$

Yukarıda yapılan işlemlerin aynısını 3. kısım için de yapalım:

1. Vites:

$$\tau_{b_{11\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{46909}{9945} = 4.72 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{45762}{9945} = 4.60 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{12\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{53926}{9945} = 5.42 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{52606}{9945} = 5.29 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

2. Vites:

$$\tau_{b_{21\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{21\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{29279}{9945} = 2.94 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{21\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{21\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{28563}{9945} = 2.87 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{22\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{29884}{9945} = 3.00 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{22\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{29153}{9945} = 2.93 \text{ daN/mm}^2$$

3. Vites:

$$\tau_{b_{31\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{31\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{19552}{9945} = 1.97 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{31\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{31\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{19073}{9945} = 1.92 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{32\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{18916}{9945} = 1.90 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{32\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{18453}{9945} = 1.86 \text{ daN/mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{41\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{41\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{12048}{9945} = 1.21 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{41\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{11753}{9945} = 1.18 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\max}}^{(3)} = \frac{M_{b_{42\max}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{13010}{9945} = 1.31 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\min}}^{(3)} = \frac{M_{b_{42\min}}^{(B)}}{W_{b_3}} = \frac{12692}{9945} = 1.28 \text{ daN/mm}^2$$

4. KISIM

4. Kısım için burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_4} = \frac{\pi d_4^3}{16} = \frac{\pi \cdot 45^3}{16} = 17892 \text{ mm}^3$$

Yukarıda yapılan işlemlerin aynısını 4. kısım için de yapalım

1. Vites:

$$\tau_{b_{11\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{46909}{17892} = 2.62 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{45762}{17892} = 2.56 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{12\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{53926}{17892} = 3.01 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{52606}{17892} = 2.94 \text{ daN/mm}^2$$

2. Vites:

$$\tau_{b_{21\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{21\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{29279}{17892} = 1.64 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{21\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{21\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{28563}{17892} = 1.60 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{22\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{29884}{17892} = 1.67 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{22\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{29153}{17892} = 1.63 \text{ daN/mm}^2$$

3. Vites:

$$\tau_{b_{31\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{31\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{19552}{17892} = 1.09 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{31\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{31\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{19073}{17892} = 1.07 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{32\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{18916}{17892} = 1.06 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{32\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{18453}{17892} = 1.03 \text{ daN/mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{41\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{41\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{12048}{17892} = 0.67 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{41\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{11753}{17892} = 0.66 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\max}}^{(4)} = \frac{M_{b_{42\max}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{13010}{17892} = 0.73 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\min}}^{(4)} = \frac{M_{b_{42\min}}^{(B)}}{W_{b_4}} = \frac{12692}{17892} = 0.71 \text{ daN / mm}^2$$

5. KISIM

5. Kısım için burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_5} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_5^4 - d_5^4}{D_5} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{40^4 - 33^4}{40} = 6745 \text{ mm}^3$$

Yukarıda yapılan işlemlerin aynısını 5. kısım için de yapalım

1. Vites: $\tau_{b_{11\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{46909}{6745} = 6.95 \text{ daN / mm}^2$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{45762}{6745} = 6.78 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{12\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{53926}{6745} = 7.99 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{12\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{12\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{52606}{6745} = 7.80 \text{ daN / mm}^2$$

2. Vites: $\tau_{b_{21\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{21\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{29279}{6745} = 4.34 \text{ daN / mm}^2$

$$\tau_{b_{21\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{21\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{28563}{6745} = 4.23 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{22\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{29884}{6745} = 4.43 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{22\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{22\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{29153}{6745} = 4.32 \text{ daN / mm}^2$$

3. Vites: $\tau_{b_{31\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{31\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{19552}{6745} = 2.90 \text{ daN / mm}^2$

$$\tau_{b_{31\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{31\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{19073}{6745} = 2.88 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{32\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{18916}{6745} = 2.80 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{32\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{32\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{18453}{6745} = 2.73 \text{ daN/mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{41\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{41\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{12048}{6745} = 1.79 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{41\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{41\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{11753}{6745} = 1.74 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\max}}^{(5)} = \frac{M_{b_{42\max}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{13010}{6745} = 1.93 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{42\min}}^{(5)} = \frac{M_{b_{42\min}}^{(B)}}{W_{b_5}} = \frac{12692}{6745} = 1.88 \text{ daN/mm}^2$$

b)Uzatma Borusu

Uzatma borusu dediğimiz kardan milinin bir parçasının şekli aşağıda görülmektedir.



Şekil-8.2 Uzatma Borusu Modeli

Uzatma borusunun burulma mukavemet momenti:

$$W_{b_v} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_u^4 - d_u^4}{D_u} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{45^4 - 40^4}{45} = 6722 \text{ mm}^3$$

Uzatma borusundaki max ve min burulma gerilmelerini hesaplırsak:

1. Vites:

$$\tau_{b_{11\max}}^{(u)} = \frac{M_{b_{11\max}}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{46909}{6722} = 6.98 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{11\min}}^{(u)} = \frac{M_{b_{11\min}}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{45762}{6722} = 6.81 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b_{12} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{12} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{53926}{6722} = 8.02 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{12} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{12} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{52606}{6722} = 7.83 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

2. Vites:

$$\tau_{b_{21} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{21} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{29279}{6722} = 4.36 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{21} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{21} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{28563}{6722} = 4.25 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{22} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{22} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{29884}{6722} = 4.45 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{22} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{22} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{29153}{6722} = 4.34 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

3. Vites:

$$\tau_{b_{31} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{31} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{19552}{6722} = 2.91 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{31} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{31} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{19073}{6722} = 2.84 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{32} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{32} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{18916}{6722} = 2.81 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{32} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{32} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{18453}{6722} = 2.74 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

4. Vites:

$$\tau_{b_{41} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{41} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{12048}{6722} = 1.79 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{41} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{41} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{11753}{6722} = 1.75 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{42} \max}^{(u)} = \frac{M_{b_{42} \max}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{13010}{6722} = 1.94 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

$$\tau_{b_{42} \min}^{(u)} = \frac{M_{b_{42} \min}^{(B)}}{W_{b_u}} = \frac{12692}{6722} = 1.89 \text{ daN} / \text{ mm}^2$$

8.1.4-Ömür Hesapları

a)Kayıcı Mil

Malzeme: Ç-4140 (42CrMo4) [8]
 Kopma Gerilmesi: $\sigma_K = 80...130 \text{ daN/mm}^2$
 $\sigma_K = 100 \text{ daN/mm}^2$ alındı.
 $\tau_K = 0.577\sigma_K = 0,577 \cdot 100 = 57.7 \text{ daN/mm}^2$

1.KISIM

Burulma gerilmesinin etkisi altında çalışan bir makina parçasının ömrünü bulmak için genel bir formül göstermiştik : [Formül (5.29)]

$$\tau_{DN} = (1.28 - 0.127 \cdot \log N) \cdot \tau_K$$

$$\tau_{DN} = \tau_{b_{\max}} ; \tau_{DN} = \tau_{b_{\min}}$$

Max burulma zorlanmasında elde edilecek ömür min olacaktır. Min zorlanmada da max ömür elde edilir.

$$1. \text{ Vites: } \log N_{11 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{11 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{12.84}{57.7}}{0.127} = 8.3265 \quad N_{11 \min}^{(1)} = 10^{8.3265}$$

$$\log N_{11 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{11 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{12.52}{57.7}}{0.127} = 8.3702 \quad N_{11 \max}^{(1)} = 10^{8.3702}$$

$$\log N_{12 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{12 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{14.76}{57.7}}{0.127} = 8.0645 \quad N_{12 \min}^{(1)} = 10^{8.0645}$$

$$\log N_{12 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{12 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{14.40}{57.7}}{0.127} = 8.1136 \quad N_{12 \max}^{(1)} = 10^{8.1136}$$

$$2. \text{ Vites: } \log N_{21 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{21 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{8.01}{57.7}}{0.127} = 8.9856 \quad N_{21 \min}^{(1)} = 10^{8.9856}$$

$$\log N_{21 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{21 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{7.82}{57.7}}{0.127} = 9.0116 \quad N_{21 \max}^{(1)} = 10^{9.0116}$$

$$\log N_{22 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{22 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{8.18}{57.7}}{0.127} = 8.9625 \quad N_{22 \min}^{(1)} = 10^{8.9625}$$

$$\log N_{22 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{22 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{7.98}{57.7}}{0.127} = 8.9979 \quad N_{22 \max}^{(1)} = 10^{8.9979}$$

$$3. \text{ Vites: } \log N_{31 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{31 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{5.35}{57.7}}{0.127} = 9.3486 \quad N_{31 \min}^{(1)} = 10^{9.3486}$$

$$\log N_{31 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{31 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{5.22}{57.7}}{0.127} = 9.3664 \quad N_{31 \max}^{(1)} = 10^{9.3664}$$

$$\log N_{32 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{32 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{5.18}{57.7}}{0.127} = 9.3718 \quad N_{32 \min}^{(1)} = 10^{9.3718}$$

$$\log N_{32 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{32 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{5.05}{57.7}}{0.127} = 9.3896 \quad N_{32 \max}^{(1)} = 10^{9.3896}$$

$$4. \text{ Vites: } \log N_{41 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{41 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{3.30}{57.7}}{0.127} = 9.6284 \quad N_{41 \min}^{(1)} = 10^{9.6284}$$

$$\log N_{41 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{41 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{3.22}{57.7}}{0.127} = 9.6393 \quad N_{41 \max}^{(1)} = 10^{9.6393}$$

$$\log N_{42 \min}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{42 \max}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{3.56}{57.7}}{0.127} = 9.5929 \quad N_{42 \min}^{(1)} = 10^{9.5929}$$

$$\log N_{42 \max}^{(1)} = \frac{1.28 - \frac{\tau_{b_{42 \min}}}{\tau_K}}{0.127} = \frac{1.28 - \frac{3.47}{57.7}}{0.127} = 9.6052 \quad N_{42 \max}^{(1)} = 10^{9.6052}$$

2.KISIM

Burada da değerleri yerlerine koyarak yukarıdaki işlemlerin aynısını yaparsak 2.kısım için aşağıdaki ömür değerlerini elde edeceğiz:

1.Vites: $N_{11 \min}^{(2)} = 10^{8.2242}$

$$N_{11 \max}^{(2)} = 10^{8.2692}$$

$$N_{12 \min}^{(2)} = 10^{7.9458}$$

$$N_{12 \max}^{(2)} = 10^{7.9990}$$

2.Vites: $N_{21 \min}^{(2)} = 10^{8.9215}$

$$N_{21 \max}^{(2)} = 10^{8.9488}$$

$$N_{22 \min}^{(2)} = 10^{8.8969}$$

$$N_{22 \max}^{(2)} = 10^{8.9256}$$

3.Vites: $N_{31 \min}^{(2)} = 10^{9.3063}$

$$N_{31 \max}^{(2)} = 10^{9.3241}$$

$$N_{32 \min}^{(2)} = 10^{9.3309}$$

$$N_{32 \max}^{(2)} = 10^{9.3486}$$

4.Vites: $N_{41 \min}^{(2)} = 10^{9.6025}$

$$N_{41 \max}^{(2)} = 10^{9.6134}$$

$$N_{42 \min}^{(2)} = 10^{9.5643}$$

$$N_{42 \max}^{(2)} = 10^{9.5765}$$

3. KISIM

Burada da değerleri yerlerine koyarak yukarıdaki işlemlerin aynısını yaparsak 3. kısım için aşağıdaki ömür değerlerini elde edeceğiz:

1. Vites: $N_{11 \min}^{(3)} = 10^{9.4346}$

$$N_{11 \max}^{(3)} = 10^{9.4510}$$

$$N_{12 \min}^{(3)} = 10^{9.3391}$$

$$N_{12 \max}^{(3)} = 10^{9.3568}$$

2. Vites: $N_{21 \min}^{(3)} = 10^{9.6775}$

$$N_{21 \max}^{(3)} = 10^{9.6875}$$

$$N_{22 \min}^{(3)} = 10^{9.6693}$$

$$N_{22 \max}^{(3)} = 10^{9.6789}$$

3. Vites: $N_{31 \min}^{(3)} = 10^{9.8099}$

$$N_{31 \max}^{(3)} = 10^{9.8167}$$

$$N_{32 \min}^{(3)} = 10^{9.8194}$$

$$N_{32 \max}^{(3)} = 10^{9.8249}$$

4. Vites: $N_{41 \min}^{(3)} = 10^{9.9136}$

$$N_{41 \max}^{(3)} = 10^{9.9177}$$

$$N_{42 \min}^{(3)} = 10^{9.8990}$$

$$N_{42 \max}^{(3)} = 10^{9.9041}$$

4.KISIM

Burada da değerleri yerlerine koyarak yukarıdaki işlemlerin aynısını yaparsak 4.kısım için aşağıdaki ömür değerlerini elde edeceğiz:

1.Vites : $N_{11 \min}^{(+)} = 10^{9.7212}$

$$N_{11 \max}^{(+)} = 10^{9.7294}$$

$$N_{12 \min}^{(+)} = 10^{9.6680}$$

$$N_{12 \max}^{(+)} = 10^{9.6775}$$

2.Vites: $N_{21 \min}^{(+)} = 10^{9.8549}$

$$N_{21 \max}^{(+)} = 10^{9.8604}$$

$$N_{22 \min}^{(+)} = 10^{9.8508}$$

$$N_{22 \max}^{(+)} = 10^{9.8563}$$

3.Vites: $N_{31 \min}^{(+)} = 10^{9.9300}$

$$N_{31 \max}^{(+)} = 10^{9.9327}$$

$$N_{32 \min}^{(+)} = 10^{9.9341}$$

$$N_{32 \max}^{(+)} = 10^{9.9382}$$

4.Vites: $N_{41 \min}^{(+)} = 10^{9.9873}$

$$N_{41 \max}^{(+)} = 10^{9.9887}$$

$$N_{42 \min}^{(+)} = 10^{9.9791}$$

$$N_{42 \max}^{(+)} = 10^{9.9818}$$

5.KISIM

Burada da değerleri yerlerine koyarak yukarıdaki işlemlerin aynısını yaparsak 5.kısım için aşağıdaki ömür değerlerini elde edeceğiz:

1.Vites: $N_{11 \min}^{(5)} = 10^{9.1303}$

$$N_{11 \max}^{(5)} = 10^{9.1535}$$

$$N_{12 \min}^{(5)} = 10^{8.9884}$$

$$N_{12 \max}^{(5)} = 10^{9.0143}$$

2.Vites: $N_{21 \min}^{(5)} = 10^{9.4865}$

$$N_{21 \max}^{(5)} = 10^{9.5015}$$

$$N_{22 \min}^{(5)} = 10^{9.4742}$$

$$N_{22 \max}^{(5)} = 10^{9.4892}$$

3.Vites: $N_{31 \min}^{(5)} = 10^{9.6830}$

$$N_{31 \max}^{(5)} = 10^{9.6857}$$

$$N_{32 \min}^{(5)} = 10^{9.6966}$$

$$N_{32 \max}^{(5)} = 10^{9.7062}$$

4.Vites: $N_{41 \min}^{(5)} = 10^{9.8345}$

$$N_{41 \max}^{(5)} = 10^{9.8413}$$

$$N_{42 \min}^{(5)} = 10^{9.8154}$$

$$N_{42 \max}^{(5)} = 10^{9.8222}$$

b)Uzatma Borusu

Malzeme : St34

Kopma gerilmesi:

$$\sigma_K = 34 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_K = 0,577.34 = 19,62 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Yukarıdaki değerlere göre uzatma borusu için ömür hesapları yapmamız için aşağıdaki logaritmik ömür formülünden yararlanacağız.

$$\tau_{DN} = (1,194 - 0,098 \cdot \log N) \tau_K$$

Burada $\tau_{DN} = \tau_{b_{\max}}^{(u)}$ veya $\tau_{DN} = \tau_{b_{\min}}^{(u)}$ alınır.

$$\log N_{\min}^{(u)} = \frac{1,194 - \frac{\tau_{b_{\max}}^{(u)}}{\tau_K}}{0,098}$$

Bu genel formülden her vites için ömür değerlerini bulalım:

1. Vites: $N_{11 \min}^{(u)} = 10^{8,5535}$

$$N_{11 \max}^{(u)} = 10^{8,6419}$$

$$N_{12 \min}^{(u)} = 10^{8,0126}$$

$$N_{12 \max}^{(u)} = 10^{8.1114}$$

2. Vites:

$$N_{21 \min}^{(u)} = 10^{9.9161}$$

$$N_{21 \max}^{(u)} = 10^{9.9733}$$

$$N_{22 \min}^{(u)} = 10^{9.8693}$$

$$N_{22 \max}^{(u)} = 10^{9.9265}$$

3. Vites:

$$N_{31 \min}^{(u)} = 10^{10.6702}$$

$$N_{31 \max}^{(u)} = 10^{10.7066}$$

$$N_{32 \min}^{(u)} = 10^{10.7222}$$

$$N_{32 \max}^{(u)} = 10^{10.7586}$$

4. Vites:

$$N_{41 \min}^{(u)} = 10^{11.2527}$$

$$N_{41 \max}^{(u)} = 10^{11.2735}$$

$$N_{42 \min}^{(u)} = 10^{11.1747}$$

$$N_{42 \max}^{(u)} = 10^{11.2007}$$

Görülüyor ki tehlikeli kesit kayıcı milin 2. kısmıdır. Bu kesite göre güvenilirlik ve ömür hesapları yapılmalıdır. Önce 2. kısımdaki burulma gerilmelerinin ortalamaları hesaplanacak :

$$1. \text{ Vites : } \tau_{b11ort}^{(2)} = \frac{\tau_{b11max}^{(2)} + \tau_{b11min}^{(2)}}{2} = \frac{13.59 + 13.26}{2} = 13.42 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 10 \text{ km / h})$$

$$\tau_{b12ort}^{(2)} = \frac{\tau_{b12max}^{(2)} + \tau_{b12min}^{(2)}}{2} = \frac{15.63 + 15.24}{2} = 15.44 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 25 \text{ km / h})$$

$$2. \text{ Vites : } \tau_{b21ort}^{(2)} = \frac{8.48 + 8.28}{2} = 3.38 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 20 \text{ km / h})$$

$$\tau_{b22ort}^{(2)} = \frac{8.66 + 8.45}{2} = 8.56 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 50 \text{ km / h})$$

$$3. \text{ Vites : } \tau_{b31ort}^{(2)} = \frac{5.56 + 5.53}{2} = 5.55 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 33 \text{ km / h})$$

$$\tau_{b32ort}^{(2)} = \frac{5.48 + 5.35}{2} = 5.42 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 80 \text{ km / h})$$

$$4. \text{ Vites : } \tau_{b41ort}^{(2)} = \frac{3.49 + 3.41}{2} = 3.45 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 45 \text{ km / h})$$

$$\tau_{b42ort}^{(2)} = \frac{3.77 + 3.68}{2} = 3.73 \text{ daN / mm}^2 \quad (V = 110 \text{ km / h})$$

Her vitesteki ortalama gerilmelerin ortalamaları bulunacak :

$$\left(\tau_{bort}^{(2)} \right)_{1V} = \frac{\tau_{b11ort}^{(2)} + \tau_{b12ort}^{(2)}}{2} = \frac{13.42 + 15.44}{2} = 14.43 \text{ daN/mm}^2$$

$$\left(\tau_{bort}^{(2)} \right)_{2V} = \frac{\tau_{b21ort}^{(2)} + \tau_{b22ort}^{(2)}}{2} = \frac{3.38 + 8.56}{2} = 8.47 \text{ daN/mm}^2$$

$$\left(\tau_{bort}^{(2)}\right)_{3V} = \frac{\tau_{b31ort}^{(2)} + \tau_{b32ort}^{(2)}}{2} = \frac{3.45 + 3.73}{2} = 5.48 \text{ daN/mm}^2$$

$$\left(\tau_{bort}^{(2)}\right)_{4V} = \frac{\tau_{b41ort}^{(2)} + \tau_{b42ort}^{(2)}}{2} = \frac{3.45 + 3.73}{2} = 3.59 \text{ daN/mm}^2$$

Elde edilen değerlerle eşdeğer gerilme hesaplanacaktır. Hesabı Palmgren-Miner denklemleri kullanılacaktır.

Palmgren-Miner denklemi (Genel) :

$$\frac{C_1}{\tau_{b1}} + \frac{C_2}{\tau_{b2}} + \frac{C_3}{\tau_{b3}} + \dots + \frac{C_n}{\tau_{bn}} = \frac{1}{\tau_{ep}}$$

Bizim problemimizde C_i değerleri aşağıdaki gibidir :

$$C_1 = 0.048$$

$$C_2 = 0.012$$

$$C_3 = 0.313$$

$$C_4 = 0.519$$

Bu değerler Palmgren-Miner denklemine uygulanarak eşdeğer gerilme bulunacaktır :

$$\frac{C_1}{(\tau_{bort})_{1V}} + \frac{C_2}{(\tau_{bort})_{2V}} + \frac{C_3}{(\tau_{bort})_{3V}} + \frac{C_4}{(\tau_{bort})_{4V}} = \frac{1}{\tau_{ep}}$$

Buradan :

$$\tau_{ep} = \frac{1}{\frac{C_1}{(\tau_{ort})_{1V}} + \frac{C_2}{(\tau_{ort})_{2V}} + \frac{C_3}{(\tau_{ort})_{3V}} + \frac{C_4}{(\tau_{ort})_{4V}}}$$

$$\tau_{eş} = \frac{1}{\frac{0.048}{14.43} + \frac{0.12}{8.47} + \frac{0.313}{5.48} + \frac{0.519}{3.59}} = 4.56 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{eş} = 4.56 \text{ daN/mm}^2$$

Bulunan eşdeğer gerilmeye göre eşdeğer ömür hesaplanır :

$$\tau_{eş} = (1.28 - 0.127 \log N_{eş}) \cdot \tau_k$$

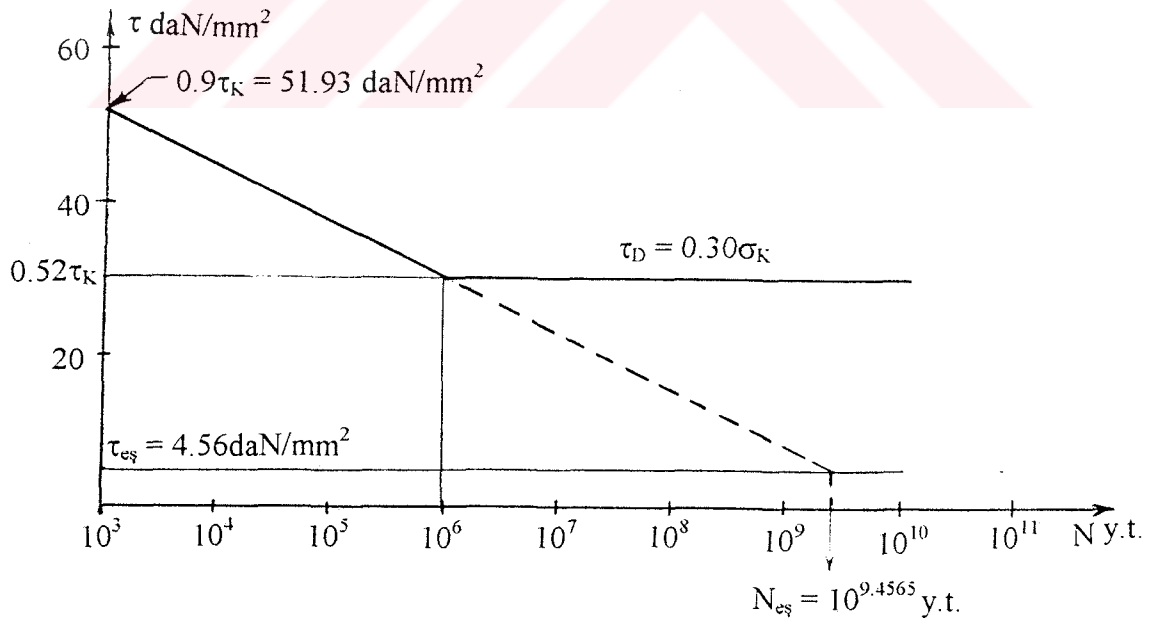
$$4.56 = (1.28 - 0.127 \log N_{eş}) \cdot 57.7$$

Buradan $\log N_{eş}$ çekilerek :

$$\log N_{eş} = \frac{1.28 - \frac{4.56}{57.7}}{0.127} = 9.4565$$

$$N_{eş} = 10^{9.4565} \text{ y.t.}$$

bulunur.



Şekil-8.1.1 Wöhler Diyagramı

Bulunan $N_{eş}$ değeri gösteriyor ki kayıcı milin 2. kısmı $10^{9.4565}$ yük tekrarı sonra işe yaramaz hale gelecektir. Buna ait Wöhler diyagramı şekil - 8.1.1'de gösterilmiştir. Peki araç, hesaplanan ömür boyunca kaç kilometre gidebilecektir?

Bu soruyu yanıtlamaya çalışalım.

Önce her viteste kardanın ortalama devirsayıları bulunur :

$$1.V. \quad n_{ort1} = \frac{n_{11} + n_{12}}{2} = \frac{359 + 886}{2} = 622 \text{ d/d}$$

$$2.V. \quad n_{ort2} = \frac{n_{21} + n_{22}}{2} = \frac{706 + 1773}{2} = 1240 \text{ d/d}$$

$$3.V. \quad n_{ort3} = \frac{n_{31} + n_{32}}{2} = \frac{1181 + 2851}{2} = 2016 \text{ d/d}$$

$$4.V. \quad n_{ort4} = \frac{n_{41} + n_{42}}{2} = \frac{1605 + 3916}{2} = 2760 \text{ d/d}$$

Eşdeğer devir sayısı hesaplanır (Palmgren-Miner denklemi) :

$$n_{eş} = \frac{1}{\frac{C_1}{n_{ort1}} + \frac{C_2}{n_{ort2}} + \frac{C_3}{n_{ort3}} + \frac{C_4}{n_{ort4}}} = \frac{1}{\frac{0.048}{622} + \frac{0.12}{1240} + \frac{0.313}{2016} + \frac{0.519}{2760}} = 1933 \text{ d/d}$$

$$n_{eş} = 1933 \text{ d/d}$$

Her viteste aracın ortalama hızları :

$$1.Vites : \quad V_{ort1} = \frac{V_{11} + V_{12}}{2} = \frac{10 + 25}{2} = 17.5 \text{ km/h.}$$

$$2.Vites : \quad V_{ort2} = \frac{V_{21} + V_{22}}{2} = \frac{20 + 50}{2} = 35.0 \text{ km/h.}$$

$$3.Vites : \quad V_{ort3} = \frac{V_{31} + V_{32}}{2} = \frac{33 + 80}{2} = 56.5 \text{ km/h.}$$

$$4.Vites : \quad V_{ort4} = \frac{V_{41} + V_{42}}{2} = \frac{45 + 110}{2} = 77.5 \text{ km/h} \quad \text{olur.}$$

Eşdeğer hız :

$$V_{eş} = \frac{1}{\frac{C_1}{V_{ort1}} + \frac{C_2}{V_{ort2}} + \frac{C_3}{V_{ort3}} + \frac{C_4}{V_{ort4}}} = \frac{1}{\frac{0.048}{17.5} + \frac{0.12}{35} + \frac{0.313}{56.5} + \frac{0.519}{77.5}} = 54.32 \text{ km/h}$$

$$V_{eş} = 54.32 \text{ km/h}$$

Kardan 1 devir yaptığıında 1 yük tekrarıyla zorlanacaktır (tam değişken zorlama). Yukarıdaki değerlerle kardanın ömrü boyunca aracın katedebileceği mesafe hesaplanabilir.

$$L_{eş} = \frac{N_{eş}}{n_{eş}} \cdot V_{eş} = \frac{10^{9.4564}}{1933.60} \cdot 54.32 = 1339913 \text{ km.}$$

$$L_{eş} = 1339913 \text{ km.}$$

Bulunan eşdeğer mesafe birikimli hasarsız durumda elde edilebilecek değerdir.

Birikimli hasar durumunda ömür ve dolayısıyla aracın katedeceği mesafe ne olacaktır? Bunu araştırmaya çalışalım. Önce, yukarıda hesaplanan ömürlerle ve çalışma yüzdeleri yardımıyla eşdeğer ömür bulunur. Bunun için her viteste ortalama ömürleri bulunur :

$$1.V. N_{ort1} = \frac{N_{11max} + N_{11min} + N_{12max} + N_{12min}}{4} = \frac{10^{8.2242} + 10^{8.2692} + 10^{7.9458} + 10^{7.999}}{4} = 10^{8.1315}$$

$$2.V. N_{ort2} = 10^{8.9236} \text{ y.t}$$

$$3.V. N_{ort3} = 10^{9.3277} \text{ y.t}$$

$$4.V. N_{ort4} = 10^{9.5896} \text{ y.t}$$

Buradan eşdeğer ömür :

$$N_{eş} = \frac{1}{\frac{0.048}{10^{8.1315}} + \frac{0.12}{10^{8.9236}} + \frac{0.313}{10^{9.3277}} + \frac{0.519}{10^{9.5896}}} = 10^{9.1088} \text{ y.t}$$

$$N_{eş} = 10^{9.1088} \text{ y.t.}$$

Bulunan $N_{eş}$ ömür boyunca aracın katedeceği mesafe :

$$L_{eş} = \frac{N_{eş}}{n_{eş}} \cdot V_{eş} = \frac{10^{9.1088}}{1933.60} \cdot 54.32 = 601695 \text{ km}$$

$$L_{eş} = 601695 \text{ km}$$

olur. Bulunan değer, birikimli hasar gözönüne alınarak hesaplanan ömür değeridir.

Şimdi kayıcı milin 2. kısmı için %90 güvenilirlikli burulma gerilmesi, ömür ve bu ömre eşdeğer mesafeyi ($L_{eş}$) hesaplayalım.

Gerilme Hesabı :

1. Vites : Ortalama Gerilme

Standart Sapma

$$\tau_{bI}^{(2)} = 14.43 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$S_\tau = 1.18 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

%90 güvenilirlikli gerilme

$$\tau_{bI}^{(2)} = -1.28 S_\tau + \tau_{bI}^{(2)} = -1.28 \cdot 1.18 + 14.43 = 12.92 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

2. Vites : Ortalama Gerilme

Standart Sapma

$$\tau_{bII}^{(2)} = 8.47 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$S_\tau = 0.15 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

%90 güvenilirlikli gerilme

$$\tau_{bII}^{(2)} = -1.28 \cdot 0.15 + 8.47 = 8.28 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

3. Vites : Ortalama Gerilme

Standart Sapma

$$\tau_{bIII}^{(2)} = 5.51 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$S_\tau = 0.13 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

%90 güvenilirlikli gerilme

$$\tau_{bIII}^{(2)} = -1.28 \cdot 0.13 + 5.51 = 5.34 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

4. Vites : Ortalama Gerilme

Standart Sapma

$$\tau_{bIV}^{(2)} = 3.59 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$S_\tau = 0.17 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

%90 güvenilirlikli gerilme

$$\tau_{bIV}^{(2)} = -1.28 \cdot 0.17 + 3.59 = 3.37 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Bulunan %90 güvenilirlikli gerilmelere eşdeğer, %90 güvenilirlikli gerilmeyi hesaplırsak :

$$\frac{C_1}{\tau_{bI}} + \frac{C_2}{\tau_{bII}} + \frac{C_3}{\tau_{bIII}} + \frac{C_4}{\tau_{bIV}} = \frac{1}{\tau_{ep}}$$

$$\frac{0.048}{12.92} + \frac{0.12}{8.28} + \frac{0.313}{5.34} + \frac{0.519}{3.37} = \frac{1}{\tau_{\frac{\sigma}{\tau}}}$$

buradan %90 güvenilirlikli eşdeğer gerilme :

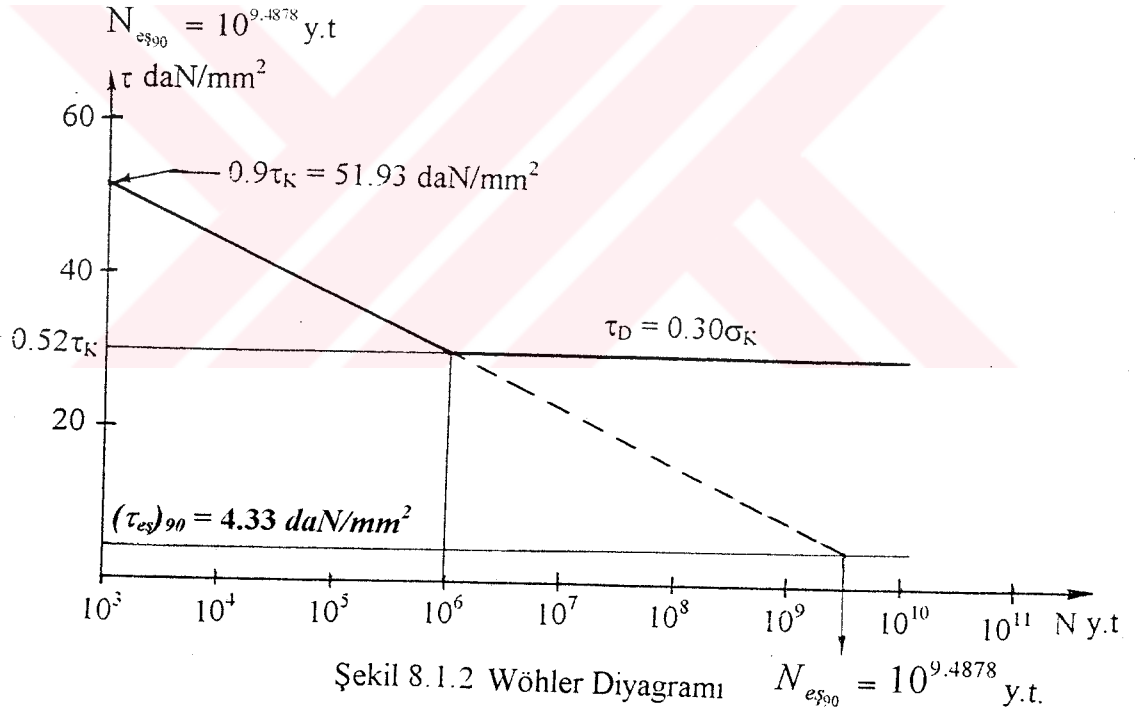
$$(\tau_{e\sigma})_{90} = 4.33 \text{ daN/mm}^2$$

olur. Elde edilen $(\tau_{e\sigma})_{90}$ ile %90 güvenilirlikli ömür (birikimli hasarsız)

$$(\tau_{e\sigma})_{90} = (1.28 - 0.127 \log N_{e\sigma})_{90} \tau_k$$

$$4.33 = (1.28 - 0.127 \log N_{e\sigma})_{90} 57.7$$

$$\log N_{e\sigma 90} = \frac{1.28 - \frac{4.33}{57.7}}{0.127} = 9.4878$$



Şimdi her viteste elde edilen ömür değerleri ile %90 güvenilirlikli ömürleri bulalım :

1. V. Ortalama logaritmik ömür

Standart Sapma

$$\bar{N}_u = 8.2187$$

$$S_{Nl} = 0.512$$

%90 güvenilirlikli logaritmik ömür :

$$N_{II} = z_{\alpha} S_{NI} + \bar{N}_{II} = -1,28 \cdot 0,152 + 8,2187 = 8.0241$$

$$N_I = 10^{8.0241} \text{ y.t}$$

2.V. Ortalama logaritmik ömür

Standart Sapma

$$\bar{N}_{III} = 8.9894$$

$$S_{NI} = 0.02$$

%90 güvenilirlikli ömür :

$$N_{III} = z_{\alpha} S_{NI} + \bar{N}_{III} = -1,28 \cdot 0,02 + 8,9894 = 8.9638$$

$$N_{II} = 10^{8.9638} \text{ y.t}$$

3.V. Ortalama logaritmik ömür

Standart Sapma

$$\bar{N}_{III} = 9.3691$$

$$S_{NI} = 0.014$$

%90 güvenilirlikli logaritmik ömür :

$$N_{III} = z_{\alpha} S_{NI} + \bar{N}_{III} = -1,28 \cdot 0,017 + 9,3691 = 9.3473$$

$$N_{III} = 10^{9.3473} \text{ y.t}$$

4.V. Ortalama logaritmik ömür

Standart Sapma

$$\bar{N}_{III} = 9.6164$$

$$S_{NI} = 0.021$$

%90 güvenilirlikli logaritmik ömür :

$$N_{III} = z_{\alpha} S_{NI} + \bar{N}_{III} = -1,28 \cdot 0,021 + 9,6164 = 9.5895$$

$$N_{IV} = 10^{9.5895} \text{ y.t}$$

Bu değerlere göre Palmgren-Miner denkleminden eşdeğer ömrü hesaplayalım :

$$\frac{C_1}{(N_I)_{90}} + \frac{C_2}{(N_{II})_{90}} + \frac{C_3}{(N_{III})_{90}} + \frac{C_4}{(N_{IV})_{90}} = \frac{1}{(N_{es})_{90}}$$

$$\frac{0.048}{10^{8.0241}} + \frac{0.12}{10^{8.9658}} + \frac{0.313}{10^{9.3473}} + \frac{0.519}{10^{9.5895}} = \frac{1}{(N_{es})_{90}}$$

$$(N_{es})_{90} = 10^{9.0661} \text{ y.t}$$

Her vitesteki max. hız ve kardanın max devir sayılarının %90'lı değeri bulunur ve bu değerlerle eşdeğer hız ve eşdeğer devirsayıları hesaplanır :

$$1. \text{ Vites : } V_{1\max} = 25 \text{ km/h} \quad (V_1)_{90} = 22.5 \text{ km/h}$$

$$n_{1\max} = 886 \text{ d/d} \quad (n_1)_{90} = 797 \text{ d/d}$$

$$2. \text{ Vites : } V_{2\max} = 50 \text{ km/h} \quad (V_2)_{90} = 45 \text{ km/h}$$

$$n_{2\max} = 1773 \text{ d/d} \quad (n_2)_{90} = 1596 \text{ d/d}$$

$$3. \text{ Vites : } V_{3\max} = 80 \text{ km/h} \quad (V_3)_{90} = 72 \text{ km/h}$$

$$n_{3\max} = 2851 \text{ d/d} \quad (n_3)_{90} = 2566 \text{ d/d}$$

$$4. \text{ Vites : } V_{4\max} = 110 \text{ km/h} \quad (V_4)_{90} = 99 \text{ km/h}$$

$$n_{4\max} = 3916 \text{ d/d} \quad (n_4)_{90} = 3524 \text{ d/d}$$

Bulunan değerleri Palmgren-Miner denkleminde uygulayarak eşdeğer hız ve eşdeğer devir sayıları hesaplanır.

$$\frac{0.048}{22.5} + \frac{0.12}{45} + \frac{0.313}{72} + \frac{0.519}{99} = \frac{1}{(V_{es})_{90}}$$

Eşdeğer hız :

$$(V_{es})_{90} = 69.5 \text{ km/h}$$

$$\frac{0.048}{797} + \frac{0.12}{1596} + \frac{0.313}{2566} + \frac{0.519}{3524} = \frac{1}{(n_{es})_{90}}$$

buradan eşdeğer devir sayı :

$$(n_{eş})_{90} = 2471 \text{ d/d}$$

Yukarıdaki değerlerle aracın $(N_{eş})_{90}$ ömrü boyunca katedebileceği %90 güvenilirlikli mesafe hesaplanır :

$$(L_{eş})_{90} = \frac{(N_{eş})_{90}}{(n_{eş})_{90}} \cdot (V_{eş})_{90} = \frac{10^{9.066}}{2471.60} \cdot 69.5 = 545834 \text{ km}$$

$$(L_{eş})_{90} = 545834 \text{ km}$$

Hesaplanan $(L_{eş})_{90}$, araç kardanının 545834 km sonra değiştirilebileceğini gösteriyor.



8.2. Aks Milleri

8.2.1. Ç1040 Malzemeli Aksların Ömür ve Güvenirlik Hesapları

Verilen değerler :

Aracın boş ağırlığı : 1515 daN

Aracın yük kapasitesi : 786 daN

Aracın toplam ağırlığı : 2301 daN

Malzeme : Ç1040 (C35)

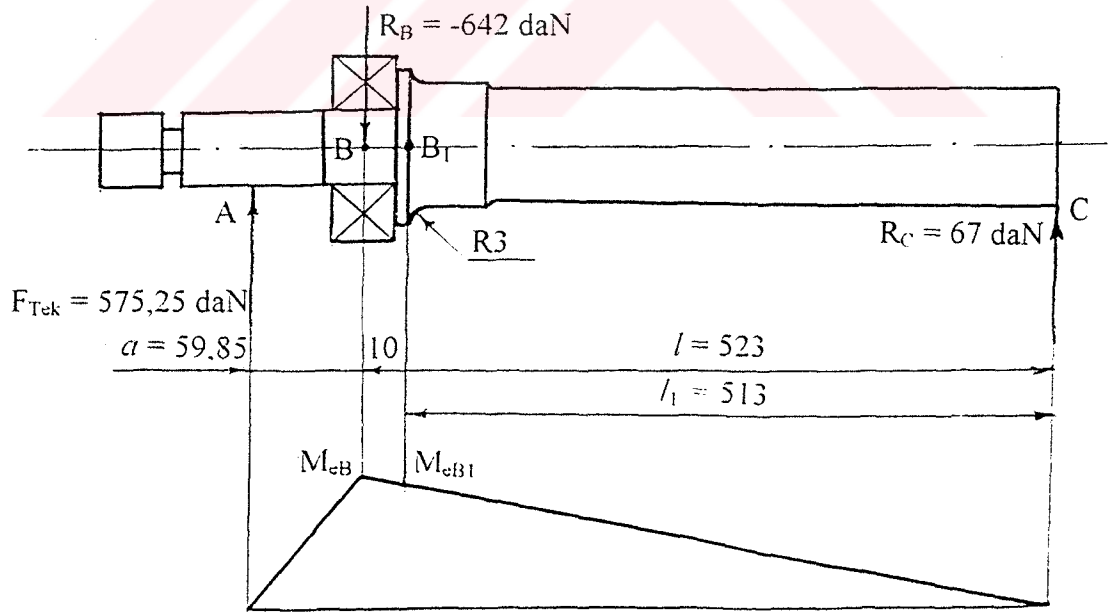
$$\sigma_k = 60 \dots 72 \text{ daN/mm}^2 \text{ [8]}$$

$$\sigma_k = 60 \text{ daN/mm}^2 \text{ alındı}$$

$$(\sigma_D)_{\max} = 27 \text{ daN/mm}^2$$

$$(\sigma_D)_{\min} = 15 \text{ daN/mm}^2$$

İlk önce aks milleri (EK-3'de) üzerinde etkili olan tehlikeli eğilme gerilmeleri tespit edilir. Bunun için de miller üzerinde eğilme momenti çizilir.



Şekil-8.2.1 Ç1040 Malzemeli Aks Mili Modeli

Bir tekerleğe gelen kuvvet

$$F_{Tek} = \frac{F_{Top}}{4} = \frac{2301}{4} = 575.25 \text{ daN}$$

B noktası rulmanın ortası olduğu için bir nevi destek görüyor ve milin bu noktada kırılma ihtimali çok küçüktür. Dolayısıyla hesap ve emniyet kontrollerini milin tehlikeli olan **B₁** noktası için yapılacaktır :

$$R_B = -\frac{F}{l}(l + a) = -642 \text{ daN}$$

$$R_C = \frac{Fa}{l} = 67 \text{ daN}$$

Momentler ise şöyle olacak :

$$\text{B noktası için : } M_{eB} = Fa = 575,25 \cdot 59,85 = 34429 \text{ daN.mm}$$

$$\text{B}_1 \text{ noktası için : } M_{eB_1} = \frac{Fal_1}{l} = \frac{575,25 \cdot 59,85 \cdot 513}{523} = 33770 \text{ daN.mm}$$

B noktasının nominal eğilme gerilmesi hesaplanırsa.

Eğilme mukavemet momenti :

$$W_{eB} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4209 \text{ mm}^3$$

Eğilme gerilmesi :

$$(\sigma_{eB})_{nom} = \sigma_{eB} = \frac{M_{eB}}{W_{eB}} = \frac{34429}{4209} = 8,18 \text{ daN / mm}^2$$

B₁ noktasının nominal eğilme gerilmesi :

$$(\sigma_{eB1})_{nom} = \sigma_{eB1} = \frac{33770}{4209} = 8.02 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Bilindiği gibi :

$$(\sigma_e)_{nom} = \frac{M_e}{W_e} = \frac{\sigma_D^*}{S} \quad (9.1)$$

$$\sigma_D^* = \frac{K_b \cdot K_y}{K_\varphi} \cdot \sigma_D \quad (9.2)$$

Şekil-8.2.1'de görüldüğü gibi tehlikeli kesit B₁ noktasıdır (R3). Bu kesitin çentik, yüzey ve boyut faktörleri belirtilir.

$$K_\varphi = 1 + q (K_t - 1) \quad (9.3)$$

$$K_t = 1.67, \quad q = 0.94$$

$$K_\varphi = 1 + 0.94(1.67 - 1) = 1.63$$

$$K_{y1} = 0.76 \text{ (tornalanmış mil); } \quad K_{y2} = 0.89 \text{ (taşlanmış mil)}$$

$$K_b = 0.775$$

Bu değerlere göre S- emniyet katsayısı hesaplanır.

$$\text{Tornalanmış mil için } \sigma_{D1}^* = \frac{K_b \cdot K_y}{K_\varphi} \cdot \sigma_{D2} = \frac{0.775 \cdot 0.76}{1.63} \cdot 27 = 9.76 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\text{Taşlanmış mil için } \sigma_{D2}^* = \frac{0.775 \cdot 0.89}{1.63} \cdot 27 = 11.42 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Tehlikeli kesitteki hakiki gerilmeyi bulalım :

$$\sigma_H = \sigma_{e_{nom}} \frac{K_\varphi}{K_b \cdot K_y} \quad (9.4)$$

$$\sigma_{H1} = 22.19 \text{ daN} / \text{mm}^2 \text{ (Tornalanmış)}$$

$$\sigma_{H2} = 18.95 \text{ daN} / \text{mm}^2 \text{ (Taşlanmış)}$$

Bulunan değerlere göre (9.1) formülden S emniyet katsayısını bulacağız :

$$S_1 = \frac{\sigma_{D1}^*}{\sigma_{nom1}} = \frac{9.76}{8.02} = 1.216 \text{ (Tornalanmış)}$$

$$S_2 = \frac{\sigma_{D2}^*}{\sigma_{nom2}} = \frac{11.42}{8.02} = 1.424 \text{ (Taşlanmış)}$$

Hesaplanan hakiki gerilmelerle ömür hesabı yapılırsa :

$$\sigma_{EDN} = (1.36 - 0.1553 \log N) \cdot \sigma_K \quad (9.5)$$

$$\sigma_{EDN} = \sigma_H \text{ alınacak.}$$

Tornalanmış mil için :

$$22.19 = (1.36 - 0.1533 \log N_1) \cdot 60$$

$$\log N_1 = \frac{1.36 - \frac{22.19}{60}}{0.1533} = 6.4590$$

$$N_1 = 10^{6.4590} \text{ y.t.}$$

Taşlanmış mil için :

$$18.95 = (1.36 - 0.1533 \log N_2) \cdot 60$$

$$\log N_2 = \frac{1.36 - \frac{18.95}{60}}{0.1533} = 6.8113$$

$$N_2 = 10^{6.8113} \text{ y.t.}$$

Aksın devir sayısı (eşdeğer %90 güvenirlikli)

$$n_{AKS} = \frac{n_k}{i_d} = \frac{2471}{5.38} = 459 \text{ d/d}$$

Buna göre araç

$$L_1 = \frac{10^{6.459}}{60.459} \cdot 69.5 = 7261 \text{ km} \text{ (Tornalanmış mil için)}$$

$$L_2 = \frac{10^{6.8113}}{60.459} \cdot 69.5 = 16342 \text{ km} \text{ (Taşlanmış mil için)}$$

yol katettikten sonra aks mili tehlikeli kesitten kırılabilir.

Elde edilen ömür değerleri kabul ettiğimiz $\sigma_k = 60 \text{ daN/mm}^2$ içindi. Aksın gerçek kopma gerilmesi $\sigma_k = 65 \text{ daN/mm}^2$ 'dir. Buna göre ömür değerini hesaplayacak olursak :

$$\sigma_k = 65 \text{ daN} \quad \sigma_{EDN} = \sigma_{H2} = (1.36 - 0.1533 \log N) \cdot \tau_k$$

$$18.95 = (1.36 - 0.1533 \log N) \cdot 65$$

$$\log N = \frac{1.36 - \frac{18.95}{65}}{0.1533} = 6.9697$$

$$N = 10^{6.9697} \text{ y.t.}$$

Buna göre eşdeğer ömür (km) olarak

$$L_{es} = \frac{10^{6.9697}}{60.459} \cdot 69.5 = 23535 \text{ km}$$

$$L_{es} = 23535 \text{ km}$$

Bulunan değer taşlanmış radyus kesiti R3 için geçerlidir.

8.2.2. Takviye Viteste Aks Mili Hesapları

Araç arazide, veya kötü şartlarda kullanıldığında takviye vites takılır. En büyük burulma momenti de takviye viteste meydana gelir. Dolayısıyla miller bu viteste mutlaka hesap edilmeli. İlk önce bu momenti tespit edelim. Araç, takviye vites takılı iken 1. viteste gider. 1. viteste araç $V_1 = 10...25$ km/h hız ile ilerler. $V_{1max} = 25$ km/h olduğuna göre, $n_{1max} = 3508$ d/d'dir. Buradan %90 güvenirlikli devirsayı $(n_1)_{90} = 3157$ d/d'de elde edilebilecek max. tork

$$(M_{b1})_{max} = 13800 \text{ daN/mm}$$

Takviye için vitesin çevrim oranı $i_T = 2.46$ 'ye eşittir. Bu değerlere göre kardan milindeki max. burulma momenti

$$(M_{bT})_{max} = (M_{b1})_{max} i_1 i_T$$

Burada : i_1 - 1. Vitesin çevrim oranı

Dolayısıyla

$$(M_{bT})_{max} = 13800 \cdot 3,96 \cdot 2,46 = 134434 \text{ daN.mm}$$

Araç 4 x 4, yani ön ve arka çekişli olduğu için toplam momentin yarısı ön akslara, yarısı da arka akslara aktarılır.

$$M_{b_{ön}} = M_{b_{arka}} = \frac{M_{bT}}{2} = 67217 \text{ daN.mm}$$

Bu moment diferansiyelde $i_d = 5.38$ çevrim oranından dolayı artar. Yani

$$M_{b_{dif}} = M_{b_{arka}} \cdot i_d = 361627,5 \text{ daN.mm}$$

Diferansiyelden ise akslara eşit miktarda dağılır. Ama bu momentin 2/3'nin aksların birine (sağ) aktarıldığı varsayılırsa. Yani,

$$M_{bsağ} = M_{bdif} \cdot \frac{2}{3} = 241085 \text{ daN.mm}$$

ve bu değere göre gerilme ve ömür hesabı yapalım

Tehlikeli kesitin burulma mukavemet momenti

$$W_b = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 35^3}{16} = 8418 \text{ mm}^3$$

Burulma gerilmesi (nominal değeri)

$$\tau_b = \frac{M_{bsağ}}{W_b} = \frac{241085}{8418} = 28.6 \text{ daN / mm}^2$$

Daha önce hesapladığımız gibi tehlikeli kesitteki hakiki eğilme gerilmesi

$$\sigma_e = 18.95 \text{ daN/mm}^2 \text{ idi.}$$

Tehlikeli kesitin çentik faktörü dolayısıyla burulma gerilmesinin değeri değişecektir. Önce çentik faktörü, yüzey ve boyut faktörlerini belirtelim.

$$K_\zeta = 1 + q(K-1) = 1.31$$

$$q = 0.86 \quad K_t = 1.36 \quad [1]$$

$$K_b = 0.775 \quad K_y = 0.89 \quad [1]$$

O halde tehlikeli kesitteki hakiki burulma gerilmesi :

$$\tau_{bH} = \tau_b \cdot \frac{K_\zeta}{K_b \cdot K_y} = 28.6 \cdot \frac{1.31}{0.775 \cdot 0.89} = 54,3 \text{ daN / mm}^2$$

Bileşik gerilme :

$$\sigma_{Bil} = \sqrt{\sigma_H^2 + 3(\tau_{bH}^2)} = 96 \text{ daN / mm}^2 > \sigma_K$$

Eğer $\tau_b = 28.6 \text{ daN/mm}^2$ olsa

$$\sigma_{\text{Bil}} = \sqrt{18,95^2 + 3.28,6^2} = 53 \text{ daN / mm}^2 \leq \frac{\sigma_{\text{AK}}}{S}$$

$$S_1 = \frac{55}{53} = 1.04 \rightarrow \sigma_{\text{AK}} = 55 \text{ daN / mm}^2$$

$$S_2 = \frac{90}{53} = 1.70 \rightarrow \sigma_{\text{AK}} = 90 \text{ daN / mm}^2$$

Ömür :

$$\sigma_{\text{EDN}} = (1.36 - 0.1533 \log N) \sigma_K$$

$$53 = (1.36 - 0.1533 \log N) \cdot 60$$

$$\log N = \frac{1.36 - \frac{53}{60}}{0.1533} = 3.1094$$

$$N = 10^{3.1094} \text{ y.t.}$$

$$L_{\text{es}} = \frac{10^{3.1094}}{60,2.60} \cdot 9 = 3.25 \text{ km}$$

Yukarıdaki hesapların pratikte olması mümkün değildir. Çünkü iki aks arasında hiçbir zaman 2/3 değerinde hız oranı olamaz. Bu hesaplar teorik olarak elde edilecek sonuçları görebilmek için yapılmıştır.

Aks millerine eşit moment etki etmesi durumu göz önüne alınırsa :

$$M_{b1} = M_{b2} = M_{b3} = M_{b4} = 361627,5/2 = 180813,75 \text{ daN.mm}$$

$$\tau_{b1} = \tau_{b2} = \tau_{b3} = \tau_{b4} = 180813,75/8418 = 21,47 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_e = 18,95 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Bil}} = \sqrt{(18,95)^2 + 3 \cdot (21,47)^2} = 41,73 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{EDN}} = 41,73 = (1,36 - 0,1533 \log N) \cdot 60$$

buradan $\log N$ 'yi çekersek

$$\log N = \frac{1,36 - \frac{41,73}{60}}{0,1533} = 4,414$$

$$N = 10^{4,414} \text{ y.t. olur.}$$

Bu değerlerle :

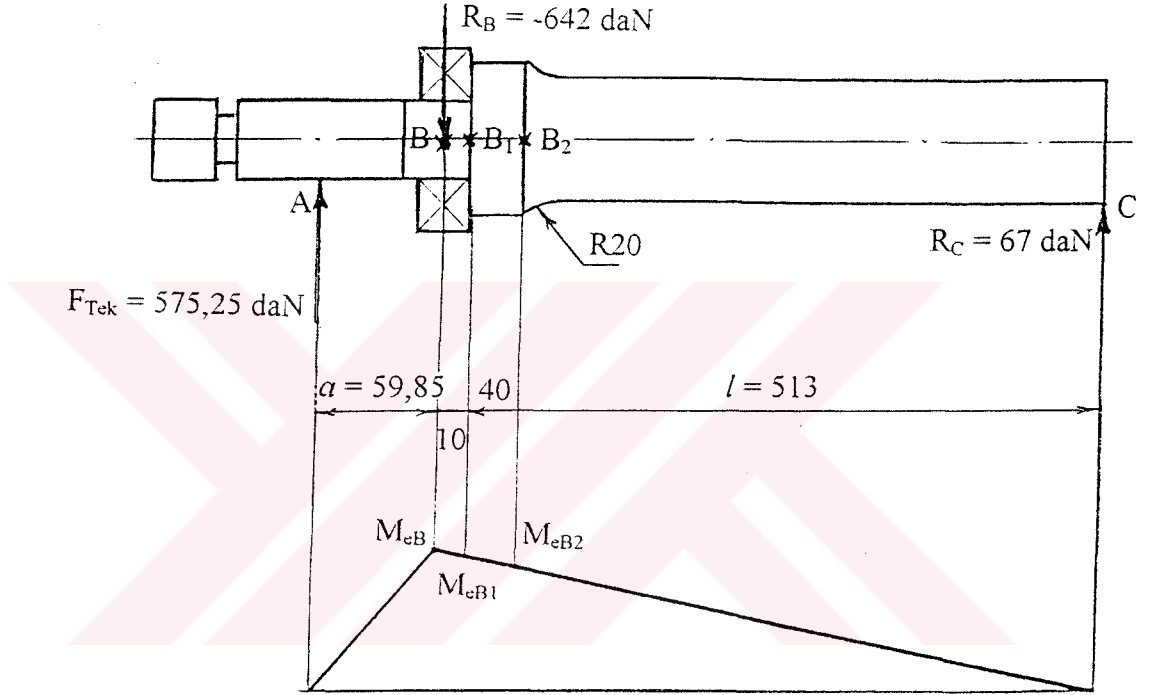
$$L_{\text{eş}} = \frac{10^{4,414}}{60 \cdot 2,60} \cdot 9,1 = 64,63 \text{ km.}$$

Aracın takviyeli vites durumunda 64,63 km gidebileceği görülmektedir.

8.2.3. Ç4140 Malzemeli Aksların Ömür ve Güvenilirlik Hesapları

Ç4140 (42 Cr Mo4) olan aks milleri (EK-4'de) ıslah yapılmış, sertleştirilmiş ve tehlikeli kesitteki $R = 3$ mm olan yuvarlaklık yarıçapı $R=20$ mm'ye çıkartılmıştır. Bu yapılan değişiklikler dolayısıyla millerin mukavemeti önemli ölçüde artmıştır.

Şimdi mil üzerinde yük dağılımı ve tehlikeli kesitleri şekilde gösterelim.



Şekil - 8.2.2. Ç4140 Malzemeli Aks Mili Modeli

Aracın boş ağırlığı : 1515 daN

Aracın yük kapasitesi : 786 daN

Toplam ağırlık : 2301 daN

Bir tekerleğe gelen yük

$$F_{\text{tek}} = \frac{F_{\text{Top}}}{4} = \frac{2301}{4} = 575.25 \text{ daN}$$

Her noktadaki momentler sırasıyla :

$$M_B = 34429 \text{ daN.mm}$$

$$M_{B1} = 33770 \text{ daN.mm}$$

$$M_{B2} = 31137 \text{ daN.mm}$$

B noktasının çapı eski milde 35 mm idi, yeni milde ise 34.95 mm. Dolayısıyla eğilme mukavemet momenti biraz azalmıştır.

$$W_{eB} = \frac{\pi d_B^3}{32} = \frac{\pi \cdot (34.95)^3}{32} = 4191 \text{ mm}^3$$

Eğilme gerilmesi :

$$\sigma_{eB} = \frac{M_{eB}}{W_{eB}} = \frac{34429}{4191} = 8.21 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{eB} = 8.21 \text{ daN/mm}^2$$

B₁ noktasındaki eğilme mukavemet momenti

$$W_{eB1} = 4191 \text{ mm}^3$$

Nominal eğilme gerilmesi :

$$\sigma_{eB1} = \frac{M_{eB1}}{W_{eB1}} = \frac{33770}{4191} = 8.06 \text{ daN/mm}^2$$

Ancak B₁ noktasında çentik faktörü (o noktada mil kademelidir) olduğundan gerilme belli miktarda artacaktır. Yani B₁ noktasında hakiki gerilme R = 3 mm gözönüne alınarak hesaplanacaktır.

$$\sigma_{RH1} = \sigma_{eB1} \cdot \frac{K_\varphi}{K_b K_y}$$

Burada : $K_\varphi = 1 + q (K_t - 1)$

$$K_t = 1.63 \quad q = 0.98 \quad [1]$$

$$K_\varphi = 1.62 \quad (R = 3\text{mm}, R/d = 0.08, D/d = 1.08)$$

$$K_y = 0.88, K_b = 0.775 \quad [1]$$

Buna göre B₁ noktasındaki hakiki gerilme :

$$\sigma_{eH1} = \sigma_{eB1} \cdot \frac{K_\varphi}{K_b \cdot K_y} = 8.06 \cdot \frac{1.62}{0,775 \cdot 0,88} = 19.15 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{eH1} = 19.15 \text{ daN/mm}^2$$

Bilindiği gibi

$$\sigma_{eB} = \frac{M_{eB}}{W_{eB1}} \leq \frac{\sigma_D^*}{S}$$

$$\sigma_D^* = \frac{K_b \cdot K_y}{K_\varphi} \cdot \sigma_D$$

$\sigma_D = 53 \text{ daN/mm}^2$ (ıslah edilmiş 42 Cr Mo4) olduğuna göre

$$\sigma_D^* = 22.3 \text{ daN/mm}^2$$

buradan emniyet katsayısı S_{B1} :

$$S_{B1} = \frac{\sigma_D^*}{\sigma_{B1}} = \frac{22.3}{8.06} = 2.77$$

$$S_{B1} = 2.77$$

Şimdi B₂ noktasındaki hakiki eğilme gerilmesini hesaplayalım :

$$W_{eB2} = \frac{\pi d_{B2}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 38^3}{32} = 5387 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{eB2} = \frac{M_{eB2}}{W_{eB2}} = \frac{31137}{5387} = 5.78 \text{ daN/mm}^2$$

Hakiki gerilme :

$$\sigma_{H2} = \sigma_{eB2} \cdot \frac{K_\phi}{K_y \cdot K_b}$$

Burada $K_\phi = 1 + q(K_r - 1) = 1 + 0,88 \cdot (1,25 - 1) = 1,22$

$$K_y = 0,88 \quad [1] \quad q = 0,88 \quad r/d = 0,606$$

$$K_b = 0,78 \quad [1] \quad r = 20 \text{ mm} \quad D/d = 1,15$$

$$\sigma_{H2} = 5,78 \cdot \frac{1,22}{0,88 \cdot 0,78} = 10,27 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_D^* = \frac{K_b \cdot K_y}{K_\phi} \cdot \sigma_D^* = \frac{0,78 \cdot 0,88}{1,22} \cdot 53 = 29,80 \text{ daN/mm}^2$$

Emniyet Katsayısı S_{B2} :

$$S_{B2} \leq \frac{\sigma_D^*}{\sigma_{RB1}} = \frac{29,8}{5,78} = 5,15$$

$$S_{B2} = 5,15$$

8.2.3.1. Aks Millerinin Sadece Eğilme Zorlanmasına Göre Ömür Hesapları

Ç4140 (42CrMo4) malzemesinin kopma gerilmesi $\sigma_K = 80 \dots 130 \text{ daN/mm}^2$ olarak bilinir. Biz $\sigma_{Kmin} = 80$, $\sigma_{K1} = 100$, $\sigma_{K2} = 120$ ve $\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2$ değerlerine göre aks millerinin ömür hesapları yapılacak. B₁ noktası tehlikeli kesit olduğu için, bu kesit esas alınacaktır.

$$\sigma_{Kmin} = 80 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_e = 19,15 \text{ daN/mm}^2$$

Ömür için genel formül :

$$\sigma_{EDN} = (1,36 - 0,1533 \log N) \sigma_K$$

$$\sigma_{EDN} = \sigma_e \text{ alınır.}$$

$$19.15 = (1.36 - 0.1533 \log N_{\min}) \cdot 80$$

$$\log N_{\min} = \frac{1.36 - \frac{19.15}{80}}{0.1533} = 7.31$$

$$N_{\min} = 10^{7.3100} \text{ y.t.}$$

Buna göre km olarak ömür :

$$n_{eş} = \frac{n_{eşkar}}{i_d} = \frac{2471}{5.38} = 460 \text{ d/d}$$

$$n_{eş} = 460 \text{ d/d}$$

$$V_{eş} = \frac{\pi n_{eş} \cdot r_{tek}}{30} = \frac{\pi \cdot 460 \cdot 0,4}{30} = 69.4 \text{ km/h}$$

$$(L_{eş})_{\min} = \frac{N_{\min}}{60 n_{eş}} \cdot V_{eş} = \frac{10^{7.3100}}{60 \cdot 460} \cdot 69.4 = 51340 \text{ km.}$$

$$(L_{eş})_{\min} = 51340 \text{ km}$$

$\sigma_{K1} = 100 \text{ daN/mm}^2$ değeri için aynı işlemi yapsak

$$N_1 = 10^{7.6223} \text{ y.t.}$$

$$(L_{eş})_1 = \frac{10^{7.6223}}{60 \cdot 460} \cdot 69.4 = 105380 \text{ km}$$

$$(L_{eş})_1 = 105380 \text{ km}$$

$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_2 = 10^{7.8305} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_2 = \frac{10^{7.8305}}{60.460} \cdot 69.4 = 170.200 \text{ km}$$

$$(L_{es})_2 = 170.200 \text{ km}$$

$$\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$N_{max} = 10^{7.9106} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_{max} = \frac{10^{7.9106}}{60.460} \cdot 69.4 = 204.660 \text{ km}$$

$$(L_{es})_{max} = 204660 \text{ km}$$

Bulduğumuz ömür değerleri, aracın aksları sadece eğilme gerilmesine maruz kalsaydı gidebileceği yolu gösteriyor. Ama aks bir de burulma gerilmesiyle zorlanıyor. Bir başka deyişle bileşik zorlanmaya maruzdur. Dolayısıyla aksların ömrü bileşik gerilmeye göre de hesaplanmalıdır.

8.2.3.2. Aks Millerinin Bileşik Gerilmelere Göre Ömür Hesapları.

Aksların her vitese göre ömür hesapları yapılmalı. Onun için her vitesteki bileşik gerilmeler bulunmalıdır.

1. Viteste aks miline gelen burulma momenti (%90 güvenilirlik hızı göre, yani $(V_1)_{90} = 22.5 \text{ km/h}$)

$$(V_1)_{90} = 22.5 \text{ km/h} \quad i_1 = 3.96$$

$$(n_1)_{\text{mot}} = (n_1)_{90} = 3157 \text{ d/d}$$

$$M_{b1m} = 13800 \text{ daN/mm} - \text{Motordan çıkış momenti. (Diyagram EK-1'de)}$$

O halde aksa gelen moment :

$$M_{b1Aks} = \frac{M_{b1M} \cdot i_1 \cdot i_d}{2} = 147003 \text{ daN.mm}$$

Mukavemet, gerilme hesapları zayıf nokta, yani tehlikeli kesit olan B₁ noktası için yapılacaktır.

$$\tau_{b1} = \frac{M_{b1AKS}}{W_{bb1}} = \frac{147003}{\frac{\pi \cdot 34.95^3}{16}} = 17.5 \text{ daN / mm}^2$$

Çentik faktörü etkisinden dolayı hakiki burulma gerilmesi :

$$\tau_{b1H} = \frac{K_\varphi}{K_v \cdot K_b} \cdot \tau_{b1}$$

$$K_\varphi = 1 + q(K_r - 1)$$

$$R = 3 \text{ mm} \quad d = 34.95 \text{ mm}$$

$$D = 38.08 \text{ mm}$$

$$R/d = 0.086 \quad D/d = 1.09$$

$$K_b = 0.775 \quad K_y = 0.89 \quad q = 0.98 \quad [1]$$

$$K_\varphi = 1.18$$

$$\tau_{bH} = \frac{1.18}{0.89 \cdot 0.775} \cdot 17.5 = 29.9 \approx 30 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{bH} = 30 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_I = \sqrt{\sigma_H^2 + 3\tau_{bH}^2} = \sqrt{19.15^2 + 3 \cdot (30)^2} = 55.4 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

1. Vitesteki bileşik gerilme değeri

$$(\sigma_{Bil})_I = 55.4 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Burada da $\sigma_{Kmin} = 80 \text{ daN/mm}^2$, $\sigma_{K1} = 100$, $\sigma_{K2} = 120$ ve $\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2$ değerler için ömür hesapları yapılacak.

$$\sigma_{Kmin} = 80 \text{ daN/mm}^2 \quad \sigma_{EDN} = (1.36 - 0.1533 \log N_{min}) \sigma_{Kmin}$$

$$\sigma_{EDN} = (\sigma_{Bil})_I = 55.4 \text{ daN} / \text{mm}^2 \quad N_{min} = 10^{4.3542} \text{ y.t.}$$

$$V_I = 22.5 \text{ km/h}$$

$$(L_{ey})_{min} = \frac{N_{min}}{60 \cdot n_{faks}} \cdot V_I = \frac{10^{4.3542}}{60 \cdot 148} \cdot 22.5 = 57 \text{ km}$$

$$(L_{ey})_{min} = 57 \text{ km}$$

$\sigma_{K1} = 100 \text{ daN/mm}^2$ için :

$$N_1 = 10^{5.2577} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_1 = \frac{10^{5.2577}}{60.148} \cdot 22.5 = 459 \text{ km}$$

$$(L_{es})_1 = 459 \text{ km}$$

$$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2 \text{ için :}$$

$$N_2 = 10^{5.8600} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_2 = \frac{10^{5.86}}{60.148} \cdot 22.5 = 1835 \text{ km}$$

$$\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$N_{max} = 10^{6.0916} \text{ y.t}$$

$$(L_{es})_{max} = 3219 \text{ km}$$

2. Vitesteki burulma momenti

$$(V_2)_{90} = 45 \text{ km/h} \quad i_1 = 2.39$$

$$(n_{II})_{mot} = (n_2)_{90} = 3813 \text{ d/d}$$

$$M_{b2m} = 13100 \text{ daN/mm}$$

Akstaki moment :

$$M_{b2aks} = \frac{13100 \cdot 2,39 \cdot 5,38}{2} = 84221 \text{ daN.mm}$$

Burulma gerilmesi :

$$\tau_{b2} = \frac{84221}{8382} = 10.05 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Hakiki gerilme :

$$\tau_{b2H} = 17.2 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_{II} = \sqrt{\sigma_{eH}^2 + 3\tau_{b2H}^2} = 35.4 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

2. Vitesteki bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_{II} = 35.4 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\sigma_{K \min} = 80 \text{ daN} / \text{mm}^2 \quad \text{için ömür hesabı :}$$

$$N_{\min} = 10^{5.9850} \text{ y.t.}$$

$$(n_{II})_{aks} = \frac{n_{II \text{ mot}}}{i_d \cdot i_2} = \frac{3813}{5,38 \cdot 2,39} = 296 \text{ d} / \text{d}$$

$$V_{II} = 45 \text{ km/h}$$

$$(L_{es})_{\min} = \frac{N_{\min}}{60 \cdot n_{II \text{ aks}}} \cdot V_{II} = \frac{10^{5.9850}}{60 \cdot 296} \cdot 45 = 2448 \text{ km}$$

$$(L_{es})_{\min} = 2448 \text{ km.}$$

$$\sigma_{K1} = 100 \text{ daN/mm}^2 \quad \text{için}$$

$$N_1 = 10^{6.5623} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_1 = 9248 \text{ km.}$$

$$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$N_2 = 10^{6.9472} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_2 = 22435 \text{ km.}$$

$$\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$N_{max} = 10^{7.0952} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_{max} = 31547 \text{ km.}$$

3. Vites için de aynı işlemler yapılırsa

$$(V_3)_{90} = 72 \text{ km/h}$$

$$(n_{III})_{mot} = (n_3)_{90} = 4028 \text{ d/d}$$

$$i_3 = 1.57$$

$$M_{b3m} = 12700 \text{ daN/mm}$$

Akstaki moment :

$$M_{b3aks} = \frac{12700 \cdot 1,57 \cdot 5,38}{2} = 53636 \text{ daN / mm}$$

Burulma gerilmesi :

$$\tau_{b3} = \frac{53636}{8382} = 6.4 \text{ daN / mm}^2$$

Hakiki gerilme :

$$\tau_{b3H} = \frac{1.18}{0,89.0,775} \cdot 6,4 = 10,9 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$\tau_{b3H} = 10,9 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_{III} = \sqrt{19,15^2 + 3 \cdot (10,9)^2} = 26,9 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

3. Vitesteki bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_{III} = 26,9 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$\sigma_{K \min} = 80 \text{ daN} / \text{mm}^2$ için ömür hesabı

$$N_{\min} = 10^{6,6781} \text{ y.t.}$$

$$(n_{III})_{aks} = \frac{n_{III \text{ mot}}}{i_d \cdot i_3} = \frac{4028}{5,38 \cdot 1,57} = 477 \text{ d} / \text{d}$$

$$V_{III} = 72 \text{ km/h}$$

$$(L_{ey})_{\min} = 11988 \text{ km.}$$

$\sigma_{K1} = 100 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_1 = 10^{7,1168} \text{ y.t.}$$

$$(L_{ey})_1 = 32918 \text{ km.}$$

$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_2 = 10^{7,4092} \text{ y.t.}$$

$$(L_{ey})_2 = 64548 \text{ km.}$$

$$\sigma_{K_{\max}} = 130 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$N_{\max} = 10^{7,5217} \text{ y.t.}$$

$$(L_{ey})_{\max} = 83630 \text{ km.}$$

4. Vites için aynı işlem yapılırsa :

$$(V_4)_{90} = 99 \text{ km/h}$$

$$(n_{IV})_{\text{mot}} = (n_4)_{90} = 3524 \text{ d/d}$$

$$i_4 = 1$$

$$M_{b4m} = 13500 \text{ daN/mm}$$

Akstaki moment :

$$M_{b4aks} = \frac{13500 \cdot 5,381}{2} = 36315 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

Burulma gerilmesi :

$$\tau_{b4} = \frac{36315}{8382} = 4,3 \text{ daN / mm}^2$$

Hakiki gerilme :

$$\tau_{b4H} = \frac{1,18}{0,89 \cdot 0,775} \cdot 4,3 = 7,4 \text{ daN / mm}^2$$

$$\tau_{b4H} = 7,4 \text{ daN / mm}^2$$

Bileşik gerilme :

$$(\sigma_{Bil})_{IV} = \sqrt{19.15^2 + 3.(7.4)^2} = 23 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$\sigma_{K \min} = 80 \text{ daN} / \text{mm}^2$ için ömür :

$$N_{\min} = 10^{6.9981} \text{ y.t.}$$

$$(n_{IV})_{aks} = \frac{n_{IV \text{ mot}}}{i_d \cdot i_4} = \frac{3524}{5,38.1} = 655 \text{ d} / \text{d}$$

$$V_{IV} = 99 \text{ km/h}$$

$$(L_{es})_{\min} = \frac{10^{6.9981}}{60.655} \cdot 99 = 25080 \text{ km.}$$

$$(L_{es})_{\min} = 25080 \text{ km.}$$

$\sigma_{K1} = 100 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_1 = 10^{7.3712} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_1 = 59212 \text{ km.}$$

$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_2 = 10^{7.6212} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_2 = 105309 \text{ km.}$$

$\sigma_{K\max} = 130 \text{ daN/mm}^2$ için

$$N_{\max} = 10^{7.7174} \text{ y.t.}$$

$$(L_{es})_{\max} = 131414 \text{ km.}$$

Bulunan değerler, araç sadece belli bir viteste giderse elde edilebilecek ömür değerleridir. Fakat araçlar değişik viteslerde gittikleri için ömür değerleri değişecektir ve birikimli hasar durumuna göre hesaplanacaktır. Birikimli hasar durumunu tespit etmek için eşdeğer bileşik gerilmesi bulunmalıdır. Bunun için Palmgren-Miner denklemlerinden istifade edilecektir.

$$\frac{C_1}{(\sigma_{Bil})_I} + \frac{C_2}{(\sigma_{Bil})_{II}} + \frac{C_3}{(\sigma_{Bil})_{III}} + \frac{C_4}{(\sigma_{Bil})_{IV}} = \frac{1}{(\sigma_{Bil})_{ep}}$$

Değerleri yerine koyar ve gerekli işlemleri yaparsak

$$\frac{0.049}{55.4} + \frac{0.12}{35.4} + \frac{0.313}{26.9} + \frac{0.519}{23} = \frac{1}{(\sigma_{Bil})_{ep}}$$

$$(\sigma_{Bil})_{eş} = 26 \text{ daN/mm}^2$$

eşdeğer bileşik gerilme elde edilir. Bu değerlerle malzemenin değişik kopma gerilmelerindeki ömür değerleri hesaplanabilir.

$$\sigma_{Kmin} = 80 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$(\sigma_{Bil})_{eş} = (1.36 - 0.1533 \log N_{min}) \sigma_k$$

$$26 = (1.36 - 0.1533 \log N_{min}) \cdot 80$$

$$\log N_{min} = \frac{1.36 - \frac{26}{80}}{0.153} = 6.7515$$

$$N_{min} = 10^{6.7515} \text{ y.t.}$$

buna gre aracın katedeceği eşdeğer mesafe :

$$L_{eşmin} = \frac{N_{min}}{60 \cdot n_{eş}} \cdot V_{eş} = \frac{10^{6.7515}}{60 \cdot 459} \cdot 69.5 = 14240 \text{ km}$$

$$(L_{eş})_{min} = 14240 \text{ km}$$

$$\sigma_{KI} = 100 \text{ daN/mm}^2 \text{ iin}$$

$$26 = (1.36 - 0.1533 \log N_1) \cdot 100$$

$$\log N_1 = \frac{1.36 - \frac{26}{100}}{0.1533} = 7.1755$$

$$N_1 = 10^{7.1755} \text{ y.t.}$$

$$(L_{eş})_1 = 37802 \text{ km}$$

$$\sigma_{K2} = 120 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$\log N_2 = \frac{1.36 - \frac{26}{120}}{0.1533} = 7.4581$$

$$N_2 = 10^{7.4581} \text{ y.t.}$$

$$(L_{eş})_2 = 72464 \text{ km}$$

$$\sigma_{Kmax} = 130 \text{ daN/mm}^2 \text{ için}$$

$$\log N_{max} = \frac{1.36 - \frac{26}{130}}{0.1533} = 7.5669$$

$$N_{max} = 10^{7.5669} \text{ y.t.}$$

$$(L_{eş})_{max} = 93094 \text{ km}$$

Aks malzemesinin kopma gerilmesi $\sigma_K = 120 \text{ daN/mm}^2$ dir. Onun için kabul edebileceğimiz ömür ($L_{eş}$ [km] olarak) :

$$L_{eş} = 72464 \text{ km.}$$

Yani araç bu mesafeyi katettikten sonra aksın değiştirilmesi anlamına geliyor.

Bu değer maksimum tork, maksimum eğilme zorlanması aynı anda mevcut durum varsayımıyla elde edilmiş oldu.

Burulmada nominal gerilmeler, eğilmede maksimum değerler esas alınırsa aksın gerçek çalışma durumuna en uygun bir yaklaşım olacaktır.

1. Viteste :

$$\sigma_{\text{emax}} = 19,15 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b1} = 17,5 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Bil1}} = \sqrt{(19,5)^2 + 3 \cdot (17,5)^2} = 36,04 \text{ daN/mm}^2$$

2. Viteste :

$$\sigma_{\text{emax}} = 19,15 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b2} = 10,05 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Bil2}} = \sqrt{(19,5)^2 + 3 \cdot (10,05)^2} = 26,66 \text{ daN/mm}^2$$

3. Viteste :

$$\sigma_{\text{emax}} = 19,15 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b3} = 6,4 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Bil3}} = \sqrt{(19,5)^2 + 3 \cdot (6,4)^2} = 22,43 \text{ daN/mm}^2$$

4. Viteste :

$$\sigma_{\text{emax}} = 19,15 \text{ daN/mm}^2$$

$$\tau_{b4} = 4,3 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{Bil4}} = \sqrt{(19,5)^2 + 3 \cdot (4,3)^2} = 20,87 \text{ daN/mm}^2$$

Bu değerlere göre eşdeğer gerilme :

$$\frac{0,048}{36,04} + \frac{0,12}{26,66} + \frac{0,313}{22,43} + \frac{0,519}{20,87} = \frac{1}{(\sigma_{Bil})_{eş}}$$

$$(\sigma_{Bil})_{eş} = 22,37 \text{ daN/mm}^2$$

olur.

Buna göre ömür değeri :

$$\sigma_K = 120 \text{ daN/mm}^2 \text{ esas alınarak}$$

$$\log N = \frac{1,36 - \frac{22,37}{120}}{0,1533} = 7,6555$$

$$N = 10^{7,6555} \text{ y.t.}$$

Buradan da eşdeğer mesafe :

$$L_{eş} = \frac{10^{7,6555}}{60,459} \cdot 69,5 = 114153 \text{ km}$$

$$L_{eş} = 114153 \text{ km}$$

bulunur. Hesaplanan bu ömür gerçek alıŐma Őartlarına en uygun, ömür değeridir.

9. SONUÇ

Makine parçalarının değişken gerilmelerde ve değişik sürelerde çalışmaları durumunda istatistik hesapların ve diğer değerlendirmelerin nasıl yapılabileceği bu tez çalışması içinde örneklerle açıklanmıştır.

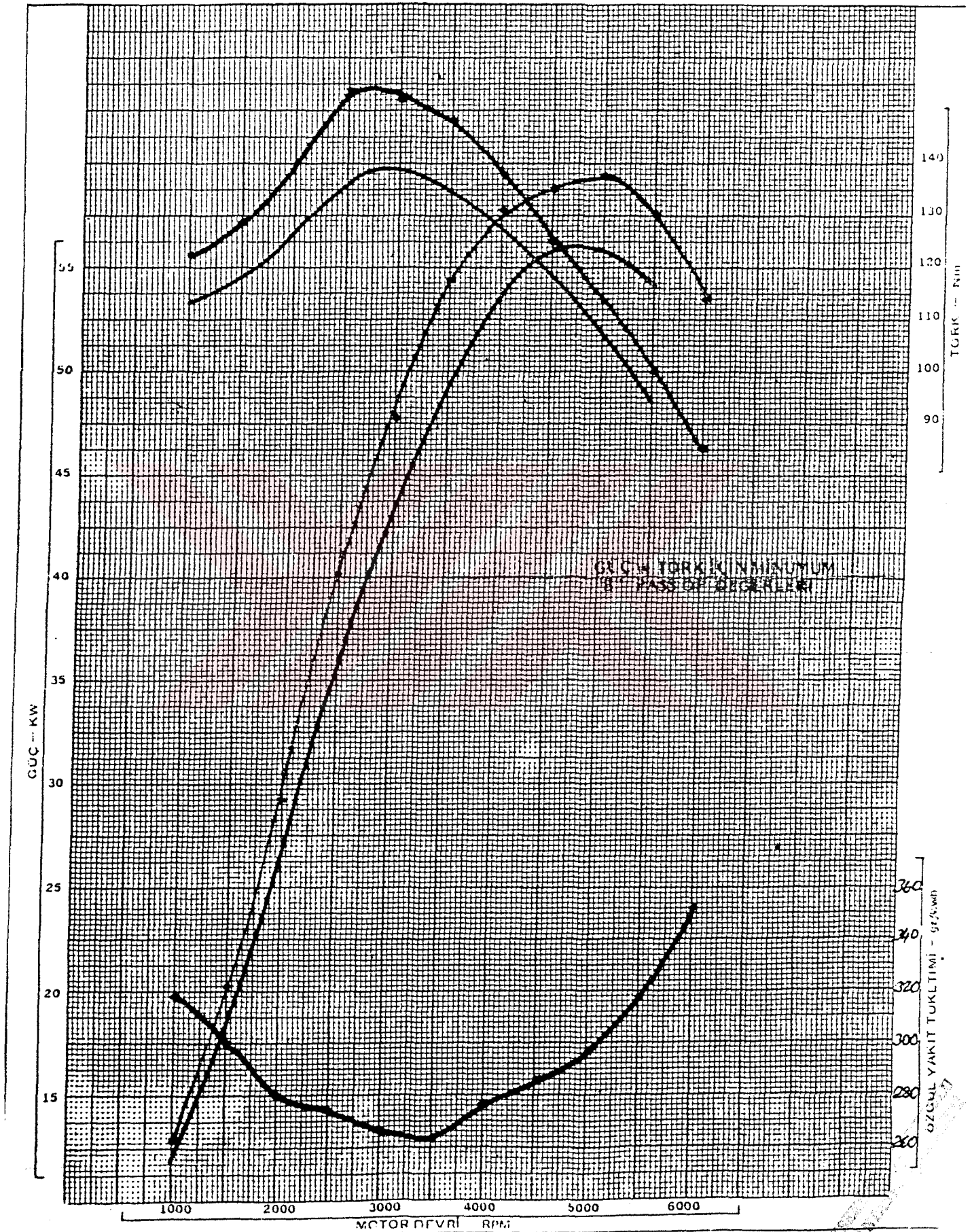
Ömür hesaplarında makine parçasının malzemesi ve gerilmelerinin zamana göre değişme durumu göz önüne alınarak ömür denklemi elde edildikten sonra birikimli hasar hesaplara katılarak gerçek ömürler analitik olarak bulunabilmektedir. Burada en zor tespit edilebilen parametre makine parçasının tüm ömrü gözönüne alındığında hangi yüzdelerde , hangi gerilmelerde çalışmakta olduğunu bulunmasıdır. Bu da makine elemanının işletme şartlarında istatistik bilgilerle elde edilmektedir.

Bu tez çalışmasında bir askeri jeep'in değişik viteslerdeki çalışma yüzdeleri istatistiki olarak belirlenen değerleri tezdeki hesaplarda esas alınmıştır. Tezde tatbik edilen formülasyon ve değerlendirmelerde makine parçalarının imalattan sonraki yedek parçası stok belirlemelerinin de nasıl yapılabileceği görülmektedir.

10. KAYNAKLAR

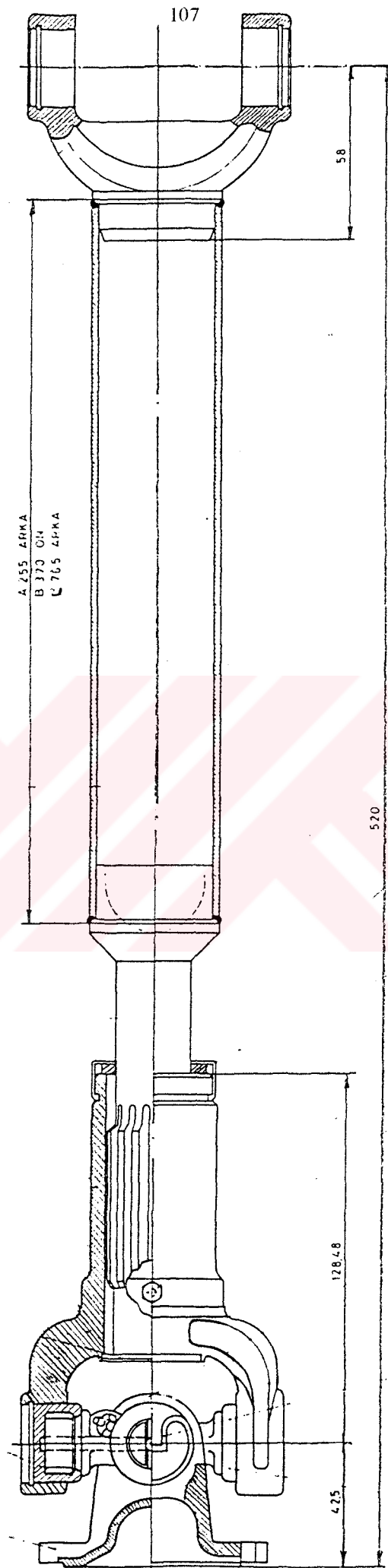
- [1] Akkurt,M., “Makine Elemanları”, Cilt II , İ.T.Ü. Makine Fakültesi, 1982
- [2] Akkurt,M., “Makine Konstrüksiyonunda Güvenirliğin Esasları”, Makine Mühendisleri Odası Yayın no 106 , İstanbul , 1977
- [3] Akkurt,M., “Makine Konstrüksiyonunda Emniyet ve Güvenirlik”, TÜBİTAK 5.Bilim Kongresi Bildiri Kitabı , İstanbul , 1975
- [4] Çakmak,S.M.”Makine Parçalarının Mukavemet Hesapları”, İstanbul,1986
- [5] Gürgül,İ.,”Makine Elemanları”, Cilt I. Y.T.Ü. Mühendislik Fakültesi,1990
- [6] Okday,Ş.,”Makine Elemanları”,Cilt I. Y.T.Ü. Makine Şubesi,1959
- [7] Tahralı,N.,Dikmen,F.,”Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik ve Ömür Hesapları”, Y.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul,1995
- [8] MKE, Özel Nitelikte MKE Normu, Çelik Türleri Kataloğu

EK 1 MOTOR - PERFORMANS (M-n) DİYAGRAMI

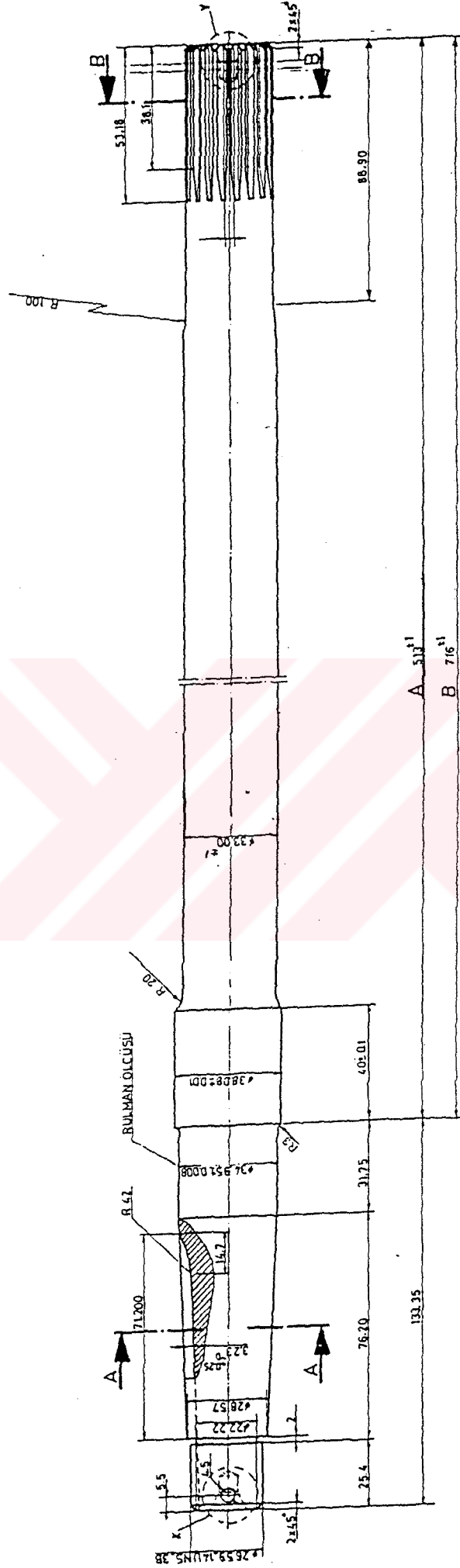


T.C. YATIRIM BANKASI
DOKÜMAN

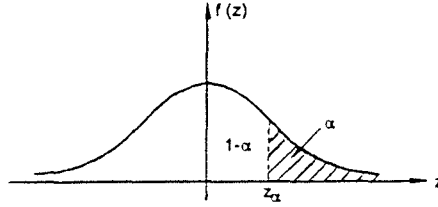
EK 2 KARDAN MILI



EK 4 ARKA AKS MİLİ (Ç4140)



EK 5 NORMAL DAĞILIM FONKSİYONU TABLOSU



z_{α}	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,0	,5000	,4960	,4920	,4880	,4840	,4801	,4761	,4721	,4681	,4641
0,1	,4602	,4562	,4522	,4483	,4443	,4404	,4364	,4325	,4286	,4247
0,2	,4207	,4168	,4129	,4090	,4052	,4013	,3974	,3936	,3897	,3859
0,3	,3821	,3783	,3745	,3707	,3669	,3632	,3594	,3557	,3520	,3483
0,4	,3446	,3409	,3372	,3336	,3300	,3264	,3228	,3192	,3156	,3121
0,5	,3085	,3050	,3015	,2981	,2946	,2912	,2877	,2843	,2810	,2776
0,6	,2743	,2709	,2676	,2643	,2611	,2578	,2546	,2514	,2483	,2451
0,7	,2420	,2389	,2358	,2327	,2296	,2266	,2236	,2206	,2177	,2148
0,8	,2119	,2090	,2061	,2033	,2005	,1977	,1949	,1922	,1894	,1867
0,9	,1841	,1814	,1788	,1762	,1736	,1711	,1685	,1660	,1635	,1611
1,0	,1587	,1562	,1539	,1515	,1492	,1469	,1446	,1423	,1401	,1379
1,1	,1357	,1335	,1314	,1292	,1271	,1251	,1230	,1210	,1190	,1170
1,2	,1151	,1131	,1112	,1093	,1075	,1056	,1038	,1020	,1003	,0985
1,3	,0968	,0951	,0934	,0918	,0901	,0885	,0869	,0853	,0838	,0823
1,4	,0808	,0793	,0778	,0764	,0749	,0735	,0721	,0708	,0694	,0681
1,5	,0668	,0655	,0643	,0630	,0618	,0606	,0594	,0582	,0571	,0559
1,6	,0548	,0537	,0526	,0516	,0505	,0495	,0485	,0475	,0465	,0455
1,7	,0446	,0436	,0427	,0418	,0409	,0401	,0392	,0384	,0375	,0367
1,8	,0359	,0351	,0344	,0336	,0329	,0322	,0314	,0307	,0301	,0294
1,9	,0287	,0281	,0274	,0268	,0262	,0256	,0250	,0244	,0239	,0233
2,0	,0228	,0222	,0217	,0212	,0207	,0202	,0197	,0192	,0188	,0183
2,1	,0179	,0174	,0170	,0166	,0162	,0158	,0154	,0150	,0146	,0143
2,2	,0139	,0136	,0132	,0129	,0125	,0122	,0119	,0116	,0113	,0110
2,3	,0107	,0104	,0102	,0099	,0096	,0094	,0091	,0089	,0087	,0084
2,4	,0082	,0080	,0078	,0075	,0073	,0071	,0069	,0068	,0066	,0064
2,5	,0062	,0060	,0059	,0057	,0055	,0054	,0052	,0051	,0049	,0048
2,6	,0047	,0045	,0044	,0043	,0041	,0040	,0039	,0038	,0037	,0036
2,7	,0035	,0034	,0033	,0032	,0031	,0030	,0029	,0028	,0027	,0026
2,8	,0026	,0025	,0024	,0023	,0023	,0022	,0021	,0020	,0020	,0019
2,9	,0019	,0018	,0017	,0017	,0016	,0016	,0015	,0015	,0014	,0014

z_{α}	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
3	,0 ² 135	,0 ³ 968	,0 ⁶ 687	,0 ³ 483	,0 ³ 337	,0 ² 233	,0 ³ 159	,0 ³ 108	,0 ⁴ 723	,0 ⁴ 481
4	,0 ⁴ 317	,0 ⁴ 207	,0 ⁴ 133	,0 ⁶ 854	,0 ⁵ 541	,0 ⁵ 340	,0 ⁵ 211	,0 ⁵ 130	,0 ⁶ 793	,0 ⁶ 479
5	,0 ⁶ 287	,0 ⁶ 170	,0 ⁷ 996	,0 ⁷ 579	,0 ⁷ 333	,0 ⁷ 190	,0 ⁷ 107	,0 ⁸ 599	,0 ⁸ 332	,0 ⁸ 182
6	,0 ⁸ 987	,0 ⁸ 530	,0 ⁸ 282	,0 ⁸ 149	,0 ¹⁰ 78	,0 ¹⁰ 40	,0 ¹⁰ 20	,0 ¹⁰ 10	,0 ¹¹ 52	,0 ¹¹ 26

Not : Bu tablo [7] den alınmıştır.

EK - 6

Malzeme	Dinamik Zorlanmalar					
	Çekme		Eğilme		Burulma (Torsiyon)	
	σ_D	σ_{DT}	σ_D	σ_{DT}	τ_D	τ_{DT}
Genel İmalat Çelikleri	0,45 σ_K	1,3 σ_D	0,49 σ_K	1,5 σ_D	0,35 σ_K	1,1 τ_D
İslah Çeliği	0,41 σ_K	1,7 σ_D	0,44 σ_K	1,7 σ_D	0,30 σ_K	1,6 τ_D
Semantasyon Çeliği	0,40 σ_K	1,6 σ_D	0,41 σ_K	1,7 σ_D	0,30 σ_K	1,4 τ_D
Dökme Demir	0,25 σ_K	1,6 σ_D	-	-	0,36 σ_K	1,6 τ_D
Hafif Metal	0,30 σ_K	-	-	-	0,25 σ_K	-

Acıklamalar :

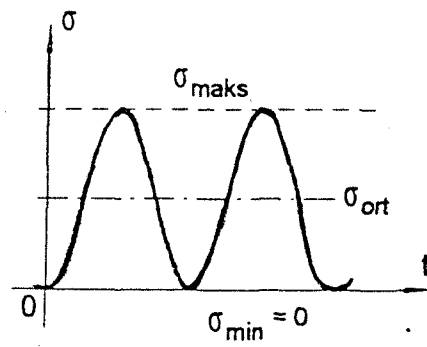
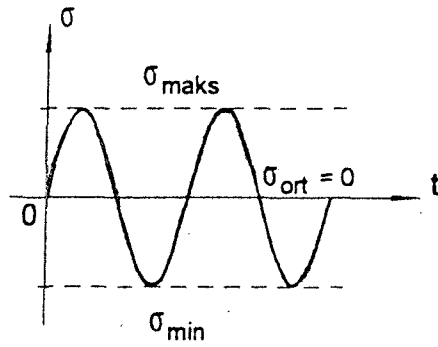
σ_K : Kopma gerilmesi

σ_D : Tam Değişken Zorlanmada Sürekli Mukavemet Değeri

(Ortalama Gerilme : $\sigma_0 = 0$, Gerilme Genliği : $\sigma_g = \sigma_{\max}$; $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$)

σ_{DT} : Dalgalı (Titreşimli) Zorlanmada Sürekli mukavemet Değeri

($\sigma_0 = \sigma_g/2$; $\sigma_{\max} = 2\sigma_g = 2\sigma_D$; $\sigma_{\min} = 0$)



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	21 Mayıs 1970
Doğum Yeri	Özbekistan Cumhuriyeti Sirderya Vilayeti Gülistan Şehri
Eğitim	1977-1987 İlk ve Orta Öğrenim 1987-1992 Taşkent Teknik Üniversitesi 1992-1993 Ankara Üniversitesi Türkçe Öğretim Merkezi (TÖMER) 1994- Y.T.Ü. Makine Müh. Anabilim Dalı

