Koepe İhraç SİSTEMİ

-I-

Ana Kaynak : Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe İhraç Sistemi EKİ)

(6) Adet.

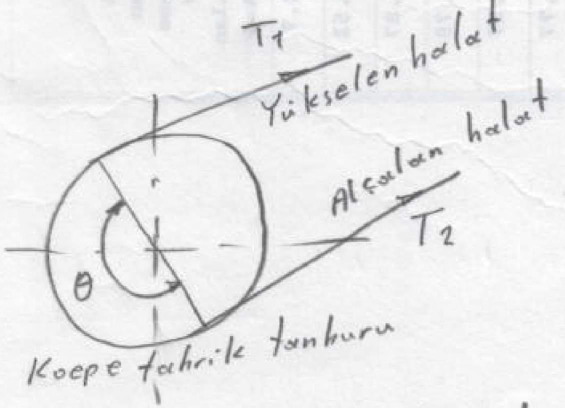
KOEPE İHRAÇ SİSTEMİ

Koepe (Sürtünmeli) ihraç sisteminde temel prensipler :

1- Minimum kayma riskinin sağlanmasında genel bir kural olarak, ihracı yapılacak faydalı yükün, yüklü (yükselen) halattaki asılı toplam yüke oranı, %30'u geçmemelidir. Yani, asılı toplam yük 33 ton olduğunda faydalı yük 33 ton . %30 ≅ 10 tonu aşmamalıdır.

2- Artan ve azalan ivmenin halat üzerine ilave bir yük getirdiği düşünülürse, pratikte artan ivme minimumda tutulmalı ve bu değer hiç bir zaman $1 m/sn^2$'yi geçmemelidir.

3- Yüklü (yükselen) ve yüksüz (alçalan) ihraç halat larının çalıştıkları toplam yük değerleri oranları, sürtünme katsayısı (Halat ile Koepe tahrik tamburu halat yuvası arasındaki) ve temas açısı (veya sarım açısı) ile sınırlandırılmış değerleri aşmamalıdır.



Yani, halat - halat yuvası arasında kayma olmaması için,

$$T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu \theta} \qquad \begin{array}{c|c} T_1, T_2 & \theta \\ \hline N & \text{radyan} \end{array} \qquad \text{———} (1)$$

koşulunun sağlanması gerekir.

T_1 - Yükselen halattaki toplam halat yükü

T_2 - Alçalan halattaki toplam halat yükü

μ - Halat ile halat yuvası arasındaki sürtünme katsayısı

θ - Temas veya sarım açısı (Halatın ihraç tamburunu çevrelediği temas eğriliğine karşılık gelen açı)

Not. Birimler, Mehmet GÜNEY - Koepe ihraç sistemi kitabından SI birim sistemine uyarlanmıştır.

$\frac{T_1}{T_2}$ - Halat çekme kuvvetleri oranını inceliyelim.

μ sürtünme katsayısı tasarımda yönetmeliklere göre alınır. Örneğin:

"İnsan ihracı" için

- Alman maden yönetmeliğinde

$\mu = 0,2$

- Kanada maden dairesince ise

$\mu = 0,25$

olarak kabul edilmiştir.

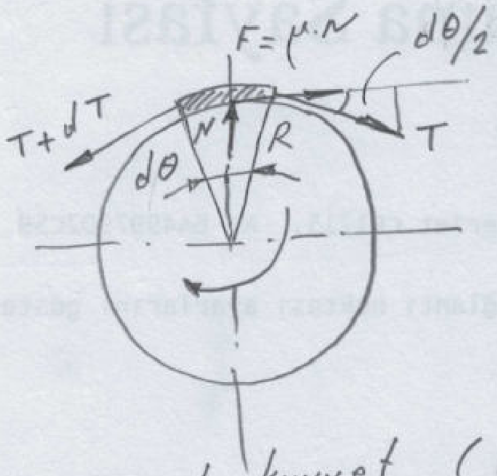
θ temas açısı genelde $180°$ ile $200°$ arasındadır.

$180°$ için,

$\mu \cdot \theta = 0,2 \cdot (180° = \pi \text{ radyan}) = 0,628$

$e^{\mu\theta} = e^{0,628} = 1,87$

Not Kaymama koşulunu sağlayan (1) formulünü elde edelim.



Koepe tahrik tanburunda $d\theta$ açısına karşılık gelen halat elemanını göz önüne alalım.

N- Normal kuvvet (Halat yüzey basıncının tahrik tanburu üzerinde oluşturduğu kuvvet)

F - Sürtünme kuvveti (Halat ile tanbur arasındaki)

T - Halat çekme kuvveti

- Düşey kuvvetlerin denge denklemi,

$$T \cdot \sin\frac{d\theta}{2} + (T+dT)\sin\frac{d\theta}{2} = N$$

ikinci mertebeden terimler ihmal edilir ve açının küçüklüğü göz önüne alınırsa,

$$\sin\frac{d\theta}{2} \cong \frac{d\theta}{2}, \quad dT \cdot \sin\frac{d\theta}{2} = \text{ihmal}$$

$$T \cdot \frac{d\theta}{2} + T \cdot \frac{d\theta}{2} = N$$

$$T \cdot d\theta = N$$

- Yatay kuvvetlerin denge denklemi

Kayma olmaması için,

$$(T+dT) \cdot \cos\frac{d\theta}{2} \leq F + T \cdot \cos\frac{d\theta}{2}$$

olmalıdır.

$$\cos\frac{d\theta}{2} \cong 1$$

$$T \cdot \cancel{\cos\frac{d\theta}{2}} + dT \cdot \cos\frac{d\theta}{2} \leq \mu \cdot N + T \cdot \cancel{\cos\frac{d\theta}{2}}$$

$$dT \leq \mu N$$

bulunur. $T \cdot d\theta = N$ ile iki denklemi taraf tarafa bölersek,

$$\frac{dT}{T \cdot d\theta} \leq \frac{\mu N}{N}$$

$$\frac{dT}{T} \leq \mu \, d\theta \longrightarrow \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{T} \leq \mu \int_0^{\theta} d\theta$$

$$\ln\frac{T_1}{T_2} \leq \mu \cdot \theta \longrightarrow \frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\theta}$$

$$\| \; T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu\theta}$$

elde edilir.

Yani, hiçbir halat kayma riski olmadan halatın tamburla beraber çalışmasında olması gereken koşuldur.

Genel olarak statik yüklerin oranı T_1/T_2 nin

$$\left(T_1/T_2\right)_{statik} < 1,5$$

olması istenir.

Dinamik olarak,

$$\left(T_1/T_2\right)_{dinamik} < 2$$

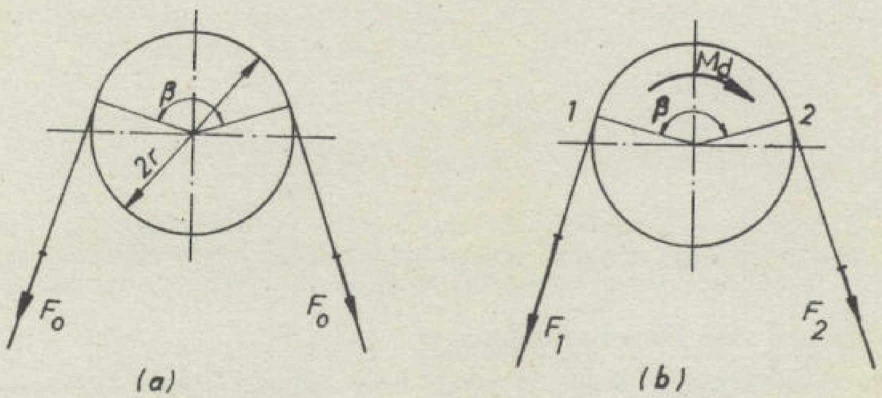
ise, halat kayma riski yok demektir.

2. KAYIŞ-KASNAK MEKANİZMALARINDA KUVVET VE HIZ DURUMU

2.1. Sürtünme bağı ile güç ve hareket iletimi

Düz kayışların ve V-kayışlarının kullanıldığı mekanizmalarda kasnak ile kayış arasındaki bağ sürtünme bağıdır.

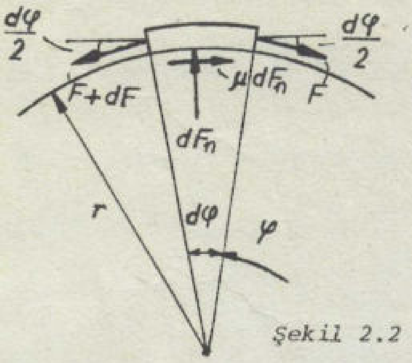
Dönebilme serbestliğine sahip bir kasnak üzerindeki kayışın kollarına bir germe kuvveti uygulandığında kasnağa bir döndürme momenti etkimezken kayış kollarındaki kuvvetler birbirine eşittir (Şekil 2.1 a). Bu kuvvet F_o ile gösterilsin. Kasnağa bir döndürme momenti etkidiğinde kayış kollarındaki gerilmeler bir kolda artacak diğerinde ise azalacaktır (Şekil 2.1 b). Bu durumda kayış kol kuvvetleri F_1 ve F_2 ile gösterilirse, kayışın kasnak üzerine sarılı olan kısmındaki kuvvet, 1 ile 2 kesitleri arasında azalıp F_1 den F_2 ye düşecektir. Denge şartından



Şekil 2.1

$$M_d = (F_1 - F_2) \cdot r = F_u \cdot r \qquad (2.1)$$

yazılabilir. $F_1 - F_2$ farkı F_u ile gösterilir ve buna faydalı kuvvet denir. Bu eşitlik tek başına kol kuvvetlerinin bulunması için yeterli değildir. İkinci bir bağıntıya daha ihtiyaç vardır. Kayış ile kasnak arasındaki sürtünmeyi de dikkate almak gerekir. Çevrede herhangi bir noktada $r.d\phi$ uzunluğunda sonsuz küçük bir kayış parçası ile kasnak arasındaki normal kuvvet (Şekil 2.2)



Şekil 2.2

$$dF_n = (F + dF)\frac{d\phi}{2} + F \cdot \frac{d\phi}{2} \approx F \cdot d\phi$$

dir. Bu normal kuvvetin doğurduğu sürtünme kuvveti $\mu . dF_n = \mu . F . d\phi$ olacaktır. Kayışın kasnak üzerinde blok halinde kaymaması için bu sürtünme kuvveti, teğetsel dF kuvvetinden büyük veya ona eşit olmalıdır.

-2-/4

$$dF \leqslant \mu F d\phi$$

$$\frac{dF}{F} \leqslant \mu . d\phi$$

$$\int_{F_2}^{F_1} \frac{dF}{F} \leqslant \int_0^\beta \mu . d\phi$$

olur. Sürtünme katsayısının tüm temas yayı boyunca sabit olduğu kabul edilirse

$$\ln \frac{F_1}{F_2} \leqslant \mu \beta$$

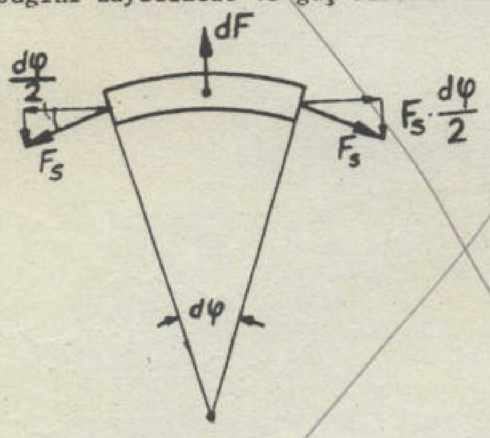
veya

$$\frac{F_1}{F_2} \leqslant e^{\mu\beta} \qquad (2.2)$$

bulunur. 2.1 ve 2.2 bağıntıları ile kol kuvvetleri hesaplanabilir. Burada β kayış ile kasnağın temas yayını gören merkez açıdır ve bu açıya-sarılma açısı- adı verilir. 2.2 Formülüne literatürde Eytelwein, Grashof veya Euler formülü adı verilir.

2.2 Merkezkaç kuvvetlerin etkisi

Kasnağa sarıldığı andan itibaren dönme hareketi yapan kayışa merkezkaç kuvvetler de etkir. Bu kuvvet, kayışı kasnak üzerinden kaldırmaya çalışarak sürtünme bağını zayıflatır ve güç iletimi bakımından istenmeyen bir durum ortaya çıkarır.



Şekil 2.3

Kasnak çevresinde, r.dϕ uzunluğundaki sonsuz küçük kayış parçasına gelen merkezkaç kuvvet dF ve merkezkaç etkiden dolayı kayışta ortaya çıkan kuvvet $F_ş$ olsun. r.dϕ uzunluğundaki kayışın kütlesi dm olduğuna göre

$$dm = d\phi . r.A. \frac{\gamma}{g}$$

$$dF = dm.r.\omega^2$$

$$dF = A . \frac{\gamma}{g} .r^2.\omega^2.d\phi \quad = A. \frac{\gamma}{g} .V^2.d\phi$$

dir. Burada A kayışın kesit alanı, γ özgül ağırlığı V çevre hızıdır. Kayış elemanının denge denkleminden

$$F_s . \frac{d\phi}{2} + F_s \frac{d\phi}{2} = F_s.d\phi = dF$$

elde edilir. dF yerine yukarıda bulunan değeri konularak

200° için,

$$\mu\theta = 0{,}2 \cdot \left(\frac{200°}{180°} \cdot \pi\right) = 0{,}698$$

$$e^{\mu\theta} = e^{0{,}698} = 2{,}01$$

Görüldüğü gibi $e^{\mu\theta}$ nın sayısal değeri daima 1 den büyüktür. Bu bilgi bize, halat çekme kuvvetlerinin (T_1 ve T_2) büyüklüklerini mukayese yapmamıza olanak verir. Örnek olarak, temas açısı $\theta = 210°$ ve sürtünme katsayısı $\mu = 0{,}2$ olsun.

$$e^{\mu\theta} = e^{0{,}2 \cdot \left(\frac{210°}{180°} \cdot \pi\right)} = 2{,}08$$

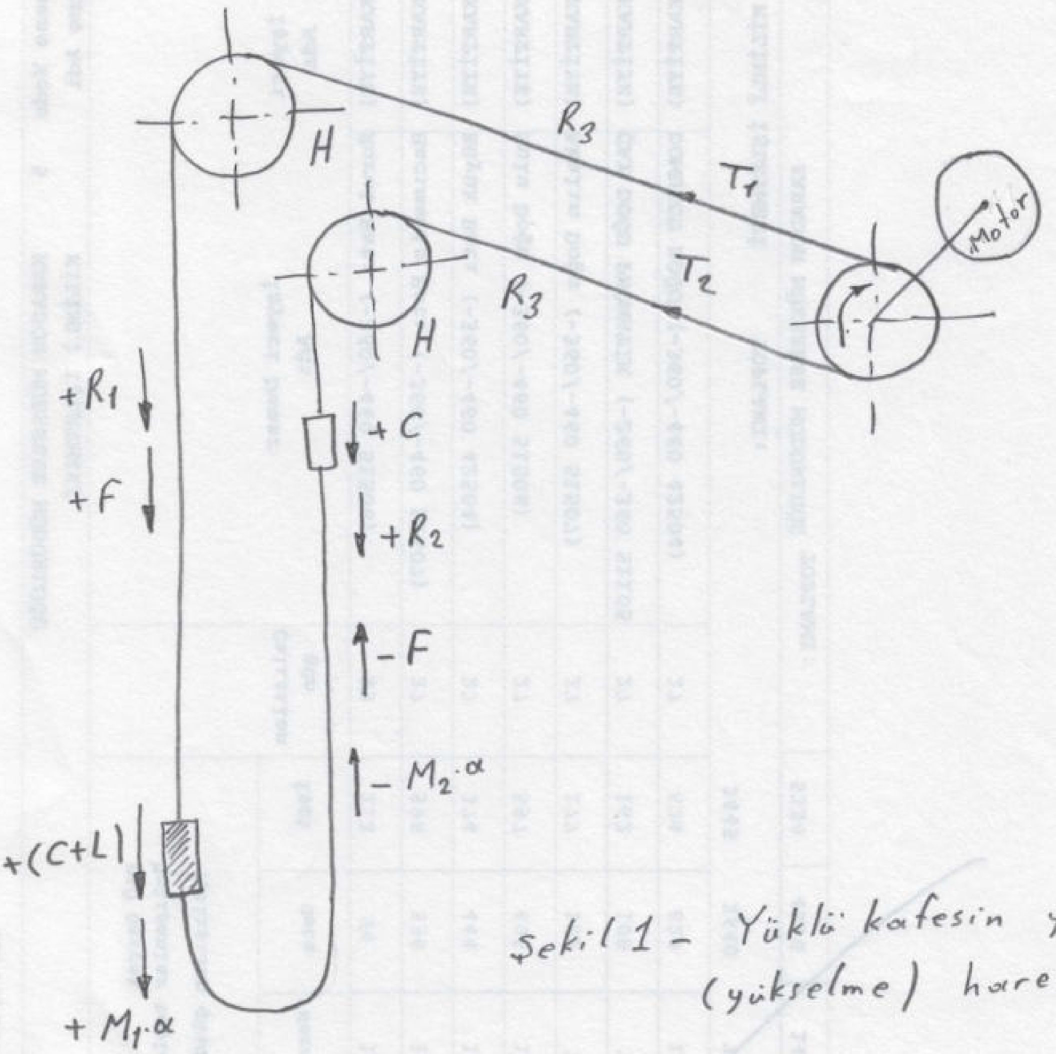
$\frac{T_1}{T_2}$, halat çekme kuvvetleri oranı 2,08 den büyük ise, yukarıdaki örneğe göre olan şartlarda halat kayma riski meydana gelecektir.

KOEPE ihraç sistemlerinin tasarımında göz önüne alınması gereken 3 farklı hesap yöntemini teker teker ele alalım.

A- 1. Yöntem :

Tasarımda, özellikle müsaade edilen max. artan ve azalan ivmelerin tam değerini araştırmak ve çalışma koşullarında sınır değerleri aşıp aşmadığını saptamaktır. Yüklü kafesin konumuna göre irdeleyelim.

1- Yüklü kafesin yukarı çekilme hareketine başlaması (Şekil 1) ;



Şekil 1 – Yüklü kafesin yukarı çekilme (yükselme) hareketine başlaması.

L – Faydalı yük [N]

C – Kafes + Koşum takımı + Boş ocak arabalarının toplam ağırlığı [N]

R_1 – Yüklü taraftaki ihraç halat ağırlığı [N]

R_2 – Yüksüz taraftaki ihraç halat ağırlığı [N]

R_3 – Koepe ihraç tamburu ile şövalman moleti arasındaki halat ağırlığı [N]

H – Her bir moletin halat ortasına (merkezine) indirgenmiş ağırlığı [N]

M – Kütle (= Ağırlık / g ; g = 9,81 m/sn²)

Bazı yükleri birarada gösterelim;

$G = H + R_3$

$$P_1 = C + L + R_1$$

$$P_2 = C + R_2$$

P_1 – Yüklü (yükselen) halat yükü

P_2 – Yüksüz (alçalan) halat yükü

Yüklü kafesin yukarı doğru harekete geçmesinde, hareket eden kütleler :

$$M_1 = (R_1 + C + L + H + R_3)/g$$

ve

$$M_2 = (R_2 + C + H + R_3)/g$$

veya,

$$M_1 = \frac{P_1}{g} + \frac{G}{g}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{g} + \frac{G}{g}$$

şeklinde yazılır.

α – Artan ivme [m/sn^2]

r – Azalan ivme [m/sn^2]

F – Sürtünme kuvveti (Hareket yönünün tersinde olur, sürtünen yüzeyler arasında – örneğin; halat veya profil çidağlı yüzeyler arasındaki gibi – oluşan bir kuvvettir [N]

T_1 – Yüklü (yükselen) halat çekme kuvveti [N]

T_2 – Yüksüz (alçalan) halat çekme kuvveti [N]

olmak üzere,

$$T_1 = R_1 + C + L + F + M_1 \cdot \alpha$$

$$T_2 = R_2 + C + F - M_2 \cdot \alpha$$

yazılabilir.

Not:

- Ağırlık bir kuvvet olup, bir cisme etkiyen yerçekimi kuvvetini belirtir. ($W = m \cdot g$ | m: kg | g: m/sn² | W: N)
- $M_1 \cdot \alpha$, sistemin ivmelenmesinden dolayı oluşan kuvvettir (S: 6/1)
- Sistemin hızındaki değişmeyle ilgili işe "ivme işi" adı verilir. Sistem hızlanıyorsa ivme işi artıdır. Sistem yavaşlıyorsa ivme işi eksidir.

$$T_1 = P_1 + F + \left(\frac{P_1}{g} + \frac{G}{g} \right) \cdot \alpha$$

$$T_1 = P_1 + (P_1 + G) \frac{\alpha}{g} + F \qquad (2)$$

$$T_2 = P_2 - F - \left(\frac{P_2}{g} + \frac{G}{g} \right) \cdot \alpha$$

$$T_2 = P_2 - (P_2 + G) \frac{\alpha}{g} - F \qquad (3)$$

Halat, halat yuvasında kaymaya başladığı an,

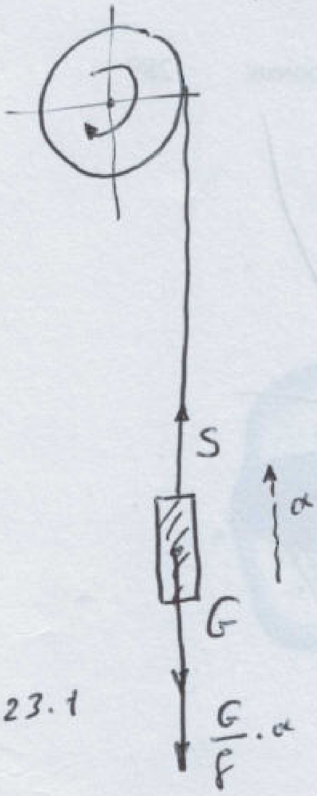
$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \theta}$$

olur. T_1 ve T_2 değerleri yerine konursa,

$$e^{\mu \theta} = \frac{P_1 + (P_1 + G)\frac{\alpha}{g} + F}{P_2 - (P_2 + G)\frac{\alpha}{g} - F}$$

MUSTAFA İNAN - Cisimlerin MUKAVEMETİ - 6/1-

S: 451



Şekil-23.1

İvmeli hareketlerden doğan gerilme ve şekil değiştirmeye ait ilk misal, madde 11.10 da ele alınan dönen çember problemi idi. Aynı sınıftan diğer bir kaç misali daha burada inceleyelim:

Misal 1: Şekil 23.1 de ağırlığı G olan bir asansör aşağıya doğru v_0 hızı ile inerken frenleniyor. Bu esnada kabloda doğacak S kuvvetinin hesabı isteniyor. Fren yüzünden hareketin ivmesi α olursa D'Alembert prensibinden ötürü kablo, bir de $\alpha \cdot \frac{G}{g}$ ile gösterilen eylemsizlik kuvvetini karşılamak zorunda olduğundan

$$S_{dinamik} = G + G \cdot \frac{\alpha}{g} = G(1+\alpha/g)$$ ve

$\psi = 1+\alpha/g$ bulunur. Burada g yerçekimi ivmesini ve ψ dinamik çarpanı gösterir. Eğer frenin etkisiyle üniform v_0 hızı t_0 süresi içinde sıfıra düşürülmüş ise, sabit olduğu kabul edilen ivme ve ψ nin değeri:

$\alpha = v_0/t_0$ ve $\psi = 1+v_0/(t_0 \cdot g)$ olmak gerekir.

Fren süresi azaldıkça, dinamik çarpanın artacağına dikkat etmelidir.

$$e^{\mu\theta} = \frac{P_1 \cdot g + (P_1 + G)\alpha + F \cdot g}{P_2 \cdot g - (P_2 + G) \cdot \alpha - F \cdot g} \qquad (4)$$

elde edilir. Bu ifadeden max. artan ivme değeri de aşağıda görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$P_1 \cdot g + (P_1 + G) \cdot \alpha + F \cdot g = e^{\mu\theta}\left[P_2 \cdot g - (P_2 + G)\alpha - F \cdot g\right]$$

$$\left[(P_1 + G) + e^{\mu\theta}(P_2 + G)\right] \cdot \alpha = \left[e^{\mu\theta}(P_2 - F) - (P_1 + F)\right] \cdot g$$

$$\alpha = \frac{e^{\mu\theta}(P_2 - F) - (P_1 + F)}{e^{\mu\theta}(P_2 + G) + (P_1 + G)} \cdot g \qquad (5)$$

2- Yüklü kafes yukarı çekilirken kuyu başında frenlenmesi (şekil 2),

T_1 ve T_2 halat çekme kuvvetlerini yazalım

$$T_1 = C + L + R_1 + F - M_1 \cdot r$$

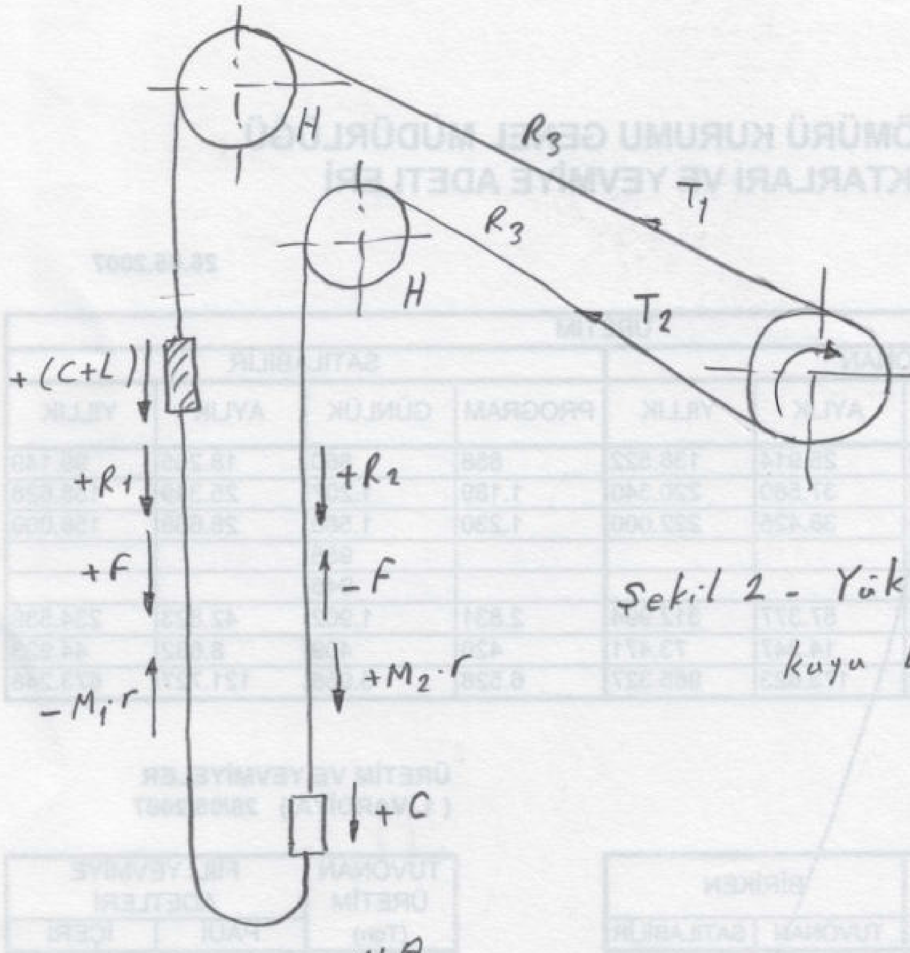
$$T_1 = P_1 + F - \left(\frac{P_1}{g} + \frac{G}{g}\right) \cdot r$$

$$T_1 = P_1 + F - (P_1 + G)\frac{r}{g} \qquad (6)$$

$$T_2 = R_2 + C - F + M_2 \cdot r$$

$$T_2 = P_2 - F + (P_2 + G)\frac{r}{g} \qquad (7)$$

Halat, halat yuvasında kaymaya başladığında



Şekil 2 - Yüklü kafes yukarı çekilirken kuyu başında frenlenmesi.

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\theta}$$

eşitliği gerçekleşir. Buna göre,

$$e^{\mu\theta} = \frac{P_2 - F + (P_2 + G)\frac{r}{\rho}}{P_1 + F - (P_1 + G)\frac{r}{\rho}}$$

$$e^{\mu\theta} = \frac{(P_2 - F)\rho + (P_2 + G) \cdot r}{(P_1 + F)\rho - (P_1 + G) \cdot r} \quad \text{------} \quad (8)$$

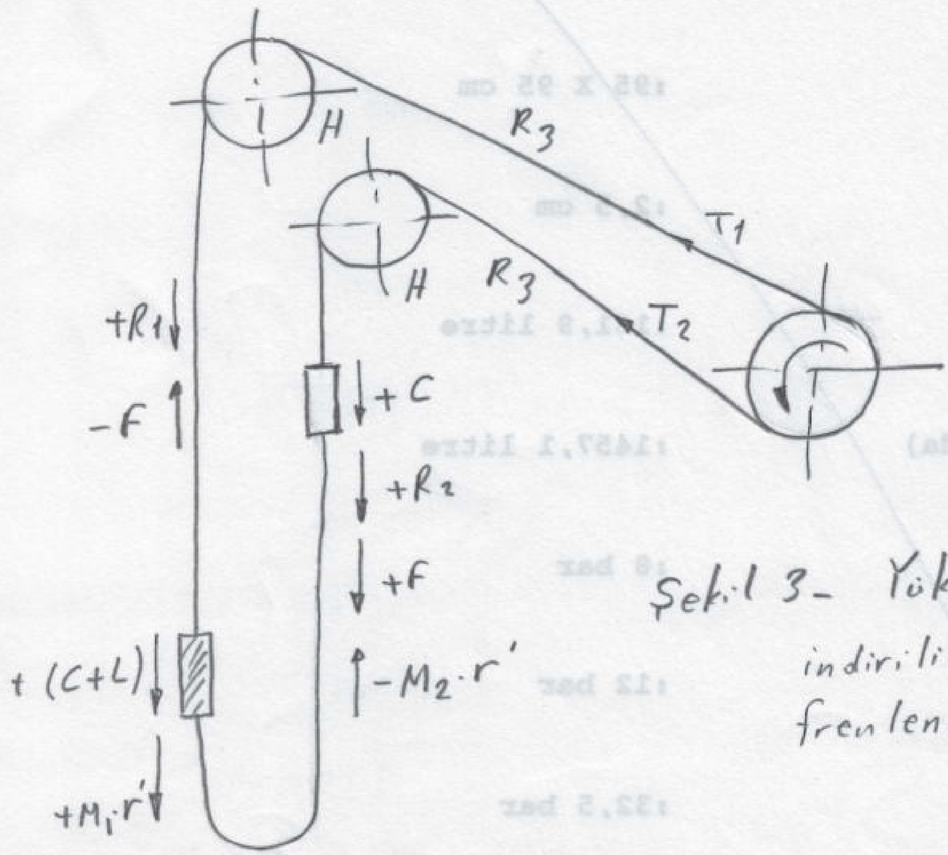
elde edilir. Bu ifadeden müsaade edilen max. azalan ivme değeride aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$(P_2 - F)\rho + (P_2 + G) \cdot r = e^{\mu\theta}\left[(P_1 + F)\rho - (P_1 + G)r\right]$$

$$\left[(P_2+G)+e^{\mu\theta}(P_1+G)\right]r=\left[e^{\mu\theta}(P_1+F)-(P_2-F)\right]\cdot f$$

$$r=\frac{e^{\mu\theta}(P_1+F)-(P_2-F)}{e^{\mu\theta}(P_1+G)+(P_2+G)}\cdot f \qquad (9)$$

3 - Yüklü kafes aşağı indirilirken kuyu dibinde frenlenmesi. (Şekil 3);



Şekil 3- Yüklü kafes aşağı indirilirken kuyu dibinde frenlenmesi.

Şekil 3'e göre aşağıdaki eşitlikler yazılabilir,

$$T_1 = C+L+R_1-F+M_1\cdot r' = P_1-F+\left(\frac{P_1}{f}+\frac{G}{f}\right)\cdot r'$$

$$T_1 = P_1-F+(P_1+G)\frac{r'}{f} \qquad (10)$$

$$T_2 = C+R_2+F-M_2\cdot r' = P_2+F-\left(\frac{P_2}{f}+\frac{G}{f}\right)r'$$

$$T_2 = P_2 + F - (P_2 + G)\frac{r'}{\rho} \qquad (11)$$

$$T_1 \leq T_2 \, e^{\mu\theta}$$

$$e^{\mu\theta} = \frac{P_1 - F + (P_1 + G)\frac{r'}{\rho}}{P_2 + F - (P_2 + G)\frac{r'}{\rho}}$$

$$e^{\mu\theta} = \frac{(P_1 - F)\cdot\rho + (P_1 + G)\cdot r'}{(P_2 + F)\cdot\rho - (P_2 + G)\cdot r'} \qquad (12)$$

$$(P_1 - F)\cdot\rho + (P_1 + G)\cdot r' = e^{\mu\theta}\left[(P_2 + F)\cdot\rho - (P_2 + G)\cdot r'\right]$$

$$\left[(P_1 + G) + e^{\mu\theta}(P_2 + G)\right] r' = \left[e^{\mu\theta}(P_2 + F) - (P_1 - F)\right]\cdot\rho$$

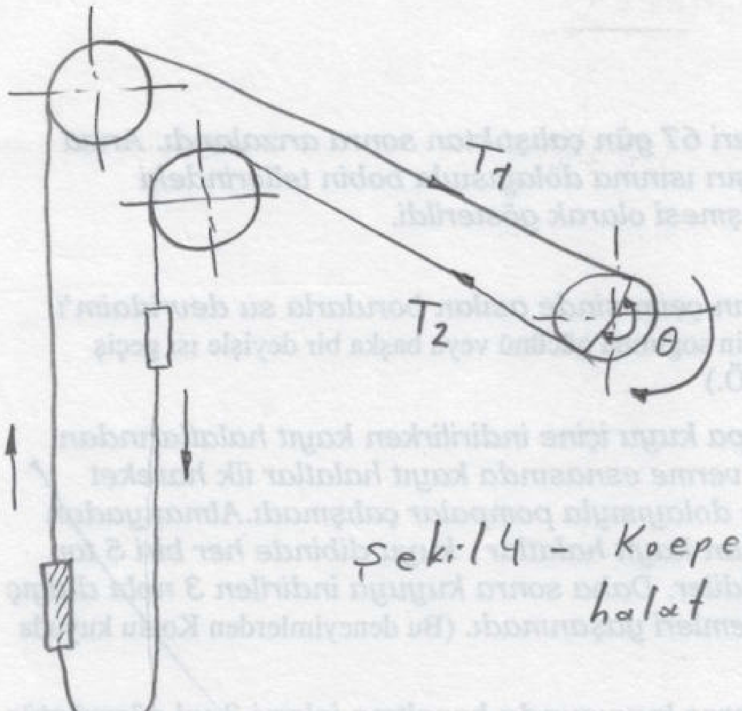
$$r' = \frac{e^{\mu\theta}(P_2 + F) - (P_1 - F)}{e^{\mu\theta}(P_2 + G) + (P_1 + G)}\cdot\rho \qquad (13)$$

Azalan ivmelerin hesaplanmasındaki F sürtünme kuvveti genellikle gözardı edilir. Böylelikle frenlemeye yardımcı ikinci bir emniyet faktörünüde gözönüne almış oluruz.

B- 2. Yöntem :

Tasarımda, halat- halat yuvası arasındaki kayma riskine (olasılığına) karşı emniyet faktörünün saptanmasıdır.

Şekil 4 ü göz önüne alarak, kullandığımız sembolleri yeniden hatırlayalım.



Şekil 4 – Koepe ihraç sistemi ve halat kuvvetleri

P_1 – Faydalı yükü taşıyan halattaki, halat yükü

$$P_1 = C + L + R_1 \quad \text{(Sayfa : 5)}$$

P_2 – Yüksüz halattaki, halat yükü

$$P_2 = C + R_2 \quad \text{(Sayfa : 5)}$$

T_1 – P_1, artan (veya azalan) ivme ve sürtünmeden dolayı halattaki gerçek çekme kuvveti

T_2 – P_2, artan veya azalan ivme ve sürtünmeden dolayı halattaki çekme kuvveti

$$T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu\theta} \quad \text{(Eşitlik 1)}$$

koşulu sağlandığı taktirde halat kayma riski veya olasılığı yoktur. Eğer,

S – Gerçek hareket kuvvetini ifade ederse

$$S = T_1 - T_2$$

olur.

$S_{max.}$ – Kayma riskini oluşturmayan max. hareket kuvveti

$S_{max.}$ = Faydalı yükü taşıyan halat için müsaade edilen max. çekme kuvveti – Yüksüz halattaki çekme kuvveti

$$S_{max.} = T_{1max.} - T_2$$

$$S_{max} = T_2 \cdot e^{\mu\theta} - T_2$$

diğer taraftan halat kayma riskine karşı emniyet faktörü

$$\text{EMNİYET FAKTÖRÜ} = \frac{S_{max}}{S} = \frac{T_2 e^{\mu\theta} - T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\text{EMNİYET FAKTÖRÜ} = \frac{T_2 (e^{\mu\theta} - 1)}{T_1 - T_2} \qquad (14)$$

bulunur.

Şimdi, yüklü kafesin konumuna göre emniyet faktörünü irdeliyelim.

1- Yüklü kafesin yukarı çekilme hareketine başlaması (Şekil 1);

Hesapladığımız T_1 ve T_2 değerlerini yeniden yazalım;

$$T_1 = P_1 + (P_1 + G)\frac{a}{g} + F \qquad (\text{Eşitlik } 2)$$

$$T_2 = P_2 - (P_2 + G)\frac{a}{g} - F \qquad (\text{Eşitlik } 3)$$

veya,

$$T_1 = P_1 \left(1+\frac{\alpha}{\rho}\right) + G\frac{\alpha}{\rho} + F$$

P_1 ve G eşitlikleri yerlerine konursa

$$T_1 = (C+L+R_1)\left(1+\frac{\alpha}{\rho}\right) + (H+R_3)\frac{\alpha}{\rho} + F \quad \text{--- (15)}$$

$$T_2 = P_2\left(1-\frac{\alpha}{\rho}\right) - G\frac{\alpha}{\rho} - F$$

P_2 ve G eşitlikleri ile,

$$T_2 = (C+R_2)\left(1-\frac{\alpha}{\rho}\right) - (H+R_3)\frac{\alpha}{\rho} - F \quad \text{--- (16)}$$

elde edilir. Dolayısıyla, emniyet faktörü,

$$\text{EMNİYET FAKTÖRÜ} = \frac{T_2\left(e^{\mu\theta}-1\right)}{T_1-T_2} \quad \text{(Eşitlik 14)}$$

formülünden rahatlıkla hesaplanabilir.

2- Yüklü kafes yukarı çekilirken kuyu başında frenlenmesi (şekil 2);

$$T_1 = P_1 + F - (P_1+G)\frac{r}{\rho} \quad \text{(Eşitlik 6)}$$

$$T_1 = P_1\left(1-\frac{r}{\rho}\right) - G\frac{r}{\rho} + F$$

$$T_1 = (C+L+R_1)\left(1-\frac{r}{\rho}\right) - (H+R_3)\frac{r}{\rho} + F \quad \text{--- (17)}$$

$$T_2 = P_2 - F + (P_2+G)\frac{r}{\rho} \quad \text{(Eşitlik 7)}$$

$$T_2 = P_2\left(1+\frac{r}{\rho}\right) + G\frac{r}{\rho} - F$$

$$T_2 = (C+R_2)\left(1+\frac{r}{\rho}\right) + (H+R_3)\frac{r}{\rho} - F \qquad \text{---- (18)}$$

ifadeleri elde edilir. Eğer,

$$T_2 \leq T_1 \cdot e^{\mu\theta}$$

koşulu sağlanıyorsa kayma riski (olasılığı) yoktur.

Bu durumda,

$$S = T_2 - T_1$$

$$S_{max.} = T_{2max.} - T_1$$

$$S_{max.} = T_1 e^{\mu\theta} - T_1 = T_1\left(e^{\mu\theta} - 1\right)$$

$$\text{EMNİYET FAKTÖRÜ} = \frac{S_{max}}{S} = \frac{T_1\left(e^{\mu\theta}-1\right)}{T_2 - T_1} \qquad \text{---- (19)}$$

olur ki, hesaplaması artık çok kolaydır.

3 - Yüklü kafes aşağı indirilirken kuyu dibinde frenlenmesi (Şekil 3),

$$T_1 = P_1 - F + (P_1 + G)\frac{r}{\rho} \qquad \text{(Eşitlik 10)}$$

$$T_1 = P_1\left(1+\frac{r}{\rho}\right) + G\frac{r}{\rho} - F$$

$$T_1 = (C+L+R_1)\left(1+\frac{r}{\rho}\right) + (H+R_3)\cdot\frac{r}{\rho} - F \qquad \text{---- (20)}$$

$$T_2 = P_2 + F - (P_2 + G)\frac{r}{\rho} \qquad \text{(Eşitlik 11)}$$

$$T_2 = P_2\left(1-\frac{r}{\rho}\right) - G\cdot\frac{r}{\rho} + F$$

$$T_2 = (c+R_2)\left(1-\frac{r}{f}\right) - (H+R_3)\frac{r}{f} + f \quad \text{——— (21)}$$

$$T_1 \leq T_2 \cdot e^{\mu\theta}$$

$$S = T_1 - T_2$$

$$S_{max.} = T_{1max.} - T_2$$

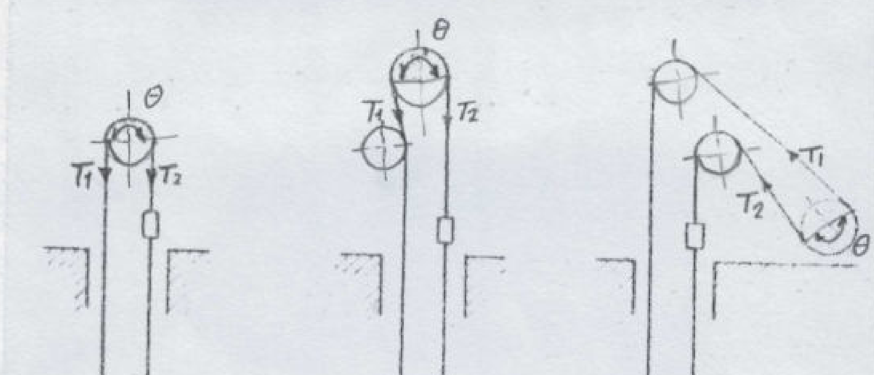
$$S_{max.} = T_2 \cdot e^{\mu\theta} - T_2 = T_2\left(e^{\mu\theta} - 1\right)$$

$$\text{EMNİYET FAKTÖRÜ} = \frac{S_{max.}}{S} = \frac{T_2\left(e^{\mu\theta}-1\right)}{T_1 - T_2} \quad \text{——— (22)}$$

olarak elde edilir.

C- 3. Yöntem :

Bu yöntem,



Şekil 5 - Çeşitli Koepe ihraç sistemleri ve tahrik tanburları üzerinde oluşan halat kuvvetleri

Şekil 5 te gösterilen, çeşitli Koepe ihraç sistemlerinin çözümüne alınması ile ivme değerlerinin diğer bir analiz yöntemidir.

T_1, T_2 - Halatlardaki "STATİK" çekme kuvvetleri
T_1', T_2' - Halatlardaki "DİNAMİK" çekme kuvvetleri
b_A - Artan ivme (Yüklü halatın b_A artan ivmesi ile harekete geçmesi)

b_B - Azalan ivme (Yüklü halatın b_B azalan ivmesi ile frenlemeye geçmesi)

- Yüklü kafesin yukarı çekilme (yükselme) hareketine başlamasında :

$$T_1' = T_1 + \left(\frac{T_1}{g}\right) \cdot b_A \qquad (23)$$

$$T_2' = T_2 - \left(\frac{T_2}{g}\right) \cdot b_A \qquad (24)$$

- Alçalan yükle frenleme yapıldığında :

$$T_1' = T_1 + \left(\frac{T_1}{g}\right) \cdot b_B \qquad (25)$$

$$T_2' = T_2 - \left(\frac{T_2}{g}\right) \cdot b_B \qquad (26)$$

eşitlikleri yazılabilir. Dikkat edilirse, her iki halde de eşitlikler birbirinin aynıdır ve yalnız harekete geçerken artan ivme (b_A) ve frenleme esnasında azalan ivmenin (b_B) sayısal değerleri kadar fark gösterirler.

$T_1' \leq T_2' \cdot e^{\mu\theta}$ formülünde, halatların statik çekme kuvvetlerine (T_1, T_2) ait değerler yerlerine konulursa,

$$\left[T_1 + \left(\frac{T_1}{g}\right) \cdot b_A\right] \leq \left[T_2 - \left(\frac{T_2}{g}\right) \cdot b_A\right] e^{\mu\theta} \qquad (27)$$

ifadesi elde edilir.

Bu denklem sadece Şekil 5-a da görülen sisteme uygulanabilir ki bu sistem, ihraç kulesinde kılavuz makaraların OLMAMASI halidir.

Şekil 5-b de olduğu gibi kılavuz makaralar Şekil 5-c deki gibi moletler şöval_ ihraç kulesinde ve manın tepesinde (üstünde) kullanılırsa halatlardaki dinamik çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında bu kılavuz makara ve şövalman moletlerinin kütleleride gözönüne alınmalıdır.

S_1 - Yüklü halat tarafındaki kılavuz makara veya şövalman molet ağırlığı

S_2 - Yüksüz halat tarafındaki kılavuz makara veya şövalman molet ağırlığı

olmak üzere, artan ve azalan ivmelerle hareket anında ki kütleler :

$\dfrac{T_1 + S_1}{g}$ Yüklü halat (yükselen kafes) hali,

$\dfrac{T_2 + S_2}{g}$ Yüksüz halat (alçalan kafes) hali,

olur.

Bu değerler (27) denkleminde yerine konursa,

$$\left[T_1 + \left(\frac{T_1+S_1}{\rho}\right)\cdot b_A\right] \le \left[T_2 - \left(\frac{T_2+S_2}{\rho}\right) b_A\right]\cdot e^{\mu\theta}$$

$$\left[\left(\frac{T_1+S_1}{\rho}\right) + \left(\frac{T_2+S_2}{\rho}\right)\cdot e^{\mu\theta}\right]\cdot b_A \le \left(T_2\cdot e^{\mu\theta} - T_1\right)$$

$$b_A \le \rho\,\frac{T_2\, e^{\mu\theta} - T_1}{(T_1+S_1)+(T_2+S_2)\,e^{\mu\theta}}$$

$$b_A \le \rho\,\frac{\frac{T_2}{T_1}\cdot e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1}\, e^{\mu\theta} + 1 + \frac{S_2 e^{\mu\theta} + S_1}{T_1}} \qquad (28)$$

genel denklem elde edilmiş olur ve bütün halleride kapsamına alır.

Bu genel denklemi, çeşitli Koepe ihraç sistemlerine uygulayalım.

1- Kılavuz makaraların olmaması hali:

$$\left.\begin{array}{l} S_1 = 0 \\ S_2 = 0 \end{array}\right\}$$ (ihraç kulesinde kılavuz makaralar YOK)

$$b_A \le \rho\cdot\frac{\frac{T_2}{T_1}\, e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1}\cdot e^{\mu\theta} + 1} \qquad (29)$$

denklem 27 in aynısı bulunur

2- Yalnız bir kılavuz makaranın olması hali:

a) Yüklü halat tarafında;

$$S_2 = 0$$

ile,

$$b_A \leq f \frac{\frac{T_2}{T_1} \cdot e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} + 1 + \frac{S_1}{T_1}} \qquad (30)$$

elde edilir.

b) Yüksüz halat tarafında,

$$S_1 = 0$$

dolayısıyla,

$$b_A \leq f \cdot \frac{\frac{T_2}{T_1} \cdot e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} + 1 + \frac{S_2}{T_1} e^{\mu\theta}} \qquad (31)$$

denklemi bulunur.

Not: Genellikle olduğu gibi,

$$S_1 = S_2 = S \quad \text{dir.}$$

Şimdi, elde edilen bilgiler yardımıyla yine, Mehmet Güney'den alınan Koepe ihraç sistemi ile ilgili bir örneğin gerçek kabülü varsayımıyla, sistem üzerinde bazı hesaplamaları yapalım.

Sistemin şeması ve sisteme ait değerler aşağıda verilmiştir.

- İhraç kapasitesi .... 544 tonf/saat
- Kuyu derinliği ...... 1050 m
- Faydalı yük (kömür) .... 14 tonf/sefer
- Kafes + Halat koşum takımı, ... 13,3 tonf
  v.s ağırlıklar
- Boş ocak araba ağırlığı ... 1,6 tonf
- Ocak araba kapasitesi .... 3,5 tonf
- Kafes, kat sayısı 2
- Kafes, ocak araba kapasitesi ... 4
- İhraç halat çapı 80mm
- İhraç halat ağırlığı ..... 24,25 kgf/m
- Denge halat ağırlığı .... 24,25 kgf/m
- Koepe ihraç tanbur çapı .... 7,50 m.
- Şövalman molet çapı .... 7,56 m.
- Koepe ihraç tanbur ağırlığı .... 19,1 tonf
- Şövalman molet ağırlığı ... 4,4 tonf

Not. SI birimlerinde :

Kuvvet : $1N = 1\, kg \cdot m/sn^2$

$1 kgf = 9,80665\, N$

1- Koepe ihraç tanburu halat yuvası üzerindeki yüzey basıncı (Halat yuvası yüzey basıncı);

Yüzey basıncı değeri ile ilgili öneriler :

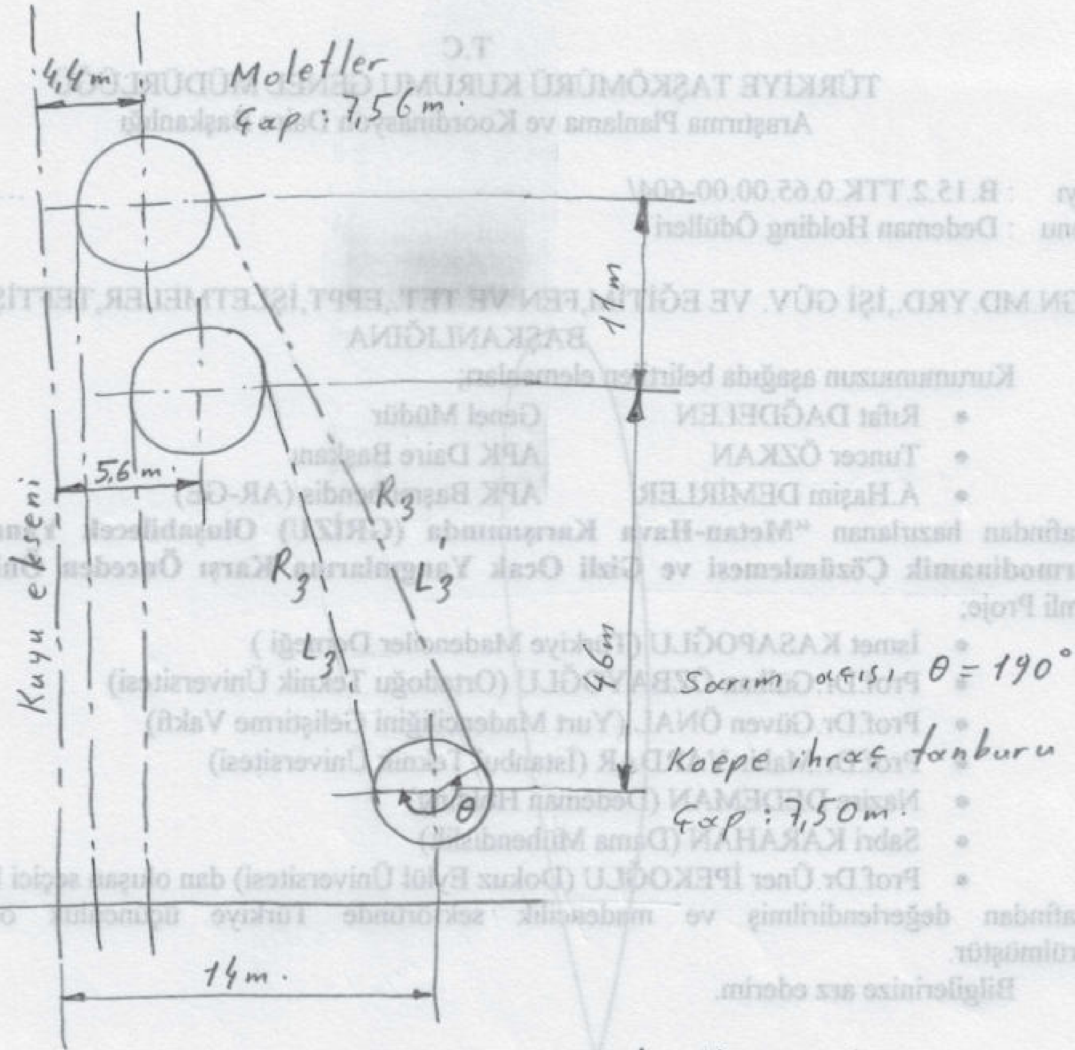
- Alman mühendisleri bu değeri, kordonlu halatlarda max. 20 kgf/cm²,

Koepe İhraç SİSTEMİ

- II -

Ana Kaynak : Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe İhraç Sistemi. EKi.)

(6) Adet.



Şekil 6. Örnek için, şematik Koepe ihraç sistemi

- Almanya ve Hollandada genellikle 10 ton f faydalı yük kapasiteli tesislerde 15 kgf/cm²,
- Belçikada 300 m derinlikten 12 ton f faydalı yük kapasiteli tesislerde 14 kgf/cm²
- İsveçte, açık halatlarda max. 19 kgf/cm² normal olarakta 17,5 kgf/cm²,
- İngilterede, kordonlu halatlarda 16... 17,5 kgf/cm² kapalı halatlarda 28 kgf/cm²

olarak önerilen değerlerdir.

Genel uygulama,

$$p_{em.\,tanbur} = 12{,}5 \ldots 16 \ kgf/cm^2$$

arasındadır.

Halat yuvası yüzey basıncını veren formül;

$$p_{tanbur} = \frac{\text{Her iki tarafta asılı toplam halat yükü}}{\text{İhraç tanbur çapı} \cdot \text{Halat çapı}}$$

$$p_{tanbur} = \frac{P_1 + P_2}{D \cdot d}$$ (32)

p_{tanbur}	P_1, P_2	D, d
kgf/cm^2, N/cm^2	kgf, N	cm

ki burada,

p_{tanbur} - Halat yuvası yüzey basıncı
P_1 - Yüklü halattaki halat yükü
P_2 - Yüksüz halattaki halat yükü (Sayfa: 5)
D - Koepe ihraç tanbur çapı
d - ihraç halat çapı

Şövalmen moletleri veya kılavuz makaraları üzerindeki halat yuvası yüzey basıncının da

$$p_{em.\,molet,\,makara} = 24 \ kgf/cm^2$$

değerini geçmemesi önerilir.

Bu basıncı veren formül;

$$p_{molet,\,makara} = \frac{2 \cdot P_1}{D_1 \cdot d} \qquad (33)$$

$p_{mol.mak}$	P_1	D_1, d
kgf/cm², N/cm²	kgf, N	cm

ki burada,

$p_{molet,\,kil.mak.}$ – Molet veya kılavuz makara üzerindeki halat yuvası yüzey basıncı

P_1 – Yüklü halattaki halat yükü (S:5)

D_1 – Şövalmen moleti veya kılavuz makara çapı

d – ihraç halat çapı

Limitleşen basınç değerleri, "tanbur çapı / halat çapı" oranının 80'in altındaki değerlerinin kullanılmasında bir sınır getirmiştir.

Şimdi, halat yuvası yüzey basıncını hesaplayalım.

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= C + L + R_1 \\ P_2 &= C + R_2 \end{aligned}\right\} \quad (S:5)$$

C – Kafes + koşum takımı + boş ocak arabalarının toplam ağırlığı

$$C = \underbrace{1 \cdot 13300}_{1\ \text{Kafes}} + \underbrace{4 \cdot 1600}_{4\ \text{boş ocak arabası}} = 19700\ \text{kgf}$$

R_1 – Yüklü taraftaki ihraç halat ağırlığı

$$R_1 = \underbrace{1130\ \text{m}}_{\text{Halat uzunluğu}} \cdot 24{,}25\ \text{kgf/m} = 27402{,}5\ \text{kgf}$$

L - Faydalı yük

$$L = 14000 \ kgf$$

R_2 - Yüksüz taraftaki ihraç halat ağırlığı

$$R_2 = 1130 \, m \cdot 24{,}25 \ kgf/m = 27402{,}5 \ kgf$$

$$P_1 = 19700 + 14000 + 27402{,}5 = 61102{,}5 \ kgf$$

$$P_2 = 19700 + 27402{,}5 = 47102{,}5 \ kgf$$

$$P_1 + P_2 = 108205 \ kgf$$ (Her iki tarafta toplam asılı yük)

$$p_{tanbur} = \frac{P_1 + P_2}{D \cdot d}$$ (Eşitlik 32)

$$p_{tanbur} = \frac{108205}{750 \cdot 8}$$

$$p_{tanbur} \cong 18 \ kgf/cm^2$$ (Sınır değerler; S: 20, 21, 22)

2- T_1/T_2 halat çekme kuvvetleri oranı;

Temas veya sarım açısı

$$\theta = 190^\circ = \frac{190}{180} \cdot \pi \text{ radyan} = 3{,}316 \text{ radyan}$$

Sürtünme katsayısı : $\mu = 0{,}2$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta}$$ (Eşitlik 1)

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0{,}2 \cdot 3{,}316} \longrightarrow \frac{T_1}{T_2} \cong 1{,}94$$

3 - Yüklü kafesin yukarı çekilme hareketine başlaması için müsaade edilen max. artan ivme;

Max. artan ivme değerini

$$\alpha = \frac{e^{\mu\theta}(P_2 - F) - (P_1 + F)}{e^{\mu\theta}(P_2 + G) + (P_1 + G)} \cdot g \quad \text{(Eşitlik 5)}$$

şeklinde hesaplamıştık

Toplam asılı yükleri özetliyelim.

		P_1	P_2
• 4 Kömür dolu ocak arabası (Faydalı yük)	4.3500 kgf	14000 kgf	—
• 4 Boş ocak arabası	4.1600 kgf	6400 kgf	6400 kgf
• 1 Kafes + Koşum takımı + v.s		13300 kgf	13300 kgf
• 1130 m ihraç halatı	1130 m · 24,25 kgf/m	27402,5 kgf	27402,5 kgf
Toplam asılı yükler:		61102,5 kgf	47102,5 kgf

$G = H + R_3$ (Sayfa 4)

H - Şövalman molet ağırlığı

$\| H = 4400$ kgf

R_3 - Koepe ihraç tanburu ile şövalman moleti arasındaki halat ağırlığı

Şekil 6 yı gözönüne alalım, yaklaşık olarak R_3'e karşılık gelen halat uzunlukları,

$$L_3 = \sqrt{\left[\left(14 - \frac{7,50}{2}\right) - \left(5,6 + \frac{7,56}{2}\right)\right]^2 + 46^2} = \sqrt{0,87^2 + 46^2}$$

$\| L_3 \cong 46$ m.

$$L_3' = \sqrt{\left[\left(14+\frac{7,50}{2}\right)-\left(4,4+\frac{7,56}{2}\right)\right]^2+46^2} = \sqrt{9,57^2+46^2}$$

$\| \; \underline{L_3' \cong 47m}$ Kabul (Emniyetli olması için uzun boy alınmıştır)

$$R_3 = 47m \cdot 24,25 \; kpf/m$$

$$\| \; \underline{R_3 \cong 1140 \; kpf}$$

$$G = 4400 + 1140$$

$$\| \; \underline{G = 5540 \; kpf}$$

F - Sürtünme kuvveti (Sayfa: 5)

$$F = \mu_m \cdot L$$

μ_m - Sürtünme katsayısı (sürtünen yüzeyler arasındaki)

$\mu_m \cong 0,06$ (Kabul)

L - Faydalı yük (= 14000 kpf kömür)

$$F = 0,06 \cdot 14000$$

$$\| \; \underline{F = 840 \; kpf}$$

Artık max. artan ivmeyi hesaplıyabiliriz,

$$a_{max.} = \frac{1,94\,(47102,5-840)-(61102,5+840)}{1,94\,(47102,5+5540)+(61102,5+5540)} \cdot 9,81$$

$$\| \; \underline{a_{max.} \cong 1,62 \; m/sn^2}$$

4- Yüklü kafes yukarı çekilirken kuyu başında (ihracın sonunda) frenlenmesi için müsaade edilen max. azalan ivme

$$r = \frac{e^{\mu\theta}(P_1+F) - (P_2-F)}{e^{\mu\theta}(P_1+G)+(P_2+G)} \cdot g \quad \text{(Eşitlik 9)}$$

şeklinde idi. Yalnız azalan ivmenin hesaplanmasında genellikle F sürtünme kuvveti gözardı edilir. Böylece sürtünme frenlemeye yardımcı olduğundan bu bir emniyet payı olarak düşünülür (S:10).

$$r = \frac{1{,}94 \cdot 61102{,}5 - 47102{,}5}{1{,}94\,(61102{,}5+5540)+(47102{,}5+5540)} \cdot 9{,}81$$

$$r_{max} = 3{,}85 \ m/sn^2$$

5- Yüklü kafes aşağı indirilirken kuyu dibinde (ihracın sonunda) frenlenmesi için müsaade edilen max azalan ivme,

$$r' = \frac{e^{\mu\theta}(P_2+F) - (P_1-F)}{e^{\mu\theta}(P_2+G)+(P_1+G)} \cdot g \quad \text{(Eşitlik 13)}$$

Sürtünmenin ihmal edilmesi ile azalan ivme,

$$r' = \frac{1{,}94 \cdot 47102{,}5 - 61102{,}5}{1{,}94\,(47102{,}5+5540)+(61102{,}5+5540)} \cdot 9{,}81$$

$$r' = 1,76 \ m/sn^2$$

olarak bulunur.

6- Hız - zaman ve artan ivme - zaman diyagramları;

Faydalı yük (kömür) : Her seferde 14 ton

İhraç kapasitesi : Her saatte 544 ton

$$\text{Sefer sayısı / saat} = \frac{544}{14} \cong 39$$

Yani kafesin saatte 39 sefer yapması gerekir.

Bu durumda 1 sefer kaç saniyede tamamlanır

$$\frac{3600}{39} = 92,5 \ sn/sefer$$

92,5 saniyede 1 sefer tamamlanıyor ki buna "Çevrim zamanı" olarak tanımlayabiliriz

Çevrim zamanı = Manevra zamanı + İhraç zamanı

olduğuna göre;

Ocak arabalarının manevra zamanı;

- Kafesin 1. boş katına dolu arabaların (2 Ad.) yüklenmesi (8 saniye)
- Kafes katının yer değişimi (4 saniye)
- Kafesin 2. boş katına dolu arabaların (2 Ad.) yüklenmesi (8 saniye)

Ocak arabalarının manevra zamanı = 8 + 4 + 8

= 20 saniye.

Genellikle artan ve azalan ivme zamanları deneyimlere göre tespit edilir. İhraç sistemi de müsaade edilen max. hızda çalışmak üzere düzenlenir. Burada, max. hız 20 m/sn ve artan ivme $1 m/sn^2$ alınmıştır ki bu müsaade edilen max. artan ivme değeri $1,62 m/sn^2$'den daha küçüktür. (S: 26).

Şimdi, kafesin ivme-zaman grafiğini ama önce hız-zaman grafiğini çizmeye çalışalım (Şekil 7).

- Olası (tahmini) toplam ivme (artan ve azalan) süresi,

$$t_{toplam} \; (= t_{OB}) = 30 \text{ sn} \quad (\text{Kabul})$$

$$\overline{OB} = 15 \text{ cm.}$$

- T noktasındaki hız,

$$a_{artan} = \frac{v_T}{t_{OB}} \longrightarrow v_T = 1 m/sn^2 \, . \, 30 \text{ sn.}$$

$$v_T = 30 \text{ m/sn.}$$

$$\overline{BT} = 10 \text{ cm.}$$

- A noktasındaki hız,

Max. halat hızına karşılık gelen hızdır.

$$v_A = v_{max.\,halat} = 20 \text{ m/sn.}$$

$$\overline{BA} = \frac{20}{3} = 6,66 \text{ cm.}$$

Herhangi bir andaki ani veya anlık ivme, v_t eğrisine teğet olan noktaların eğimlerinden bulunacağına göre, A noktasında;

$$v_A = 20\ m/sn \quad (\overline{BA} = 6{,}66\ cm)$$

olarak sabittir, başka bir deyişle A noktasındaki eğrinin eğimi sıfırdır. Yani, A noktasından t eksenine çizilen $\overline{AD}$ doğrusu aynı zamanda v_t eğrisinin A noktasındaki teğetidir. v_t eğrisinin başlangıç noktası P ise $\overline{AT} = \overline{AN}$ alınarak bulunur.

$$\overline{AT} = \overline{AN} = \overline{BT} - \overline{AB}$$

$$\overline{AT} = \overline{AN} = 10\ cm - 6{,}66\ cm$$

$$\| \ \overline{AT} = \overline{AN} = 3{,}33\ cm$$

$$\overline{PC} = \overline{BN} = \overline{AB} - \overline{AN}$$

$$\overline{PC} = 6{,}66\ cm - 3{,}33\ cm$$

$$\| \ \overline{PC} = 3{,}33\ cm$$

$$v_P = 3{,}33 \cdot 3$$

$$\| \ v_P = 10\ m/sn$$

$$a_{artan} = \frac{v_P}{t_{OC}} \longrightarrow t_{OC} = \frac{10\ m/sn}{1\ m/sn^2}$$

$$\| \ t_{OC} = 10\ sn$$

$$\| \ \overline{OC} = 5\ cm$$

FİZİK GIANCOLI - Prof Dr. Gülsen ÖNENGÜT -30/1-

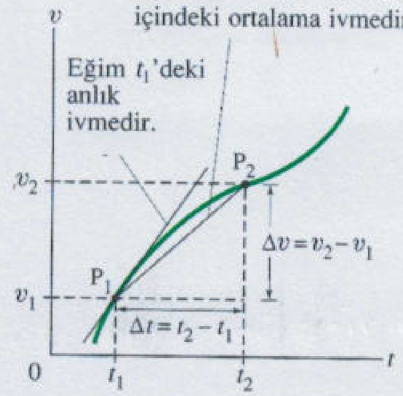
Anlık İvme

Anlık ivme, a, ortalama ivmenin Δt'yi *sıfıra götürdüğümüz limit değeri* olarak tanımlanır:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}. \qquad \textbf{(2–6)}$$

Bu limit, dv/dt 'nin t'ye göre türevidir. "İvme" terimini anlık değer için kullanacağız. Ortalama ivmeyi tartışmak istiyorsak, daima "ortalama" kelimesini ekleyeceğiz.

Şek. 2-17'de görüldüğü gibi v hızının, t zamanına, karşı bir grafiğini çizersek, bir $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığı üzerinden ortalama ivme, görüldüğü gibi P_1 ve P_2 noktalarını birleştiren düz çizginin eğimi ile temsil edilir. [Bunu, düz çizginin eğiminin ortalama hızı temsil ettiği Şek. 2-10'daki konumun zamana karşı grafiği ile karşılaştırın.] Herhangi bir t_1 anındaki anlık ivme bu andaki $v-t$ eğrisinin teğetinin eğimidir, bu Şek. 2-17'de gösteriliyor. Gelin bu gerçeği Şek. 2-17'de çizilen durum için kullanalım; t_1 anından t_2 anına gidersek hız sürekli olarak artar, ancak eğrinin eğimi azaldığı için ivme (hızın değişme hızı) azalır.



ŞEKİL 2–17 v hızının, t zamanına, karşı grafiği. Bir $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığı üzerinden ortalama ivme, P_1P_2 düz çizgisinin eğimidir: $a = \Delta v/\Delta t$. t_1 anındaki anlık ivme ise, $v-t$ eğrisinin bu andaki eğimidir.

ÖRNEK 2–7 **$x(t)$ verildiğinde ivmenin hesabı.** Bir parçacık, Örnek 2-3'deki gibi konumunun $x = (2.10\,\mathrm{m/s^2})t^2 + (2.80\,\mathrm{m})$, bağıntısı ile verildiği için düz bir çizgide hareket ediyor. (*a*) $t_1 = 3.00$ s'den $t_2 = 5.00$ s 'ye kadar olan zaman aralığı boyunca ortalama ivmesini, ve (*b*) zamanın fonksiyonu olarak anlık ivmesini hesaplayın.

YAKLAŞIM İvmeyi hesaplamak için, ilk olarak x'i türevleyerek t_1 ve t_2'deki hızı bulmalıyız: $v = dx/dt$. Daha sonra ortalama ivmeyi bulmak için Dnk. 2-5'i ve anlık ivmeyi bulmak için Dnk. 2-6'yı kullanırız.

ÇÖZÜM (*a*) Herhangi bir t anında hız Örnek 2-3c'de gördüğümüz gibi

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}\left[(2.10\,\mathrm{m/s^2})t^2 + 2.80\,\mathrm{m}\right] = (4.20\,\mathrm{m/s^2})t,$$

olarak bulunur.

Böylece $t_1 = 3.00\,\mathrm{s}$, $v_1 = (4.20\,\mathrm{m/s^2})(3.00\,\mathrm{s}) = 12.6\,\mathrm{m/s}$ ve

$$t_2 = 5.00\,\mathrm{s},\ v_2 = 21.0\,\mathrm{m/s}.\ \text{O halde,}$$

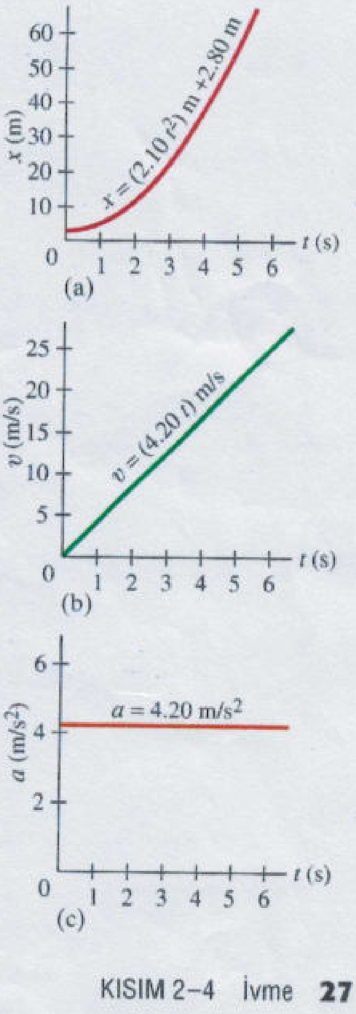
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{21.0\,\mathrm{m/s} - 12.6\,\mathrm{m/s}}{5.00\,\mathrm{s} - 3.00\,\mathrm{s}} = 4.20\,\mathrm{m/s^2}.$$

(*b*) $v = (4.20\,\mathrm{m/s^2})t$ 'den herhangi bir andaki anlık ivme

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left[(4.20\,\mathrm{m/s^2})t\right] = 4.20\,\mathrm{m/s^2}.$$

İvme bu durumda sabittir; zamana bağlı değildir. Şek. 2-18 (*a*) $x-t$ (Şek. 2-13b' nin aynı) (*b*) $v-t$, (yukarıda hesaplandığı gibi lineer olarak artıyor), ve (*c*) $a-t$ (yatay bir düz çizgi çünkü a = sabit) grafiklerini gösteriyor.

ŞEKİL 2–18 Örnek 2–7. $x = At^2 + B$. hareketi için (a) x-t (b) v-t, ve (c) a-t grafikleri. v'nin t ile lineer olarak arttığına ve ivmenin, a, sabit olduğuna dikkat edin. Ayrıca, v, $x-t$ eğrisinin eğimi iken a, $v-t$ eğrisinin eğimidir.



Hız gibi, ivme de bir büyüklüğün zamanla nasıl değiştiğinin bir ölçüsüdür. Bir nesnenin hızı, yedeğiştirmesinin zamanla nasıl değiştiğini gösterir; öte yandan onun ivmesi, hızının zamanla değişmesinin ölçüsüdür. Bir bakıma, ivme bir "hızın hızıdır". Bu denklem biçiminde aşağıdaki gibi ifade edilebilir: $a = dv/dt$ ve $v = dx/dt$ olduğundan,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Burada d^2x/dt^2 x'in t'ye göre *ikinci türevidir*: ivmeyi elde etmek için ilk önce x'in t'ye göre türevini alırız (dx/dt), ve daha sonra tekrar t'ye göre türev alırız, $(d/dt)(dx/dt)$.

ALIŞTIRMA F Bir parçacığın konumu aşağıdaki denklemle veriliyor:

$$x = (2.00\,\mathrm{m/s^3})t^3 + (2.50\,\mathrm{m/s})t.$$

$t = 2.00$ s'de parçacığın ivmesi nedir? (*a*) 13.0 m/s²; (*b*) 22.5 m/s²; (*c*) 24.0 m/s²; (*d*) 2.00 m/s²?

Serway . Beichner

Fizik 1. Prof. Dr. Kemal Çolakoğlu - 30/2α -

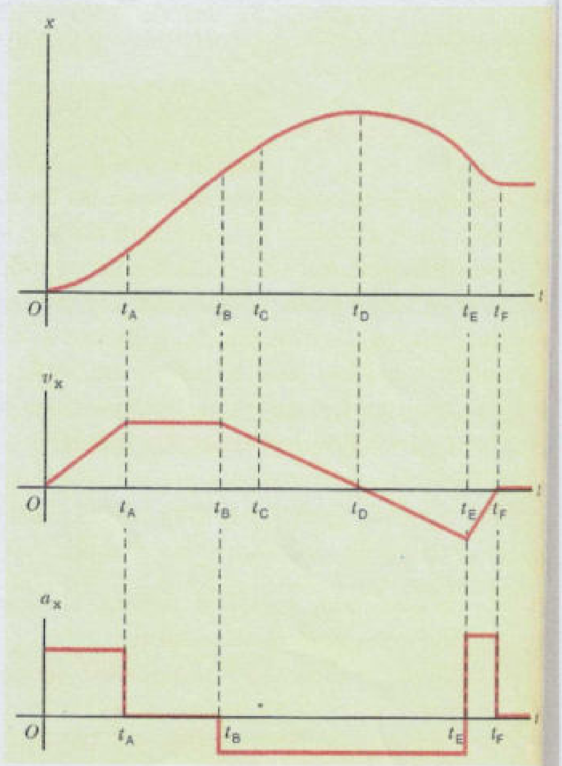
da hız-zaman grafiğinin eğimi de maksimumudur. t_B anında ivme sıfırdır, yine bu noktada hız maksimum değerindedir (yani burada v_x-t grafiğinin eğimi sıfırdır). Hız, pozitif x yönünde azalmaya başladığında ivme negatif olur ve t_E anında ivme en büyük negatif değerine ulaşır.

KAVRAMSAL ÖRNEK 2.3 x, v_x ve a_x Arasındaki Grafiksel İlişkiler

Şekil 2.7a'da, bir cismin x ekseni boyunca hareketinin zamana bağlı konumu verilmiştir. Hareketin hız-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çiziniz.

Çözüm Herhangi bir anda hız, x-t grafiğinde o andaki teğetin eğimi ile verilir. $t = 0$ ve $t = t_A$ anları arasında x-t grafiğinin eğimi düzgün olarak artar, dolayısı ile hız doğrusal olarak artar (Şekil 2.7b). t_A ve t_B noktaları arasında x-t grafiğinin eğimi sabittir. Dolayısıyla hız da sabittir. t_D noktasında, x-t grafiğinin eğimi sıfırdır, dolayısı ile burada hız da sıfırdır. t_D ve t_E noktaları arasında x-t grafiğinin eğimi negatiftir, bu nedenle hız da negatiftir ve düzgün olarak azalır. t_E-t_F aralığında ise, x-t grafiğinin eğimi halâ negatiftir ve t_F noktasında hız sıfır olur. Son olarak $t > t_F$ için, x-t grafiğinin eğimi sıfır olur ve bu, cismin durduğu anlamına gelir.

Herhangi bir anda ivme, o noktada v_x-t grafiğinin teğetinin eğimi ile verilir. Cismin ivme-zaman grafiği Şekil 2.7c'de gösterilmiştir. 0-t_A aralığında ivme sabit ve pozitiftir. Çünkü bu aralıkta v_x-t grafiğinin eğimi pozitiftir. $t_A - t_B$ ve $t > t_F$ aralığında v_x-t grafiğinin eğimi sıfır olduğundan, ivme de bu aralıklarda sıfırdır. t_B-t_E aralığında ivme negatiftir, çünkü, bu aralıkta v_x-t grafiğinin eğimi negatiftir.



Şekil 2.7 (a) x ekseni boyunca hareket eden bir cismin konum-zaman grafiği. (b) Cismin hız-zaman grafiği, her bir an için konum-zaman grafiğine çizilen teğetin eğiminden elde edilir. (c) Cismin ivme-zaman grafiği, hareketini her anında hız-zaman grafiğinin eğiminden bulunur.

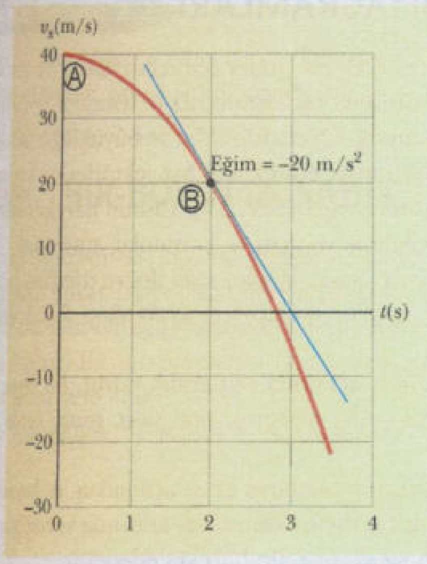
Sınama Sorusu 2.1

Şekil 2.1a'da verilen araba hareketi için hız-zaman grafiğini çizerek arabanın işaretle belirlenmiş olan azami hızı (30 km/saat) aşıp aşmadığını belirleyin?

ÖRNEK 2.4 Ortalama ve Ani İvme

x ekseni boyunca hareket eden bir parçacığın hızı $v_x = (40 - 5t^2)$ m/s ifadesine göre zamanla değişmektedir. Burada t, s cinsindendir. (a) $t = 0$ ile $t = 2$ s zaman aralığındaki ortalama ivmeyi bulunuz.

Çözüm Şekil 2.8, problemdeki ifade kullanılarak oluşturulmuş $v_x - t$ grafiğini göstermektedir. $v_x - t$ eğrisinin tamamının eğimi negatif olduğundan, ivmenin de negatif olmasını bekleriz.



Şekil 2.8 $v = (40 - 5t^2)$ m/s bağıntısına göre x ekseni boyunca hareket eden bir parçacık için hız – zaman grafiği. $t = 2$ s 'deki ivmenin o andaki mavi renkli teğet çizginin eğimine eşit olduğuna dikkat ediniz.

$t_i = t_A = 0$ ve $t_s = t_B = 2$ s 'deki hızlar, t 'nin değerleri hız için verilen ifadede yerine konarak şu şekilde bulunur:

$$v_{xA} = (40 - 5t_A^2)\ \text{m/s} = [40 - 5(0)^2]\ \text{m/s} = +40\ \text{m/s}$$

$$v_{xB} = (40 - 5t_B^2)\ \text{m/s} = [40 - 5\ (2)^2]\ \text{m/s} = +20\ \text{m/s}$$

O halde $\Delta t = t_B - t_A = 2$ s zaman aralığında ortalama ivme,

$$\bar{a}_x = \frac{v_{xs} - v_{xi}}{t_s - t_i} = \frac{v_{xB} - v_{xA}}{t_B - t_A} = \frac{(20 - 40)\ \text{m/s}}{(2 - 0)\ \text{s}}$$

$$= \boxed{-10\ \text{m/s}^2}$$

ile verilir. Eksi işareti, hız – zaman grafiği üzerindeki ilk ve son noktaları birleştiren doğrunun eğiminin negatif olduğu gerçeği ile uyumludur.

(b) $t = 2$ s 'deki ivmeyi bulunuz.

Çözüm t anındaki hız $v_{xi} = (40 - 5t^2)$ m/s ile $t + \Delta t$ anındaki hız

$v_{xs} = 40 - 5\ (t + \Delta t)^2 = 40 - 5t^2 - 10\ t\,\Delta t - 5\ (\Delta t)^2$ ile verilir. O nedenle, Δt zaman aralığında hızdaki değişim,

$$\Delta v_x = v_{xs} - v_{xi} = [-\ 10t\,\Delta t - 5\ (\Delta t)^2]\ \text{m/s}$$

dir. Bu ifadeyi Δt ye bölerek ve sonucun Δt sıfıra yaklaşırkenki limitini alarak, *herhangi* bir t zamanındaki ivmeyi şu şekilde buluruz:

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} (-10t - 5\Delta t) = -10t\ \text{m/s}^2$$

$t = 2$ s de,

$$a_x = (-10)\ (2)\ \text{m/s}^2 = \boxed{-20\ \text{m/s}^2}$$

buluruz. Ⓐ ve Ⓑ arasındaki ortalama ivmeyi (-10 m/s²) Ⓑ 'deki ani ivmeyle (-20 m/s²) kıyaslayarak yaptığımız şey, Ⓐ 'yı Ⓑ 'ye bağlayan doğrunun (şekilde gösterilmemiştir) eğimini Ⓑ 'deki eğimle kıyaslamaktır.

Bu örnekte ivmenin sabit olmadığına dikkat ediniz. Sabit ivmeyi içeren durumlar kesim 2.5'de ele alınacaktır.

Şimdiye kadar bir fonksiyonun tanımı ile başlayıp sonra belli bir oranın limitini alarak fonksiyonun türevlerini hesapladık. İntegral hesapla aşina olanlarınız, değişik fonksiyonların türevlerini almak için belirli kurallar olduğunu bilirler. Ek B. 6'da listelenen bu kurallar türevleri çabucak hesaplamamızı sağlar. Farzedelim ki x, t 'nin herhangi bir kuvveti ile orantılı; yani

$$x = At^n$$

olsun. Burada A ve n sabitlerdir. (Bu çok genel fonksiyonel bir biçimdir.) x'in t'ye göre türevi

$$\frac{dx}{dt} = nAt^{n-1}$$

ile verilir. Bu kuralı 2.4 Örneğine uygularsak, $v_x = 40 - 5t^2$ olduğundan $a_x = dv_x/dt = -10t$ olacaktır.

TEMEL FİZİK C.I.
FISHBANE - GASIOROWICZ - THORNTON
Prof. Dr. CENGİZ YALÇIN

30/3a-

Şekil (2-2b)'de, Şekil (2-2a)'daki noktaları birleştiren eğri verilmiştir. Bu eğriden, Şekil (2-2a)'da bir nokta olarak gösterilmeyen bir x değerine ait zaman, küçük bir hata ile bulunur. Yerdeğiştirmeyi zamana bağlayan $x(t)$ fonksiyonu, başlangıç noktasından itibaren t zamanı içinde alınan yolu verir. Eğrinin daha iyi anlaşılabilmesi için, Bölüm 1'de tanımlanan *yerdeğiştirme* kavramı burada da kullanılmıştır. Yer değiştirme, cismin konumundaki *değişmedir*. t_1 zamanındaki konum x_1, t_2 zamanındaki konum x_2 ile belirtilirse, bu iki konum arasındaki fark, yerdeğiştirme olarak tanımlanır ve matematiksel olarak;

$$\Delta x \equiv x_2 - x_1 \tag{2-1}$$

şeklinde gösterilir. Burada Δ, (delta okunur) önüne yazılan değişkenin bir değerden diğerine değişimini (ya da farkını) ifade etmektedir. Benzer şekilde zaman aralığı da

$$\Delta t = t_2 - t_1 \tag{2-2}$$

olarak gösterilir.

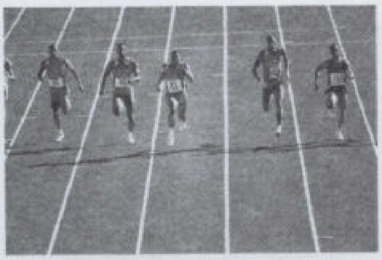
Δx ve Δt arasında önemli bir fark vardır. Δx yerdeğiştirmesi *vektörel*, Δt zaman aralığı ise *skaler* bir büyüklüktür. Koşu örneğinde, x, zamana göre düzgün olarak artmaktadır ve yerdeğiştirmenin vektör özelliği burada bir rol oynamaz. Eğer hareket $+x$ ve $-x$ yönlerinde olursa, yerdeğiştirme bazı zaman aralıkları için negatif, bazı zaman aralıkları için pozitif olur. Tek boyutlu hareket için, x'in büyüklüğünün yanında sadece işaretinin bilinmesi hareketin tanımı için yeterlidir. Ancak, iki ve üç boyutlu harekette yön ve büyüklük söz konusu olduğundan, vektörel tanımlama gerekir. Buna göre, yerdeğiştirme vektörü

$$\Delta \mathbf{x} \equiv \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1, \tag{2-3}$$

şeklinde gösterilir. Burada $\mathbf{x}_2$, t_2 zamanındaki *konum vektörü* (yarışın başladığı noktadan t_2 zamanında koşucunun ulaştığı noktaya uzanan vektör) ve $\mathbf{x}_1$, t_1 zamanındaki konum vektörüdür.

Tek boyutlu hareket; $+x$ ekseni boyunca uzanan bir $\mathbf{i}$ birim vektörü ile ifade edilir. [Şekil (2-3a)]. Örneğin $\mathbf{x}_1$ vektörü, $x_1\mathbf{i}$ şeklinde yazılır ve burada x_1, başlangıçtan itibaren alınan yolu gösterir.

Konum vektörünün tanımı, başlangıç noktasının seçimine bağlı olurken, $\Delta \mathbf{x}$ yerdeğiştirme vektörü, başlangıç noktasına bağlı değildir. Örneğin, 100 m yarışında baş-

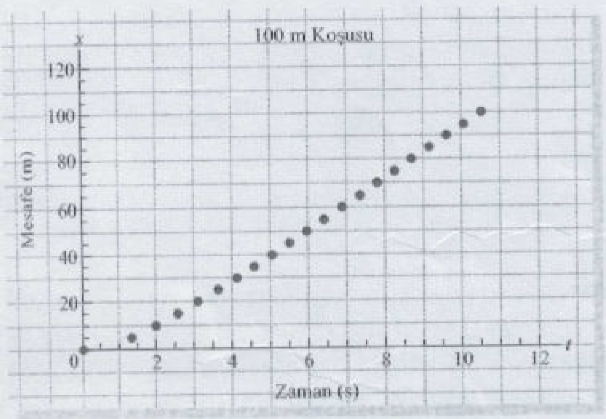


ŞEKİL 2–1 100 m yarışı, hareket kavramlarının daha da belirginleşmesini sağlar.

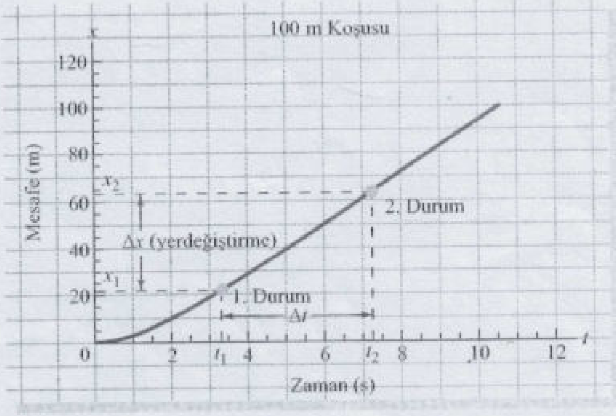
∞ Vektörler ve skaler büyüklükler Bölüm 1'de anlatılmıştır.

Yerdeğiştirme vektörü koordinat sisteminin başından bağımsızdır.

ŞEKİL 2–2 (a) 100 m yarışı için çizilmiş konum-zaman grafiğinde durum 5 m aralıklarla verilmiştir. (b) Grafikteki eğri, diğer grafikteki noktaların birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Koşucu t_1 zamanında x_1 konumunda (1. durum) ve x_2 zamanında t_2 konumundadır (2. durum). $\Delta t = t_2 - t_1$ zaman aralığında koşucunun yer değiştirmesi $\Delta x = x_2 - x_1$ kadardır.



(a)



(b)

me kastedilir. Ani ivme, Δt zaman aralığı sıfıra yaklaşırken $\Delta v/\Delta t$'nin limiti olarak tanımlanır:

$$a \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}. \qquad (2\text{–}14)$$

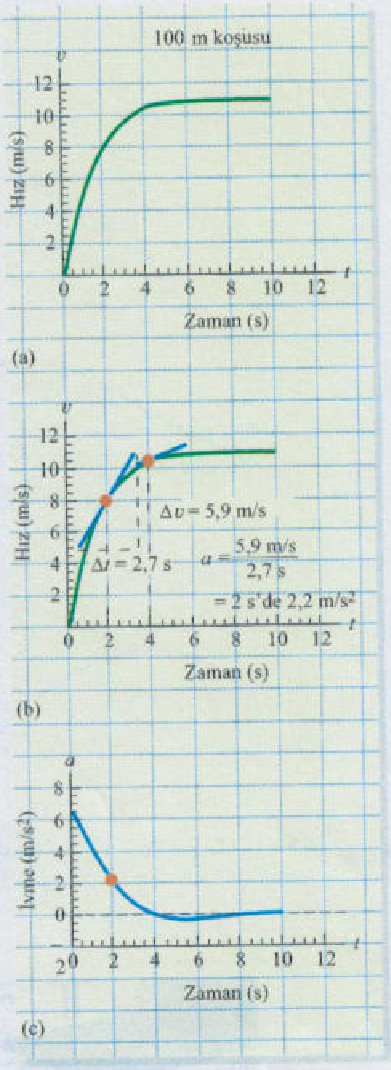
Anlık ivme yer değiştirme vektörünün zamana göre ikinci türevidir.

İvme ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki Eş. (2-11) ve Eş.(2-14) ile verilen türevlerden,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\frac{dx}{dt}\right] = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (2\text{–}15)$$

olarak bulunur. İvme hızın zamana göre türevidir. İvme aynı zamanda, *yerdeğiştirmenin zamana göre ikinci türevidir.*

Hız konum-zaman grafiğinden, ivme hız-zaman grafiğinden bulunur [Şekil (2-8a)]. Belli bir t anında t'nin bir fonksiyonu olan v eğrisine çizilen teğetin eğimi t anındaki ivmeyi verir. Şekil (2-8b)'de, v-t eğrisine 2 s ve 4 s'ye karşılık gelen noktalardan çizilen teğetler gösterilmiştir. Hız eğrisinde, teğet doğruların eğimi ya da $v(t)$ fonksiyonunun zamana göre türevi alınarak yarışçının ivmesi bulunur. Şekil (2-8c)'de ivmenin zamana göre değişimini veren eğri gösterilmiştir. Bu eğri, Şekil (2-8b)'deki hız eğrisinden türetilmiştir. İvme eğrisi incelendiğinde, atlet hızının kısa sürede arttığı yarışın başlangıcında, ivmenin çok yüksek olduğu görülür, fakat yarışçının düzgün hızla hareketini sürdürmeye başladığı 4'üncü saniyeden sonra ivme sıfıra düşer.



ŞEKİL 2-8 (a) Konumu Şekil (2-2)'de verilen sporcunun hızı. Bu eğri, konum-zaman eğrisindeki her noktanın eğimi bulunarak çizilir. Şekil (2-6)'da, t = 2 s'deki işlem görülmektedir. (b) Sporcunun ani ivmesi, hız-zaman eğrisine teğet noktaların eğimlerinden bulunur. Böyle iki teğet mavi renkle çizilmiştir. Bu teğetlerin t = 2 s'de ve t = 4 s'deki eğimleri ivmeyi vermektedir. t = 2 s'deki teğetin eğimi burada hesaplanmıştır. (c) Sporcunun zamana göre ivme eğrisi. Bu eğri, hız-zaman eğrisine teğet noktaların eğimlerinin zamana göre grafiğinin çizilmesi ile de bulunur.

ÖRNEK 2–5 Uzun bir ray üzerinde ilerleyen bir deney roketinin, ilk 10 saniyedeki x konumu $x(t) = (5\ \mathrm{m/s})t + (8\ \mathrm{m/s^2})t^2 + (4\ \mathrm{m/s^3})t^3 - (0{,}25\ \mathrm{m/s^4})t^4$ bağıntısı ile verilmiştir. Bu denklemde t saniye, x metre cinsinden verilmiştir. Roketin hızını ve ivmesini hesaplayıp sonuçları grafik çizerek gösteriniz.

Çözüm: **x**, **v** ve **a** vektörlerinin yönü ray (tek boyutlu olduğundan vektör notasyonunu kullanmaya gerek kalmaz) boyunca pozitif alınır. Konum-zaman grafiği, Şekil (2-9a)'da verilmiştir. Roketin hızı ve ivmesi sırasıyla Eş. (2-11) ile Eş. (2-15)'deki zamana göre türevler alınarak bulunur

$$v = \frac{dx}{dt} = (5\ \mathrm{m/s}) + (16\ \mathrm{m/s^2})t + (12\ \mathrm{m/s^3})t^2 - (1\ \mathrm{m/s^4})t^3;$$

$$a = \frac{dv}{dt} = (16\ \mathrm{m/s^2}) + (24\ \mathrm{m/s^3})t - (3\ \mathrm{m/s^4})t^2.$$

Zaman saniye ile ölçüldüğünden hız ve ivme, sırasıyla m/s ve m/s^2 ile ölçülür. Yukarıdaki sonuçlar kullanılarak 0 – 10 s zaman aralığında hız ve ivme grafiği çizilir. Şekil (2-9b) ve (2-9c)'de bu grafikler verilmiştir. Her ne kadar x'in konumu, t = 0 zamanında sıfır olsa da ne hız ne de ivme bu anda sıfır değildir.

Bu bağlamda ivmenin zamanla değişimi da/dt de göz önüne alınabilir. Ancak ivmenin zamanla değişimi gibi daha yüksek mertebeden türevlerin neden tartışılmadığı 4'üncü bölümde açıklığa kavuşacaktır. Newton kanunları, ivmenin zaman türevi ile değil ivmenin kendisi cinsinden ifade edilmiştir.

2-4 SABİT İVMELİ HAREKET

İvmenin en basit örneği sabit ivmeli harekettir [Şekil (2-10)]. Yeryüzüne yakın konumda bulunan cisimlere yerçekimi sabit bir ivme uygular. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı, sabit ivmeli hareket fizikte önemli bir yer tutar.

Şimdi, hız-zaman $(v-t)$ eğrisinin;

P noktasında $\overline{OT}$ doğrusuna, A noktasında $\overline{AD}$ doğrusuna teğet olacak şekilde denklemini bulalım ve çizelim.

Düzgün azalan ivme süresi;

$$t_{CB} = t_{OB} - t_{OC} = 30sn - 10sn.$$

$$t_{CB} = 20\ sn.$$

$$\overline{CB} = 10\ cm.$$

$\triangle TNP$ dik üçgeninde,

$\overline{AT} = \overline{AN}$

dolayısıyla,

$$\overline{AL} = \frac{1}{2}\overline{PN} = \frac{1}{2} \cdot 10\ cm \quad (\overline{PN} = \overline{BC} = 10\ cm)$$

$$\overline{AL} = 5\ cm.$$

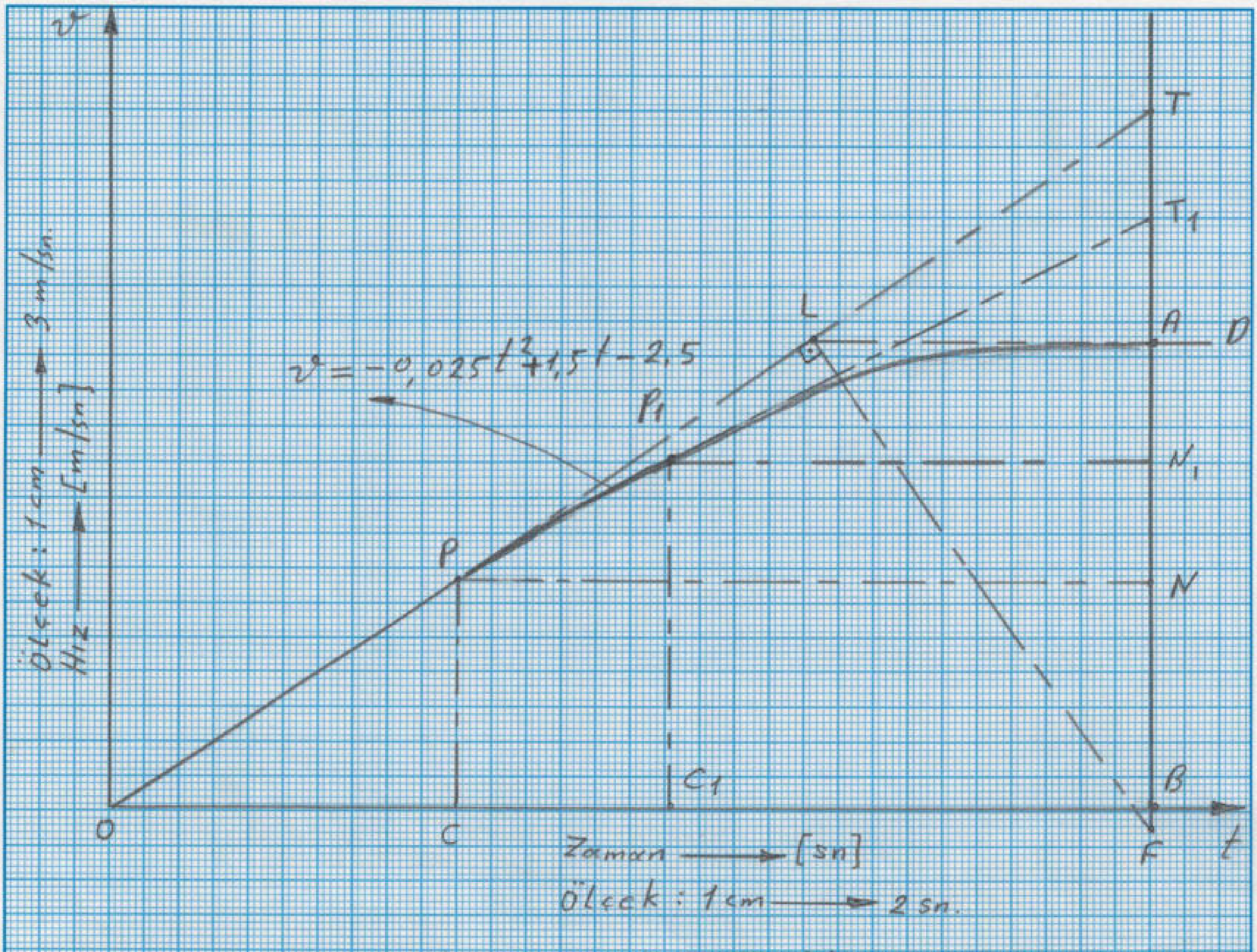
L noktasındaki normal, $\overline{TB}$ doğrusunu F noktasında kessin. $\triangle FLA \sim \triangle ALT$ dik üçgenlerinin benzerliğinden

$$\frac{\overline{AL}}{\overline{AT}} = \frac{\overline{AF}}{\overline{AL}} \longrightarrow \overline{AL}^2 = \overline{AT} \cdot \overline{AF}$$

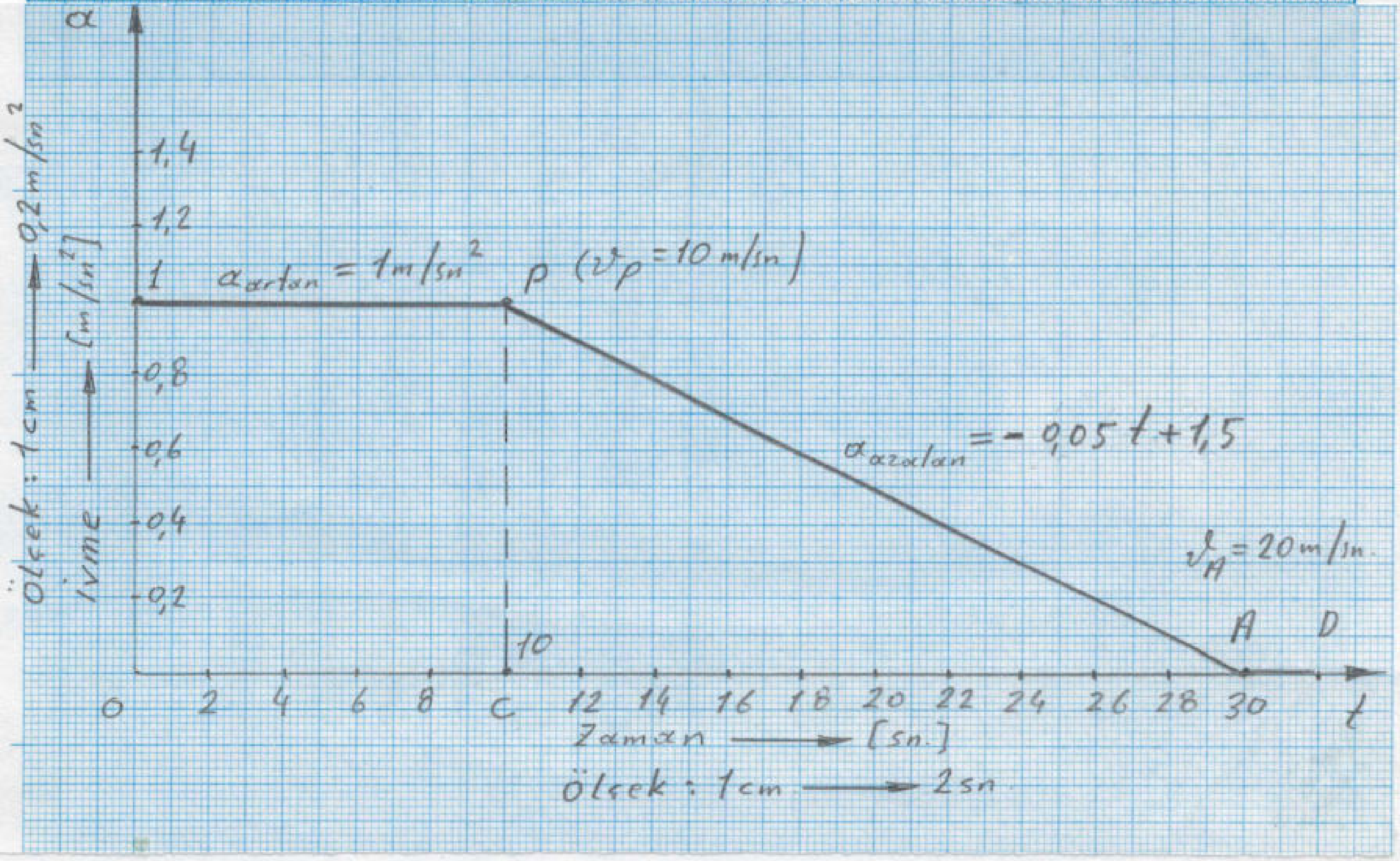
$$\overline{AF} = \frac{(5\ cm)^2}{3,33\ cm}$$

$$\overline{AF} = 7,5\ cm.$$

Şekil 7 den yukarıdaki eşitlikleri de yazmak mümkündür.



Şekil 7 - Hız - zaman ($v-t$) grafiği.



Şekil 8 - İvme - zaman ($a-t$) grafiği

Şekil 7 den faydalanarak ivme-zaman $(a-t)$ grafiğini (şekil 8) gözönüne alalım ve irdeliyelim:

- $(0-t_C)$ aralığında ivme sabit $(a_{artan} = 1\, m/sn^2)$ ve pozitiftir çünkü bu aralıkta v-t grafiğinin eğimi pozitiftir.
- A noktasında hız sabittir $(v_A = 20\, m/sn)$, başka bir deyişle A noktasında $v-t$ eğrisinin eğimi sıfır olduğundan v hızının sabit olduğu aralıklarda da ivme sıfırdır.

Azalan ivmenin denklemi,

$$a_{azalan} = A_1 \cdot t + B_1$$

şeklinde bir doğrudur. Sınır değerler ile,

$$t = 10\, sn. \longrightarrow a = 1\, m/sn^2$$

$$t = 30\, sn. \longrightarrow a = 0$$

$$\left.\begin{aligned} 1 &= A_1 \cdot 10 + B_1 \\ 0 &= A_1 \cdot 30 + B_1 \end{aligned}\right\} \quad A_1 = -\frac{1}{20} \quad B_1 = \frac{30}{20}$$

$$a_{azalan} = -\frac{1}{20}t + \frac{30}{20} = -0{,}05t + 1{,}5 \qquad (34)$$

elde edilir. Sınır değerler : $(10 \leq t \leq 30)$ dur.

P noktasından başlamak üzere $v-t$ eğrisinin denklemi;

Herhangi bir andaki anlık ivme,

$$a = \frac{dv}{dt}$$

olduğuna göre

$$v = \int a\, dt = \int \left(-\frac{1}{20}t + \frac{30}{20}\right) dt$$

$$\vartheta = -\frac{1}{40}t^2 + \frac{30}{20}t + A_2$$

$t = 10\ sn \longrightarrow \vartheta = 10\ m/sn$ (veya $t = 30 sn \rightarrow \vartheta = 20 m/sn$)

$$10 = -\frac{1}{40}\cdot 100 + \frac{30}{20}\cdot 10 + A_2$$

$$\| A_2 = -2{,}5$$

$$\| \vartheta = -0{,}025t^2 + 1{,}5t - 2{,}5 \quad \cancel{(to=1)} \quad (35)$$

olarak bulunur. Sınır değerler: $(10 \leq t \leq 30)$ dir.

Özet:

. Kafes, lineer olarak artan bir hızla $t_{OC} = 10$ sn de P noktasındaki $\vartheta_P = 10\ m/sn$ hızına ulaşır. $a_{artan} = 1 m/sn^2$ dir.

. P noktasından A noktasına $\vartheta = -0{,}025t^2 + 1{,}5t - 2{,}5$ eğrisi boyunca $t_{CB} = 20$ sn. de $\vartheta_A = 20\ m/sn$ sabit hıza çıkar,

. $\vartheta_P = 10 m/sn$ den $\vartheta_A = 20 m/sn$ sabit hıza çıkarken azalan ivmede $a_{azalan} = -0{,}05t + 1{,}5$ doğrusu boyunca lineer olarak azalır ve A noktasında ϑ_A hızı sabit olduğunda $a_{A\,azalan} = 0$ olur.

Not 1 - $\vartheta = f(t)$ ve $a = f(t)$ arasındaki grafiksel ilişkiler Sayfa 30 eklerinde verilmiştir.

Not 2 - Şekil 7 deki eğri üzerine düşen bir P_1 noktasını ele alalım.

. $\overline{OC_1} \triangleq 8\ cm. \rightarrow t_{OC_1} = 16\ sn.$

$\overline{P_1C_1} = 5\ cm. \longrightarrow \vartheta_{P_1} = 15\ m/sn.$

veya,

$t = 16$ sn için,

$$\vartheta = -0{,}025t^2 + 1{,}5t - 2{,}5 = -0{,}025 \cdot 16^2 + 1{,}5 \cdot 16 - 2{,}5$$

$$\boxed{\vartheta_{P1} = 15{,}1 \ m/sn}$$

Aynı hız değeri çıkar.

Şekil 7 deki $(\vartheta - t)$ grafiğini biraz daha inceliyelim ve yeni eksen takımına göre şekil 9'u göz önüne alalım.

$\overline{Ot}$, $\overline{O\vartheta}$ eksen takımına göre $\vartheta = f(t)$ eğrisini çizebiliyoruz (çünkü denklemini artık biliyoruz). Bu eğri görüldüğü gibi bir paraboldür.

Şimdi, $\overline{AX}$, $\overline{Ay}$ eksen takımına göre bu parabolün denklemini,

$$y = kx^2$$

şeklinde yazabiliriz.

$x = \overline{AC'} = \overline{BC}$ için $y = \overline{C'P} = \overline{AN}$

olacağına göre,

$\overline{BC} = 10$ cm (S: 31)

$\overline{AN} = 3{,}33$ cm (S: 30)

$$3{,}33 = k \cdot 10^2$$

$$k = 0{,}0333$$

veya,

$$\boxed{k = 1/30}$$

ve parabolün denklemi; $\overline{AX}$, $\overline{Ay}$ eksen takımına göre;

$$y = x^2/30 \qquad (36)$$

olarak bulunur. ($0 \le x \le 10$ cm.)

Parabol üzerinde noktalar alalım. Örneğin: P, P_1, P_2 ve P_3 gibi.

$x_P = \overline{AC'} = 10$ cm. $\quad y_P = \frac{100}{30} = 3{,}33$ cm.

$x_{P1} = \overline{AC_1'} = 8$ cm. $\quad y_{P1} = \frac{64}{30} = 2{,}13$ cm.

$x_{P2} = \overline{AC_2'} = 5$ cm. $\quad y_{P2} = \frac{25}{30} = 0{,}83$ cm.

$x_{P3} = \overline{AC_3'} = 3$ cm. $\quad y_{P3} = \frac{9}{30} = 0{,}3$ cm.

A noktasındaki hız, $\vartheta_A = 20$ m/sn. ve hız ölçeğinin de

1 cm $\longrightarrow$ 3 m/sn alınması nedeniyle,

$$\vartheta_P = 20 \text{ m/sn} - 3 \cdot y_P \quad (\overline{PC} \text{ ye karşılık gelen}) \qquad (37)$$

yazılabilir dolayısıyla,

$\vartheta_P = 20 - 3 \cdot 3{,}33 = 10$ m/sn.

$\vartheta_{P1} = 20 - 3 \cdot 2{,}13 = 13{,}61$ m/sn.

$\vartheta_{P2} = 20 - 3 \cdot 0{,}83 = 17{,}51$ m/sn.

$\vartheta_{P3} = 20 - 3 \cdot 0{,}3 = 19{,}1$ m/sn.

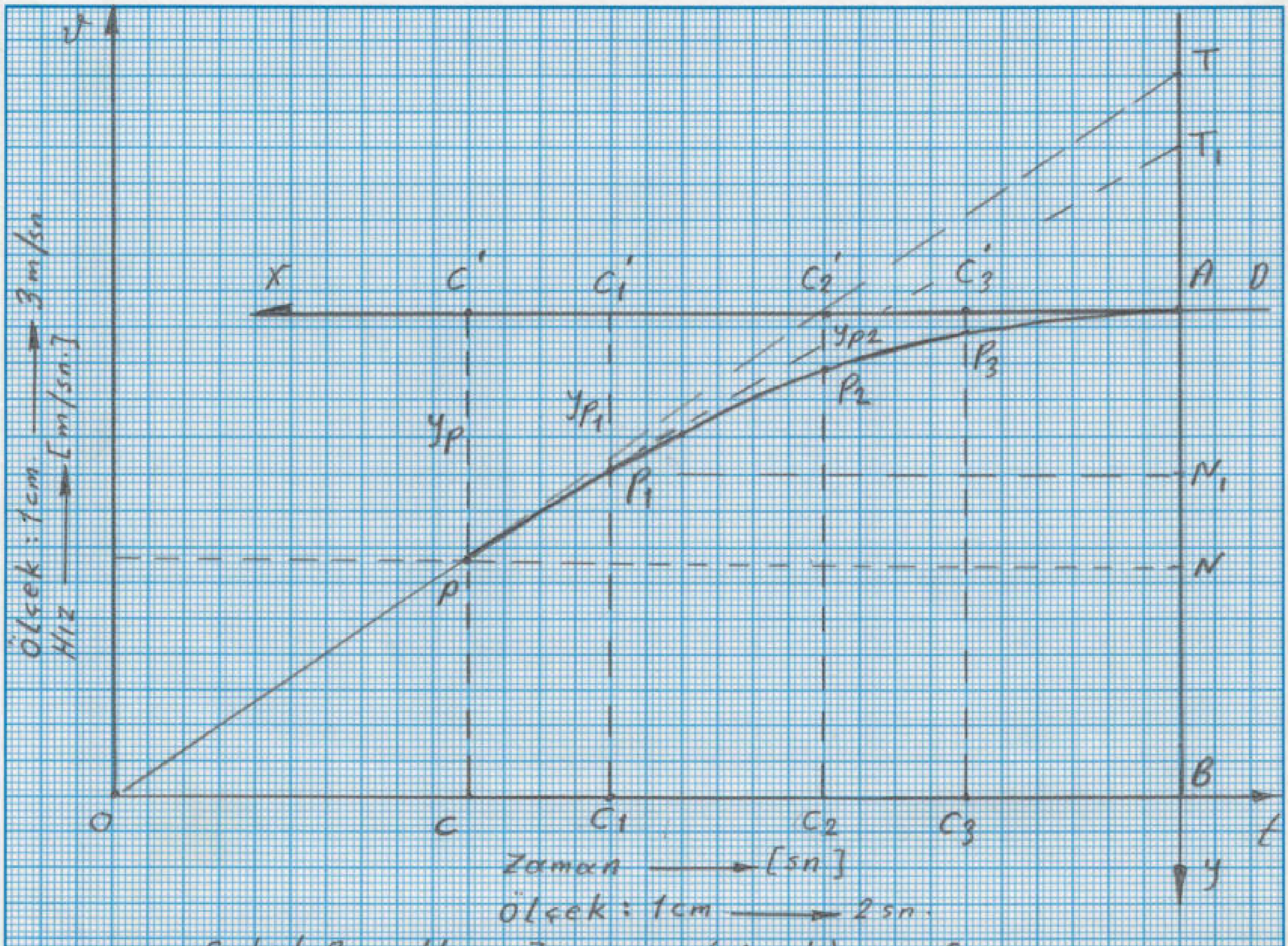
değerleri elde edilir.

Eşitlik 36,

$$3y\,[\text{m/sn}] = 3 \cdot \frac{x^2}{30} = 0{,}1\,x^2 \qquad (38)$$

şeklinde de sadeleştirilebilir. ($0 \le x \le 10$ cm.)

Acaba Şekil 9'a göre anlık azalan ivmeyide hesaplıyabilir miyiz?



Şekil 9 - Hız - Zaman ($v - t$) grafiği

Azalan ivme PA eğrisi (şekil 7, 8, 9) boyunca değiştiğinden, herhangi bir noktadaki örneğin P_1 noktasındaki azalan ivme, bu noktadaki ($v-t$) grafiğinin teğetinin eğimi ile verildiğinden,

$$\alpha_{azalan\,P_1} = \frac{\overline{T_1N_1}}{\overline{P_1N_1}} = \frac{2\,\overline{AN_1}}{\overline{P_1N_1}} \quad (\text{şekil } 7, 9)$$

$$\left.\begin{aligned} \overline{AN_1} &= y_{p1}\,(cm) = y_{p1}\,(cm) \cdot 3\,(m/sn)/cm = 3\,y_{p1}\ m/sn \\ \overline{P_1N_1} &= x_{p1}\,(cm) = x_{p1}\,(cm) \cdot 2\,(sn/cm) = 2\,x_{p1}\ sn \end{aligned}\right\} (\text{şekil } 9)$$

$$\alpha_{azalan\,P_1} = \frac{2 \cdot 3\,y_{p1}}{2\,x_{p1}} = \frac{3\,y_{p1}}{x_{p1}}$$

genelleştirirsek,

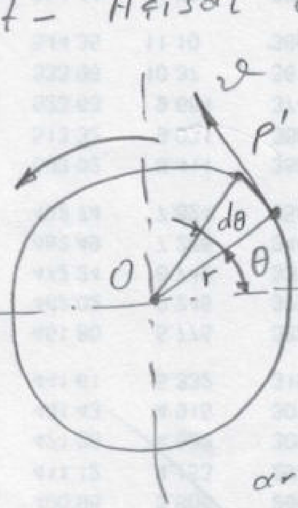
$$\alpha_{azalan} = 3y/x \qquad (39)$$

denklemi bulunmuş olur.

Görüldüğü gibi, Şekil 9 üzerinde ($0 \le X \le 10$ cm) aralığına karşılık gelen hız ve ivme değerleri, sadece X'in okunmasıyla çok basit olarak elde edilebiliyor.

Şimdi; Şekil 7, 8 ve 9'a göre uygulanan hesap sonuçlarını bir cetvelde (Cetvel 1) gösterelim.

7- Açısal azalan ivme,



Bir cisim sabit bir eksen etrafında döndüğünde, cismin herhangi bir P noktası dairesel bir yol boyunca hareket eder. $OP = r$ nin açısal konumu, sabit bir referans ekseni ve r ekseni arasında ölçülen θ açısıyla tanımlanır.

Genellikle $d\theta$ diferansiyeli olarak ölçülen, açısal konumdaki değişmeye açısal yer değiştirme ve açısal konumun zamana göre değişim oranına da ω ile gösterilen açısal hız denir. Yani açısal hız

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \text{ rad/sn} \qquad (40)$$

olur. α açısal ivmesi ise, açısal hızın zamana göre değişim oranıdır dolayısıyla,

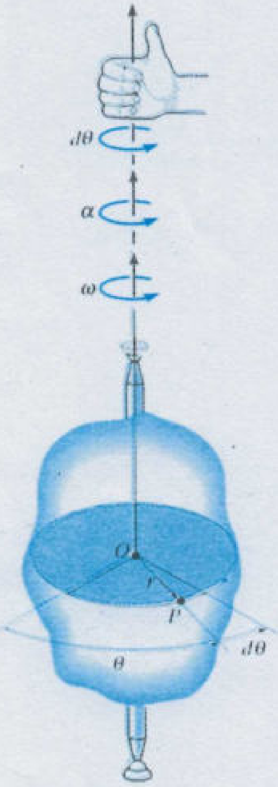
$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \text{ rad/sn}^2 \qquad (41)$$

olarak yazılabilir.

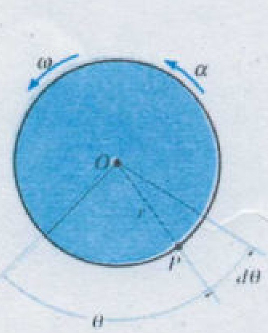
MÜHENDİSLİK MEKANİĞİ - DİNAMİK
R.C. HIBBELER - Ayşe Soyuçok - Özgün Soyuçok -38/1

16.3 Sabit Bir Eksen Etrafında Dönme

Bir cisim sabit bir eksen etrafında döndüğünde, cismin herhangi bir P noktası *dairesel bir yol* boyunca hareket eder. Bu hareket, cismin eksen etrafındaki açısal hareketine bağlıdır. Bu nedenle, P'nin dairesel hareketinin analizine başlamadan önce, cismin açısal hareketinin özelliklerini inceleyeceğiz.



(a)



(b)

Şekil 16–4

Açısal Hareket. Noktanın, boyutsuz olması nedeniyle, açısal hareketi yoktur. *Sadece çizgiler ve cisimler açısal hareket* yaparlar. Bu etkileri incelemek için, Şekil 16–4a'da gösterilen cismi ve koyu renkli düzlemde bulunan r radyal çizgisinin açısal hareketini ele alacağız.

Açısal Konum. Şekilde gösterilen anda, r'nin *açısal konumu, sabit* bir referans ekseni ve r ekseni arasında ölçülen $\boldsymbol{\theta}$ açısıyla tanımlanır. Burada, r dönme eksenine dik doğrultuda, O noktasından cismin P noktasına kadar uzanır.

Açısal Yer Değiştirme. Genellikle $d\boldsymbol{\theta}$ diferansiyeli olarak ölçülen, açısal konumdaki değişmeye *açısal yer değiştirme* denir.* Bu vektör derece, radyan ve devir sayısı cinsinden ölçülen bir $d\theta$ büyüklüğüne sahiptir. 1 devir = 2π rad'dır. Hareket *sabit bir eksen* etrafındaki hareket olduğundan, $d\boldsymbol{\theta}$ *daima* eksen doğrultusundadır. $d\boldsymbol{\theta}$'nın *yönü* sağ el kuralı ile, yani sağ elin parmakları, baş parmak (yani $d\boldsymbol{\theta}$) yukarı doğru yönelecek şekilde dönme yönünde bükülerek belirlenir, Şekil 16–4a. Koyu renkli düzlemin üstten görünümündeki gibi, Şekil 16–4b, iki boyutlu halde, $\boldsymbol{\theta}$ ve $d\boldsymbol{\theta}$ saat yönünün tersine yönelmiştir ve dolayısıyla baş parmak dışa doğru yönelir.

Açısal Hız. Açısal konumun, $\boldsymbol{\omega}$ (omega) ile gösterilen, zamana göre değişim oranına *açısal hız* denir. Buna göre, $d\boldsymbol{\theta}$ dt anında oluştuğundan,

$$(\circlearrowleft +) \qquad \omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad (16\text{–}1)$$

olur. Bu vektörün *büyüklüğü*, genellikle rad/s ile ölçülür. Burada vektör skaler formda ifade edilmiştir, çünkü doğrultusu, *daima* dönme ekseni doğrultusudur, yani bu vektör $d\boldsymbol{\theta}$ ile aynı doğrultudadır, Şekil 16–4a. Açısal hareket koyu renkli düzlemde gösterildiği zaman, Şekil 16–4b, dönme yönünü saat yönü veya saatin tersi yönü olarak alabiliriz. Burada, *keyfi olarak*, saatin tersi yöndeki dönmeleri *pozitif* olarak seçtik ve bunu Denklem 16–1'deki parantezde gösterilen okla ifade ettik. Ancak, $\boldsymbol{\omega}$ gerçekte dışa doğru yönlenir.

* Kesim 20.1'de, $d\boldsymbol{\theta}$ diferansiyel dönmelerinin vektör olmasına karşın, sonlu dönmeler ve sonlu açısal yer değiştirmelerin vektörel büyüklükler olmadığı gösterilmiştir.

-38/2-

Açısal İvme. α (alfa) *açısal ivmesi*, açısal hızın zamana göre değişim oranını ölçer. Dolayısıyla, bu vektörün büyüklüğü

$$(\circlearrowleft +) \qquad \alpha = \frac{d\omega}{dt} \qquad (16\text{–}2)$$

olarak yazılabilir. Denklem 16–1 kullanılarak,

$$(\circlearrowleft +) \qquad \alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad (16\text{–}3)$$

yazılabilir. α'nın etki çizgisi ω'nınkiyle aynıdır, fakat yönü ω'nın zamanla artması veya azalmasına *bağlıdır*. Özel olarak, ω azalıyorsa α'ya *açısal yavaşlama* denir; buna göre yönü ω'nınkine terstir.

Denklem 16–1 ve 16–2'den dt yok edilerek, açısal ivme, açısal hız ve açısal yer değiştirme arasında bir diferansiyel bağıntı, yani

$$(\circlearrowleft +) \qquad \alpha\, d\theta = \omega\, d\omega \qquad (16\text{–}4)$$

bağıntısını elde ederiz.

Açısal harekete ait diferansiyel bağıntılarla, bir parçacığın doğrusal hareketi ile ilgili bağıntıların ($v = ds/dt$, $a = dv/dt$ ve $a ds = v dv$) benzerliği dikkat çekicidir.

Sabit Açısal İvme. Cismin açısal ivmesi sabitse, yani $\alpha = \alpha_c$ ise, Denklem 16–1, 16–2 ve 16–4 integre edildiği zaman, cismin açısal hızını, açısal konumunu ve zamanı birbirine bağlayan bir formül takımı elde edilir. Bunlar, doğrusal hareket için kullanılan 12–4, 12–6 denklemlerinin benzeridir. Sonuçlar

$$(\circlearrowleft +) \qquad \omega = \omega_0 + \alpha_c t \qquad (16\text{–}5)$$

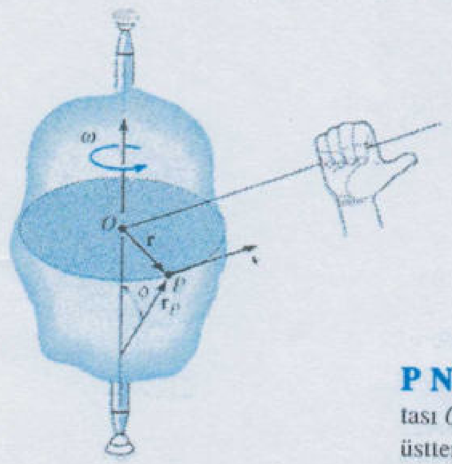
$$(\circlearrowleft +) \qquad \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \tfrac{1}{2}\alpha_c t^2 \qquad (16\text{–}6)$$

$$(\circlearrowleft +) \qquad \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_c(\theta - \theta_0) \qquad (16\text{–}7)$$

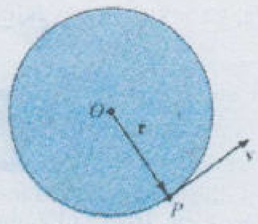
Sabit Açısal İvme

şeklindedir. Burada, θ_0 ve ω_0 sırasıyla, cismin açısal konumu ve açısal hızının başlangıç değerleridir.

- 38/3 -



Şekil 16–4 (*tekrar*)



(d)

P Noktasının Hareketi. Şekil 16–4*c*'deki rijit cisim dönerken, *P* noktası *O* merkezli, *r* yarıçaplı bir *dairesel yörüngede* hareket eder. Bu yörünge, üstten görünüşü verilen koyu renkli düzlem içindedir, Şekil 16–4*d*.

Konum. *P*'nin konumu, *O*'dan *P*'ye uzanan **r** konum vektörüyle tanımlanır.

Hız. *P*'nin hızı, $v_r = \dot{r}$ ve $v_\theta = r\dot{\theta}$ kutupsal koordinat bileşenleri kullanılarak, Denklem 12-25, *P*'nin hareketinden belirlenebilen bir büyüklüğe sahiptir. *r* sabit olduğundan, radyal bileşen $v_r = \dot{r} = 0$'dır ve dolayısıyla $v = v_\theta = r\dot{\theta}$ olur. Denklem 16–1'e göre, $\omega = \dot{\theta}$ olduğundan,

$$v = \omega r \tag{16–8}$$

bulunur. Şekil 16–4*c* ve 16–4*d*'de gösterildiği gibi, **v**'nin *doğrultusu* dairesel yörüngeye *teğettir*.

v'nin büyüklük ve doğrultusu, $\boldsymbol{\omega}$ ve $\mathbf{r}_P$'nin vektörel çarpımı kullanılarak hesaplanabilir (bkz. Ek C). Burada, $\mathbf{r}_P$ dönme ekseni üzerindeki herhangi bir noktadan *P* noktasına giden bir vektördür, Şekil 16–4*c*.

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P \tag{16–9}$$

olur. Bu formülde vektörlerin sırası önemlidir, çünkü vektörel çarpım komütatif değildir, yani $\omega \times \mathbf{r}_P \neq \mathbf{r}_P \times \boldsymbol{\omega}$'dir. Bu vesileyle, Şekil 16–4*c*'de sağ el kuralı ile **v**'nin doğru yönünün nasıl oluşturulduğuna dikkat edelim. Sağ elin parmakları $\boldsymbol{\omega}$'dan $\mathbf{r}_P$'ye doğru kıvrılır ($\boldsymbol{\omega}$ "çarpı" $\mathbf{r}_P$). Baş parmak **v**'nin doğru yönünü gösterir, bu da hareket doğrultusundaki yörüngeye teğettir. Denklem C–8'den, Denklem 16–9'daki **v**'nin büyüklüğü $v = \omega r_P \sin\phi$ olarak bulunur. $r = r_P \sin\phi$ olduğundan, Şekil 16–4*c*, $v = \omega r$ olur; bu da Denklem 16–8 ile uyumludur. Özel bir hal olarak, **r** konum vektörü *O* noktasından *P* noktasına doğru alınabilir, Şekil 16–4*c*. Burada **r** hareket düzleminde bulunur ve *P*'nin hızı yine

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r} \tag{16–10}$$

olur.

- 38/4-

İvme. Uygun olması nedeniyle, P'nin ivmesi normal ve teğetsel bileşenler cinsinden ifade edilecektir.* $a_t = dv/dt$ ve $a_n = v^2/\rho$'yu kullanır $\rho = r$, $v = \omega r$. $\alpha = d\omega/dt$ olduğuna dikkat edersek

$$a_t = \alpha r \tag{16–11}$$

$$a_n = \omega^2 r \tag{16–12}$$

elde ederiz.

İvmenin teğetsel bileşenleri, Şekil 16–4*e* ve 16–4*f*, zamana göre, hızın büyüklüğündeki değişim oranını gösterir. P'nin hızı artıyorsa, $\mathbf{a}_t$, $\mathbf{v}$ ile aynı yönde, azalıyorsa $\mathbf{v}$ ile ters yönde etkir; hız sabitse $\mathbf{a}_t$ sıfırdır.

İvmenin normal bileşenleri, zamana göre, hızın doğrultusundaki değişim oranını gösterir. $\mathbf{a}_n$'nin yönü, O'ya, dairesel yörüngenin merkezine doğrudur, Şekil 16–4*e* ve 16–4*f*.

P noktasının ivmesi, hız gibi, vektörel çarpım cinsinden ifade edilebilir. Denklem 16–9'un zamana göre türevini alarak,

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \mathbf{r}_P + \boldsymbol{\omega} \times \frac{d\mathbf{r}_P}{dt}$$

elde ederiz. $\alpha = d\omega/dt$ olduğunu hatırlayarak ve Denklem 16–9'u ($d\mathbf{r}_P/dt = \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P$) kullanarak,

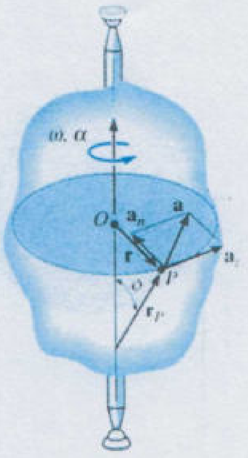
$\alpha \cdot r_P +$

$$\mathbf{a} = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_P + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P) \tag{16–13}$$

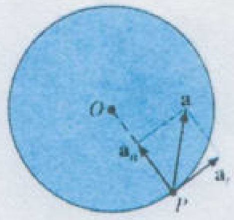
elde ederiz. Vektörel çarpımın tanımından dolayı, sağ yandaki ilk terim $a_t = \alpha r_P \sin\phi = \alpha r$ büyüklüğüne sahiptir ve sağ el kuralına göre, $\boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_P$ $\mathbf{a}_t$ doğrultusundadır, Şekil 16–4*e*. Bunun gibi, ikinci terimin büyüklüğü $a_n = \omega^2 r_P \sin\phi = \omega^2 r$'dir ve doğrultusunun, sağ el kuralı önce $\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P$'ye ardından $\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P)$'ye uygulanarak, $\mathbf{a}_n$ ile aynı olduğu görülür, Şekil 16–4*e*. Bunun, hareket düzleminde yer alan $-\mathbf{r}$ ile aynı doğrultuda olduğuna dikkat ederek $\mathbf{a}_n$'yi, $\mathbf{a}_n = -\omega^2\mathbf{r}$ olarak çok daha basit formda ifade edebiliriz. Buna göre, Denklem 16–11 ve 16–12, iki bileşeniyle

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n \\ &= \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r} - \omega^2 \mathbf{r} \end{aligned} \tag{16–14}$$

olarak ifade edilebilir. $\mathbf{a}_t$ ve $\mathbf{a}_n$ dik olduğundan, Şekil 16–4*e* ve 16–4*f*, ivmenin büyüklüğü gerektiğinde Pisagor teoreminden, yani $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$'den belirlenebilir.



(e)



(f)

Şekil 16–4 ***(devam)***

* Kutupsal koordinatlar da kullanılabilir. $a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$ ve $a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$ olduğundan, $\dot{r} = \ddot{r} = 0$, $\dot{\theta} = \omega$, $\ddot{\theta} = \alpha$ koyarak Denklem 16–11 ve16–12'yi elde ederiz.

ANALİZDE İZLENECEK YOL

Sabit bir eksen etrafında dönen bir cisim içindeki bir noktanın hız ve ivmesinin belirlenmesi için, önce cismin açısal hız ve açısal ivmesinin bilinmesi gerekir. ω ve α'yı elde etmek için 16–1, 16–7 denklemleri kullanılırsa, dönme ekseni boyunca bir *pozitif yön* oluşturulması önemlidir. Bu yapıldıktan sonra, θ, ω ve α'nın yönü, bunların sayısal değerlerinin cebirsel işaretlerinden belirlenebilir. Aşağıdaki örneklerde, pozitif yön, uygulanan kinematik denklemin yanında, bir okla gösterilecektir.

Açısal Hareket. α ve ω bilinmiyorsa, açısal hareketler arasındaki bağıntılar

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad \alpha = \frac{d\omega}{dt} \qquad \alpha\, d\theta = \omega\, d\omega$$

diferansiyel denklemleriyle tanımlanır. Cismin açısal ivmesinin *sabit* olduğu *kesin* ise, aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$\omega = \omega_0 + \alpha_c t$$
$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \tfrac{1}{2}\alpha_c t^2$$
$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_c(\theta - \theta_0)$$

P'nin Hareketi. Cisim içindeki bir P noktasının hareketi belirleneceği zaman, problemin çözümünde *kinematik diyagramın* da kullanılması önerilir. Bu diyagram, noktanın hareketinin grafiksel bir gösterilimidir.

Çoğu halde, hız ve ivmenin iki bileşeni

$$v = \omega r$$
$$a_t = \alpha r$$
$$a_n = \omega^2 r$$

skaler denklemlerinden belirlenebilir. Ancak, problemin geometrisini oluşturmak güçse, aşağıdaki vektörel denklemler kullanılabilir:

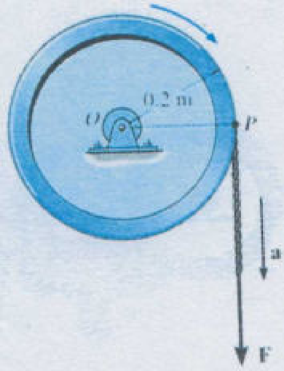
$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$$
$$\mathbf{a}_t = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_P = \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}$$
$$\mathbf{a}_n = \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_P) = -\omega^2 \mathbf{r}$$

$\mathbf{r}_P$ dönme ekseni üzerindeki herhangi bir noktadan P noktasına yönelir, buna karşın $\mathbf{r}$ P'nin hareket düzleminde yer alır. Bu vektörlerin her biri, $\boldsymbol{\omega}$ ve $\boldsymbol{\alpha}$ ile birlikte $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ bileşenleri cinsinden ve gerekiyorsa, bir determinant açılımı kullanılarak (bkz. Denklem C–12) hesaplanan vektörel çarpımlar cinsinden ifade edilmelidir.

-38/6-

Örnek 16–1

Şekil 16–5'te gösterildiği gibi, başlangıçta hareketsiz duran bir tekerlek etrafında bir ip sarılıdır. İpe, t saniye cinsinden olmak üzere, $a = (4t)$ m/s^2 ivmesi veren bir kuvvet uygulandığına göre, (a) tekerleğin açısal hızını, (b) OP çizgisinin radyan cinsinden ölçülen açısal konumunu zamanın fonksiyonu olarak belirleyiniz.



Şekil 16–5

ÇÖZÜM

(a). Tekerlek, O noktasından geçen sabit bir eksen etrafında dönmektedir. Bu yüzden, tekerlek üzerindeki P noktası bir dairesel yörüngede hareket eder ve dolayısıyla bu noktanın ivmesi *hem* teğetsel *hem de* normal bileşene sahiptir. Özel olarak, teğetsel bileşen $(a_P)_t = (4t)$ m/s^2'dir, çünkü ip tekerleğe bağlıdır ve P'de tekerleğe *teğettir*. Dolayısıyla, tekerleğin açısal ivmesi

$$(\circlearrowleft +) \qquad (a_P)_t = \alpha r$$
$$(4t)\ \text{m/s}^2 = \alpha(0.2\ \text{m})$$
$$\alpha = 20t\ \text{rad/s}^2$$

dir. Bu sonuç kullanılarak, tekerleğin ω açısal hızı artık $\alpha = d\omega/dt$'den belirlenebilir, çünkü bu denklem α, t ve ω'yı birbirine bağlar. $t = 0$'da $\omega = 0$ olması koşulu ile integral işleminden,

$$(\circlearrowleft +) \qquad \alpha = \frac{d\omega}{dt} = (20t)\ \text{rad/s}^2$$
$$\int_0^{\omega} d\omega = \int_0^{t} 20t^2\, dt$$
$$\omega = 10t^2\ \text{rad/s} \qquad \textit{Yanıt}$$

elde edilir. Bu sonucu elde etmek için, niçin Denklem 16–5'i ($\omega = \omega_0 + \alpha_c t$) kullanmak mümkün değildir?

(b). Yukarıda bulunan sonuç kullanılarak, OP çizgisinin θ açısal konumu, $\omega = d\theta/dt$'den hesaplanabilir, çünkü bu denklem θ, ω ve t'yi birbirine bağlar. $t = 0$'da $\theta = 0$ olması koşulu ile integral işleminden,

$$(\circlearrowleft +) \qquad \frac{d\theta}{dt} = \omega\ (10t^2)\ \text{rad/s}^2$$
$$\int_0^{\omega} d\theta = \int_0^{t} 10t^2\, dt$$
$$\theta = 3.33\, t^3\ \text{rad} \qquad \textit{Yanıt}$$

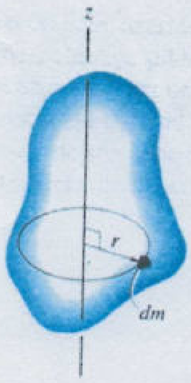
bulunur.

- 38/7 -

17.1 Eylemsizlik Momenti

Cisimler belirli bir hacim ve şekle sahip olduğundan, farklı noktalara uygulanan bir kuvvet sistemi bir cismin hem ötelenmesine hem dönmesine neden olabilir. Hareketin ötelenme ile ilgili kısmı Bölüm 13'te incelendi; bu kısım $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ denklemiyle belirlenir. Kesim 17.2'de, M momentinin neden olduğu dönme ile ilgili kısmın $\mathbf{M} = I\alpha$ şeklindeki bir denkleme tabi olduğu gösterilecektir. Bu denklemdeki I sembolüne eylemsizlik momenti denir. İki denklem karşılaştırılırsa, *kütlenin* cismin *ivmeye* direncinin bir ölçüsü ($\mathbf{F} = m\mathbf{a}$) olması gibi, eylemsizlik momenti de cismin açısal ivmeye direncinin bir ölçüsü ($\mathbf{M} = I\alpha$) olduğu anlaşılır.

Eylemsizlik momentini, cismi meydana getiren bütün dm kütle elemanlarının bir eksene göre "ikinci momentinin" integrali olarak tanımlıyoruz.* Örneğin, Şekil 17–1'de gösterilen rijit cismi ele alalım. Cismin z eksenine göre eylemsizlik momenti



Şekil 17–1

$$I = \int_m r^2\, dm \tag{17–1}$$

dir. Burada, r "moment kolu" eksenden keyfi dm elemanına olan dik uzaklıktır. Formül r içerdiğinden, I'nin değeri hesaplandığı eksene göre değişir. Örneğin, eksen ince bir çubuğun kendi ekseni ile çakışıyorsa I küçük olacaktır, çünkü çubuğun her bir elemanı için r küçüktür. Eksen çubuğa dikse, çubuk eksenden uzakta bulunan daha büyük kütleye sahip olduğundan, I büyük olacaktır. Düzlemsel kinetiğin incelenmesinde, genellikle analiz için seçilen eksen cismin G kütle merkezinden geçer ve daima hareket düzlemine diktir. Bu eksene göre hesaplanan eylemsizlik momenti I_G ile gösterilecektir. Denklem 17–1'de r'nin karesi yer aldığından, kütle eylemsizlik momenti daima pozitiftir. Birimi $\text{kg} \cdot \text{m}^2$'dir.

* Bir koordinat sistemine göre cismin kütlesinin simetrikliğini ölçen, cismin diğer bir özelliği çarpım eylemsizlik momentidir. Cismin üç boyutlu hareketine uygulanan bu özellik Bölüm 21'de ele alınacaktır.

TEMEL FİZİK
FISHBANE - GASIOROWICZ - THORNTON Cilt: 1
Prof. Dr. Cengiz YALÇIN
- 38/8 -

9-3 DÖNME HAREKETİ KİNETİK ENERJİSİ

Dönen bir topun kütlesi hareket halindedir. Dolayısıyla topun ya da dönen herhangi bir cismin **kinetik dönme enerjisi** vardır [Şekil (9-10)]. Şekil (9-11)'de z ekseni etrafında ω açısal hızı ile dönen cismi göz önüne alalım. Koordinat sistemi merkezini gelişigüzel seçerek cismi, i indisi ile belirlenmiş ve kütlesi Δm_i olan parçalara ayıralım. Başka bir ifade ile cismi ayrı ayrı parçalardan oluşan bir küme olarak düşünelim. Bu durumda cismin toplam kinetik enerjisi,

$$K = \sum_i K_i = \frac{1}{2}\sum_i \Delta m_i\, v_i^2.$$

Her bir kütle parçası z ekseni etrafında ω açısal hızı ile döndüğünden, her bir elemanın hızı $v_i = R_i\omega$'dır. Şekil (9-11)'de görüldüğü gibi R_i uzunluğu, dönme ekseni ile kütle parçası arasındaki *dik uzaklıktır*. v_i hız değerinin kinetik enerji bağıntısında yerine koyulmasıyla,

$$K = \frac{1}{2}\sum_i \Delta m_i\, R_i^2\omega^2. \qquad (9\text{–}13)$$

Buradan anlaşılacağı üzere dönen bir cismin kinetik enerjisi ω^2 ile doğru orantılıdır. Bu bağıntı,

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2, \qquad (9\text{–}14)$$

şeklinde de yazılabilir ve burada I,

$$I \equiv \sum_i \Delta m_i\, R_i^2 \qquad (9\text{–}15)$$

ile verilir ve katı cismin **eylemsizlik momenti** olarak tanımlanır. Boyutu $[ML^2]$, metrik sistemde birimi kg · m² dir. Eş. (9-15)'e göre, dönme eylemsizliği yalnızca dönme eksenine göre değil seçilecek olan herhangi bir eksene göre de tanımlanır. Bunun anlamı, *I'nın, R_i'nin ölçüldüğü eksene bağlı olmasıdır.*

$$I = mR^2. \qquad (9\text{–}16)$$

Eylemsizlik momenti bir eksene göre tanımlanmasına rağmen, dönme hareketinde, doğrusal harekette kütlenin yüklendiği işleve benzer bir işlev yüklenir. Nokta parçacığın kinetik enerjisi, kütlesi ile hızının karesi çarpımının yarısıdır, dönen bir cismin kinetik enerjisi ise eylemsizlik momenti ile açısal hızının karesi çarpımının yarısıdır; yani, $K_{\text{noktasal}} = mv^2/2$ ve $K_{\text{dönme}} = I\omega^2/2$'dir. Kütlenin hızdaki değişime göre cismin direncini ölçmesi gibi, eylemsizlik momenti de cismin açısal hızdaki değişime gösterdiği direnci belirlemektedir.

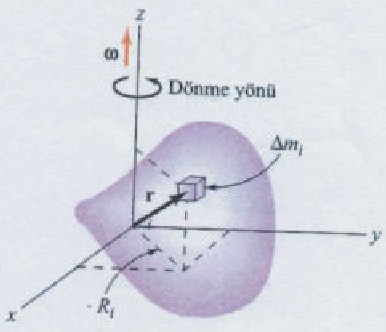
Kasnak, eylemsizlik momenti büyük olan dönen bir disktir ve büyük açısal hızlara ulaşabilir. Kasnak böylelikle enerji depolar. İsviçre hükümeti tarafından Zürich şehrinde elektrikli kasnak sistemi ile çalışan bir otobüs işletilmektedir. Otobüse monte edilmiş kasnak elektrik jeneratörüne güç vermekte ve üretilen elektrikle, tekerlekleri döndüren elektrik motorları çalıştırılmaktadır. Güzergahının sonunda otobüs Zürich elektrik dağıtım şebekesine bağlanarak jeneratörü, kasnağı hızlandıran bir motor görevi yapacak şekilde tersine çalıştırılmakta ve böylece dönüş yolu için yeterli enerji depolanabilmektedir.

Ayrı ayrı parçalardan oluşan sistemler için eylemsizlik momenti daha önce tanımlanmıştır. Bu parçaların sonsuz küçüklükteki hacim ve kütleye sahip olduğu, kütle

ŞEKİL 9–10 Uçuşan kıvılcımlar dönmekte olan tekerleğin bir kinetik enerjisi olduğunu göstermektedir.

Dönüş hareketinin kinetik enerji ifadesi ve eylemsizlik momentinin tanımı

Eylemsizlik momenti seçilen bir eksene göre tanımlanır.



ŞEKİL 9–11 z ekseni etrafında dönmekte olan bir katı cisim, i ile işaretlenmiş r_i konumuna sahip Δm_i kütleli küçük parçalara bölünmüştür ve i parçasının z eksenine olan uzaklığı R_i'dir.

UYGULAMA
Kasnaklar

ÖRNEK 10–7 Kütlesi M, ekseni etrafındaki dönme eylemsizlik momenti I ve yarıçapı da R olan bir makara, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle çözülerek açılmaktadır Şekil (10–23). İp h uzunluğu kadar çözüldüğünde, makara kütle merkezinin hızını bulunuz.

Çözüm: Makaranın toplam kinetik enerjisi, kütle merkezinin hareketinden kaynaklanan kinetik enerjiyle, kütle merkezi etrafındaki dönmeden kaynaklanan kinetik enerjisinin toplamıdır. Dolayısıyla,

$$K = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2.$$

Açısal hızla kütle merkezinin hızı arasındaki ilişki, kaymadan yuvarlanmakta olan bir silindirinkine denktir. Dolayısıyla,

$$v = R\omega.$$

Buna göre kinetik enerji;

$$K = \frac{1}{2}MR^2\omega^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}(MR^2 + I)\omega^2.$$

Paralel eksen teoreminin basit bir uygulaması bize, parantezin içindeki büyüklüğün, ipin makara yüzeyinden ayrıldığı nokta etrafındaki dönme eylemsizlik momentine eşit olduğunu gösterir.

Enerjiye olan bir başka katkı da yerçekiminden kaynaklanan potansiyel enerjiden gelir. Potansiyel enerji, makaranın ilk yüksekliğinden itibaren ölçülür. Bu durumda makara h kadar düştüğünde, potansiyel enerji $-Mgh$ kadar azalır ve makara da Mgh kadar bir kinetik enerji kazanır. İlk açısal hızı sıfır olan makaranın h kadar düştükten sonra sahip olacağı kinetik enerji;

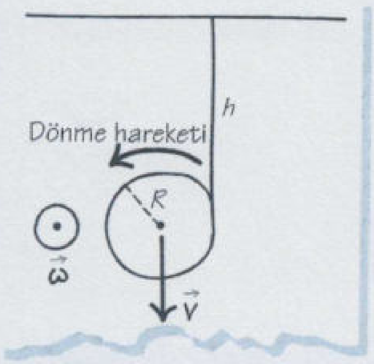
$$K = Mgh.$$

Dolayısıyla,

$$\frac{1}{2}(MR^2 + I)\omega^2 = Mgh.$$

Buradan da,

$$v = R\omega = R\sqrt{\frac{2Mgh}{MR^2 + I}}.$$



ŞEKİL 10–23 Örnek (10-7).

Dönme Hareketiyle Doğrusal Hareket Arasındaki Benzerlikler

Açısal momentumun vektörel özelliği göz önüne alındığında, dönme hareketinin klasik (kuantum mekaniksel olmayan) açıklamaları için, herhangi bir yeni fizik yasasına gerek olmadığı görülür. *Klasik fizikle ilgili olarak son iki bölümde elde edilen sonuçların tümü, Newton kanunlarının çeşitli parçacıklara doğrudan uygulanmasından başka bir şey değildir.* Hem katı hem de katı olmayan cisimlerin dönme hareketinin incelemeleri basitleştiren pek çok özelliği vardır; öyle ki bu tür hareketler, açısal hız, açısal momentum ve tork gibi türetilmiş büyüklükler cinsinden ifade edilir. Bir doğru boyunca hareketi tanımlayan kinematik büyüklükler ile dönme hareketini tanımlayan kinematik büyüklükler arasındaki benzerlikler, her iki hareketin de Newton kanunlarına uymaları nedeniyledir (Tablo 10–1).

*10–6 AÇISAL MOMENTUMUN KUANTUMLANMASI

Atomik boyuttaki ya da daha küçük boyutlardaki sistemlerde klasik fizik yerine, kuantum fiziği geçerli olur. Kuantum fiziğine göre: *açısal momentum sadece belirli kesikli değerlere alır* –buna açısal momentumun *kuantumlanması* denir. Çekirdekten kay-

X [cm] (Şek. 9)	t [sn] (Şek. 7,8,9)	y [cm] $y = x^2/30$ (Eş. 36; Şek. 9)	$3y$ [m/sn] $3y = 0,1x^2$ (Eş. 38; Şek. 9)	ϑ [m/sn] $\vartheta = 20 - 3y$ (Eş. 37; Şek. 9)	ϑ [m/sn] $\vartheta = -0,025t^2 + 1,5t - 2,5$ (Eş. 35; Şek. 7)	α_{azalan} [m/sn²] $\alpha_{azalan} = 3y/X$ (Eş. 39; Şek. 9)	α_{azalan} [m/sn²] $\alpha_{azalan} = -0,05t + 1,5$ (Eş. 34; Şek. 8)
10	10	3,333	10	10	10	1	1
9	12	2,7	8,1	11,9	11,9	0,9	0,9
8	14	2,13	6,4	13,6	13,6	0,8	0,8
7	16	1,63	4,9	15,1	15,1	0,7	0,7
6	18	1,2	3,6	16,4	16,4	0,6	0,6
5	20	0,83	2,5	17,5	17,5	0,5	0,5
4	22	0,53	1,6	18,4	18,4	0,4	0,4
3	24	0,3	0,9	19,1	19,1	0,3	0,3
2	26	0,13	0,40	19,6	19,6	0,2	0,2
1	28	0,033	0,1	19,9	19,9	0,1	0,1
0	30	0	0	20	20	0	0

Cetvel 1 - Farklı iki hesap yöntemince elde edilen toplu sonuçlar.

Denklem 40 ve 41 den dt yok edilerek, açısal ivme, açısal hız ve açısal yer değiştirme arasında diferansiyel

$$\| \ \alpha . d\theta = \omega . d\omega \qquad (42)$$

bağıntısı elde edilir.

P noktasının $d\theta$ açısal hareketinde alınan yol

$$\widehat{PP'} = r . d\theta$$

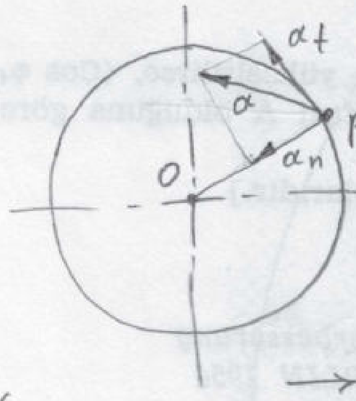
ve bu yol dt zaman aralığında alınıyor ise,

P noktasının hızı,

$$\frac{\widehat{PP'}}{dt} = r . \frac{d\theta}{dt}$$

$$\| \ v = r . \omega \qquad (43)$$

olur. P nin ivmesi, teğetsel ve normal bileşenler olarak ifade edilebilir, şöyleki; denklem 43'ün zamana göre türevini alarak



$$\frac{dv}{dt} = r . \frac{d\omega}{dt} + \omega . \frac{dr}{dt}$$

(Burada $\vec{OP} = \vec{r}$ yer vektörü veya konum vektörüdür)

$$\left.\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= \alpha \\ \frac{d\omega}{dt} &= \alpha \\ \frac{dr}{dt} &= v \end{aligned}\right\} \text{ ile}$$

Koepe İhraç SİSTEMİ

- III -

Ana Kaynak : Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe ihraç Sistemi. EKİ.)

(6) Adet.

$$a = r \cdot \alpha + \omega \cdot v$$

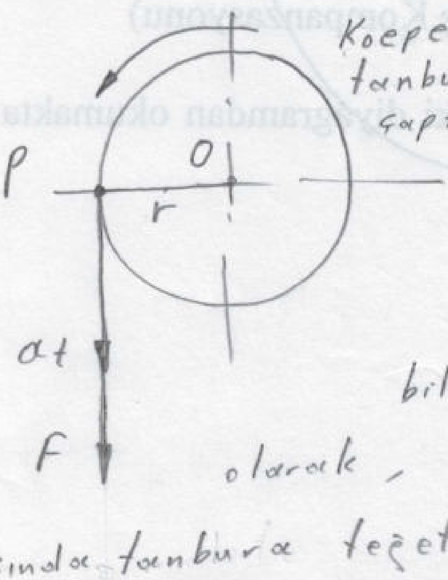
$$a = r \cdot \alpha + \omega \cdot (r \cdot \omega)$$

$$\| \; a = r \cdot \alpha + \omega^2 \cdot r = a_t + a_n \qquad (44)$$

elde edilir.

a_t – ivmenin teğetsel bileşeni hızın büyüklüğündeki değişim oranını zamana göre gösterir. Dairesel yörüngeye teğettir.

a_n – ivmenin normal bileşeni hızın doğrultusundaki değişim oranını zamana göre gösterir. a_n nin yönü O ya, dairesel yörüngenin merkezine doğrudur.



Şimdi, Koepe ihraç tanburunu düşünelim. P noktası bir dairesel yörüngede hareket eder ve dolayısıyla bu noktanın ivmesi hem teğetsel hem de normal bileşene sahiptir. Ancak burada özel olarak, halat tanbur üzerinde ve P noktasında tanbura teğettir. Dolayısıyla tanburun açısal ivmesi (44) eşitliği gereğince,

$$(a_P)_t = r \cdot \alpha$$

$$\| \; \alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{(a_P)_t}{r} \qquad 45)$$

dir.

Yani, azalan açısal ivme,

$$\alpha_{azalan} = \frac{a_{azalan}}{r} \quad rad/sn^2 \qquad (46)$$

olarak yazılabilir.

Bu arada Hasan ÖZOKLAV hocam ile, Serway-Beichner-Kemal Çolakoğlu Fizik 1'de yeralan ve ekte verilen konularında gözden geçirilmesinin yararlı olacağı kanısındayım.

Şimdi hesaplarımızı yapalım:

Koepe ihraç tanbur çapı; $D = \phi\, 7{,}50\, m$ (S: 20)

dolayısıyla r yarıçapı

$$r = 7{,}50\, m / 2 \longrightarrow r = 3{,}75\ m.$$

dir. Cetvel 1'e göre:

a_{azalan} $[m/sn^2]$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
α_{azalan} $[rad/sn^2]$	0,266	0,24	0,213	0,186	0,16	0,13	0,106	0,08	0,053	0,026	0

ve

$$\alpha_{azalan} = \frac{a_{azalan}}{3{,}75} = \frac{1}{3{,}75} = 0{,}266\ rad/sn^2$$

gibi, diğer azalan açısal ivme değerlerini de bulup yukarıdaki tabloya işleyelim.

8- Eylemsizlik momenti (veya Kütle eylemsizlik momenti);

Cismi meydana getiren bütün dm kütle elemanlarının bir eksene göre ikinci momentinin integrali olarak tanımlanır (S: 38/7). Şekil 10 da gösterilen rijit

KİNEMATİK Prof. Dr. Hasan ÖZBEKLAV

üzgün de-
önüne ala-

(11.18)

(11.19)

diyagramı
ne paralel
e bir doğ-

-42/1-

Çembersel hareket. P maddesel noktasının yörüngesi R yarıçaplı bir çember olsun. Bu harekete çembersel hareket denir. Bir çembersel harekette hareketin $s = s(t)$ şeklindeki doğal denkleminin verilişine göre, maddesel nokta bütün çemberi çizmeyip, çemberin yalnızca bir yayını çizebileceği gibi, aynı bir yayı pek çok defa da çizebilir. Eksen takımını Şekil 25 deki gibi seçelim. Ox ekseninin çemberi kestiği nokta A olsun. $s = \overset{\frown}{AP}$ eğrisel apsisini gözönüne alalım; çember kapalı bir eğri olduğuna göre s eğrisel apsisi $2n\pi R$ farkiyle belirlidir:

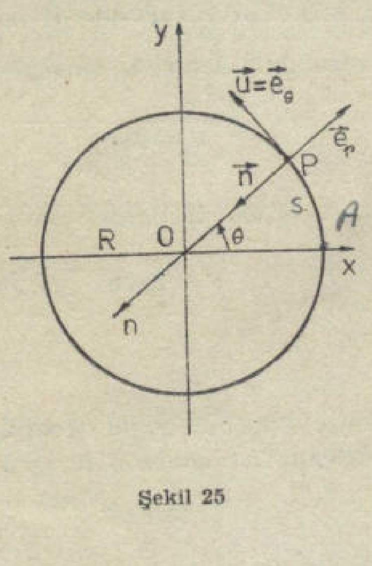
$$s = s_0 + 2n\pi R\,, \qquad n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots \tag{11.20}$$

yazılabilir. Aynı şekilde yarı-kutupsal koordinatlara ait θ açısını gözönüne alarak

$$\theta = \theta_0 + 2\pi n \qquad n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots \tag{11.21}$$

dir. s ve θ için uygun belirtmeler seçerek aralarında, θ açısı radyan ile ölçülmek şartiyle

$$s = R\theta \tag{11.22}$$



Şekil 25

-42/2-

bağıntısı oluşur. Sürekliliği sağlamak üzere θ veya s hareket boyunca izlenir. Yörünge olarak çember verildikten sonra hareketin de verilmiş olması için

$$s = s(t) \tag{11.23}$$

doğal denklemi verilmelidir; veya (11.22) den

$$\theta = \theta(t) = s(t)/R \tag{11.24}$$

bulunur. Çembersel hareketi, (x, y) kartezyen koordinat sisteminde

$$x = x(t) = R\cos\theta\,, \quad y = y(t) = R\sin\theta \tag{11.25}$$

veya (r, θ) yarı-kutupsal koordinat sisteminde

$$r = R\,; \quad \theta = \theta(t) \tag{11.26}$$

şeklinde verilmiş düşünebiliriz. Çembersel harekette skaler hızı hesabedelim;

$$v = \frac{ds}{dt} = R\,\frac{d\theta}{dt} \tag{11.27}$$

elde olunur. $\omega = \dfrac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \omega(t)$ türevine P maddesel noktasının, çembersel hareketinde açısal hızı denir; ω cinsinden skaler hız

$$v = R\omega \tag{11.28}$$

ve hız da, $\mathbf{u}$ çemberin teğetinin birimsel vektörü olduğuna göre

$$\mathbf{v} = R\omega\,\mathbf{u} \tag{11.29}$$

olarak bulunur.

Çembersel harekette ivmenin doğal koordinatlarını hesaplayalım; çemberde ρ eğrilik yarıçapı her noktada R yarıçapına eşittir; buna göre

-42/3-

$$a_u = \frac{d^2s}{dt^2} = R\,\frac{d^2\theta}{dt^2} = R\,\frac{d\omega}{dt}\,, \quad a_n = \frac{1}{\rho}\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 = R\omega^2 \qquad (11.30)$$

sonuçları elde olunur. $\dot{\omega} = \dfrac{d\omega}{dt}$ türevine açısal ivme denir. Sonuç olarak, çembersel harekette ivme,

$$\mathbf{a} = R\dot{\omega}\,\mathbf{u} + R\omega^2\mathbf{n} \qquad (11.31)$$

bağıntısiyle bulunacaktır. Çembersel harekette hız ve ivmenin ifadelerini (r, θ) yarı-kutupsal koordinatlarını kullanarak da bulabiliriz. Gerçekten çemberin merkezi, koordinatların başlangıç noktasında alınınca $\mathbf{u} = \mathbf{e}_\theta$, $\mathbf{n} = -\mathbf{e}_r$ olduğu Şekil 25 den görülüyor. Diğer taraftan çembersel harekette $r = R =$ sabit ve $\theta = \theta(t)$ olduğundan $\dot{r} = \ddot{r} = 0$ olur. Buna göre hız ve ivmenin yarı-kutupsal koordinat sistemindeki koordinatları kullanılarak ve $\dot{\theta} = \omega$, $\ddot{\theta} = \dot{\omega}$ yazarak

$$\mathbf{v} = R\omega\,\mathbf{e}_\theta = R\omega\,\mathbf{u}\,,$$

$$\mathbf{a} = -R\omega^2\,\mathbf{e}_r + R\dot{\omega}\,\mathbf{e}_\theta = R\dot{\omega}\,\mathbf{u} + R\omega^2\,\mathbf{n}$$

olmak üzere aynı sonuçlar elde olunur.

Çembersel harekette (11.25) bağıntılarını gözönüne alarak hız ve ivmenin kartezyen koordinatlarını da hesaplayabiliriz. $\theta = \theta(t)$ olduğu gözönüne alınarak (11.25) ifadelerinden zamana göre türev alarak

$$v_x = \dot{x} = -(R\sin\theta)\,\omega = -\omega y\,, \quad v_y = \dot{y} = (R\cos\theta)\,\omega = \omega x \qquad (11.32)$$

elde edilir; $\mathbf{a}$ ivmesinin koordinatları (11.32) bağıntılarından, tekrar zamana göre türev alarak

$$a_x = \ddot{x} = -\dot{\omega}y - \omega\dot{y} \quad ; \quad a_y = \ddot{y} = \dot{\omega}x + \omega\dot{x}$$

ve (11.32) bağıntılarından $\dot{x}$ ve $\dot{y}$ yerlerine konularak

$$a_x = \ddot{x} = -\dot{\omega}y - \omega^2 x \quad ; \quad a_y = \ddot{y} = \dot{\omega}x - \omega^2 y \qquad (11.33)$$

-42/4-

bulunur. Hız ve ivmenin kartezyen koordinatlarını kullanarak vektörel ifadelerini oluşturabiliriz. Gerçekten

$$\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} = -\omega y\mathbf{i} + \omega x\mathbf{j}$$

ifadesinde

$$\mathbf{i} = \mathbf{j} \wedge \mathbf{k} = -\mathbf{k} \wedge \mathbf{j} \quad \text{ve} \quad \mathbf{j} = \mathbf{k} \wedge \mathbf{i}$$

bağıntılarını koyalım. Burada **k** çember düzlemine dik birimsel vektördür. Buna göre

$$\mathbf{v} = \omega\mathbf{k} \wedge (x\mathbf{i} + y\mathbf{j})$$

veya $\overrightarrow{OP} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$ olduğundan

$$\mathbf{v} = \omega\mathbf{k} \wedge \overrightarrow{OP} \tag{11.34}$$

elde edilir; $\vec{\omega} = \omega\mathbf{k}$ vektörünü etki çizgisi Oz ekseni olan kayan vektör olarak tanımlayalım. (11.34) bağıntısını

$$\mathbf{v} = \overrightarrow{PO} \wedge \vec{\omega}$$

şeklinde yazabiliriz. $\mathbf{v}$ hızının P noktasına ait olduğunu $\mathbf{v}_P$ şeklinde yazarak ifade edersek

$$\mathbf{v}_P = \mathbf{M}_P \tag{11.35}$$

buluruz; burada $\mathbf{M}_P = \overrightarrow{PO} \wedge \vec{\omega}$ olarak $\vec{\omega} = (\vec{\omega}, Oz)$ kayan vektörünün P noktasına göre momentini göstermektedir. Böylece şu Teorem elde edilmiş olmaktadır.

TEOREM: Bir P maddesel noktasının çembersel hareketinde herhangi bir t anındaki hız, o anda tanımlanmış uygun bir $\vec{\omega}$ kayan vektörünün P noktasına göre momentine eşittir; bu kayan vektörün etki çizgisi çemberin merkezinden geçen ve çember düzlemine dik olan Oz eksenidir ve $\vec{\omega}$ nın bu eksene göre koordinatı açısal hıza eşittir.

- 42/5 -

İvmeye gelince, (11.33) bağıntıları kullanılarak

$$a = (-\dot{\omega} y i + \dot{\omega} x j) - \omega^2 (x i + y j)$$

veya

$$a = \overrightarrow{PO} \wedge \dot{\vec{\omega}} - \omega^2 \overrightarrow{OP} \tag{11.36}$$

şeklinde yazılabileceği kolayca görülür.

Düzgün çembersel hareket. Yörüngenin bir çember olduğunu ve hareketin düzgün olduğunu varsayalım. Hareketin düzgün olması

$$s = \alpha t + \beta$$

olması demektir; çembersel hareketle $s = R\theta$ olduğundan

$$\theta = \frac{s}{R} = \omega_0 t + \theta_0 \quad \left(\omega_0 = \frac{\alpha}{R}, \quad \theta_0 = \frac{\beta}{R}\right) \tag{11.37}$$

bulunur. $\omega_0 \neq 0$ olmak üzere ω_0 ve θ_0 birer sabiti göstermektedir. Düzgün çembersel harekette açısal hızın

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \omega_0 \tag{11.38}$$

olmak üzere sabit olduğu bulunur. Eğer $\omega_0 > 0$ ise, $\frac{d\theta}{dt} > 0$ olur ve θ daima artacağından P maddesel noktası çemberi pozitif yönde devreder, $\omega_0 < 0$ ise $\frac{d\theta}{dt} < 0$ olup θ daima eksilir ve çember negatif yönde devredilir. Demek ki düzgün çembersel hareketle, çemberin tamamı yörüngedir ve hareket, çember daima aynı yönde devredilecek şekilde oluşur.

$\omega = \omega_0 =$ sabit olduğundan düzgün çembersel harekette açısal ivme daima sıfırdır:

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = 0 \tag{11.39}$$

-42/6-

$$a_u = R\dot{\omega} = 0 . \qquad (11.40)$$

Düzgün çembersel harekette hız ve ivme

$$\mathbf{v} = R\omega_0 \mathbf{u} \quad ; \quad \mathbf{a} = R\omega_0 \mathbf{n} \qquad (11.41), (11.42)$$

şeklindedir ve bu bağıntılardan görüldüğü gibi hem hızın hem de ivmenin şiddeti sabittir. Düzgün çembersel harekette P maddesel noktasının kartezyen koordinatları

$$x = R\cos(\omega_0 t + \theta_0) \quad ; \quad y\ R\sin(\omega_0 t + \theta_0) \qquad (11.43)$$

olur.

Düzgün çembersel hareket periyodik bir harekettir, önce periyodik bir hareketi genel olarak tanımlayalım.

Periyodik hareketin tanımı:

t zamanının $f = f(t)$ fonksiyonunu gözönüne alalım. Eğer her t için

$$f(t + T) = f(t) \qquad (11.44)$$

olacak şekilde bir T sayısı varsa, f(t) fonksiyonu periyodiktir, denir; T ye periyod adı verilir. Kolayca görülür ki T periyodsa $-T$, $\pm 2T$, $\pm 3T, \ldots$, $\pm nT$ sayıları da periyoddur. Gerçekten (11.44) eşitliği her t için sağlanacağından $t_1 = t + T$ için de sağlanır:

$$f(t + T + T) = f(t + T) = f(t) \quad \text{ve}$$

$$f(t + 2T) = f(t)$$

bulunur; diğerleri benzer şekilde gösterilir. Bu bakımdan periyod tanımını pozitif ve en küçük olan değere ayırmak uygun olacaktır; örneğin bu anlamda sint nin peryodu 2π; tant nin periyodu π dir. Periyodik hareketin tanımına gelince

$$x = x(t) \quad , \quad y = y(t) \quad \text{ve} \quad z = z(t) \qquad (11.45)$$

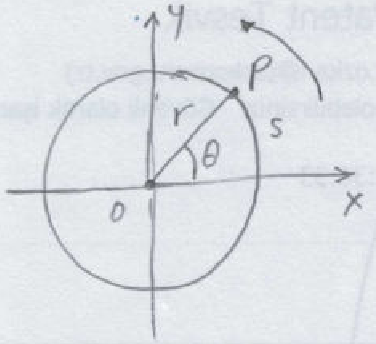
= 42/73

Serway - Beichner

Prof. Dr. Kemal ÇOLAKOĞLU

FİZİK 1

Açısal yerdeğiştirme, hız ve ivme:



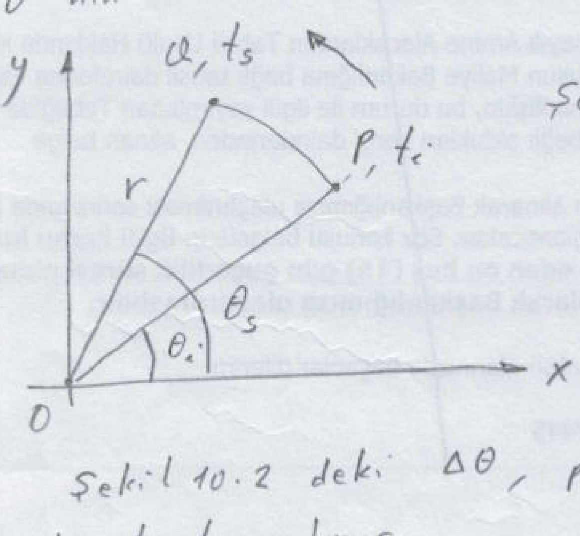
Şekil 10.1- O noktasından geçen ve şekil düzlemine dik olan sabit bir eksen etrafında (z-ekseni) katı bir cismin dönmesi. P noktasındaki parçacık O merkezli r yarıçaplı çember üzerinde döner.

Bir parçacık, pozitif x-ekseninden ($\theta = 0$) bir yay boyunca P noktasına s yay parçası kadar yer değiştirirse, bu yerdeğiştirme ile ona karşılık gelen açı arasındaki bağıntı

$$s = r \cdot \theta \qquad (10.1a)$$

$$\theta = \frac{s}{r} \qquad (10.1b)$$

şeklindedir. θ, boyutsuz bir sayı olup yaygın olarak θ nın birimi radyan (rad.) olarak alınır ($360^\circ = 2\pi$ rad.).



Şekil 10.2- Dönen katı cismin üzerindeki bir parçacık P den Q ya bir yay boyunca gider. $\Delta t = t_s - t_i$ zaman aralığında yarıçap vektörü $\Delta\theta = \theta_s - \theta_i$ açısını süpürür.

Şekil 10.2 deki Δθ, parçacığın açısal yerdeğiştirmesi olarak tanımlanır.

$$\Delta\theta = \theta_s - \theta_i \qquad (10.2)$$

Ortalama açısal hız $\bar{\omega}$, bu açısal yerdeğiştirmenin

Δt zaman aralığına oranı olarak tanımlarız:

$$\bar{\omega} \equiv \frac{\theta_s - \theta_i}{t_s - t_i} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \qquad (10.3)$$

Çizgisel hıza benzetilirse, ani açısal hız ω, Δt sıfıra giderken $\Delta\theta/\Delta t$ oranının limiti olarak tanımlanır:

$$\omega \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad [rad/sn \text{ veya } sn^{-1}] \qquad (10.4)$$

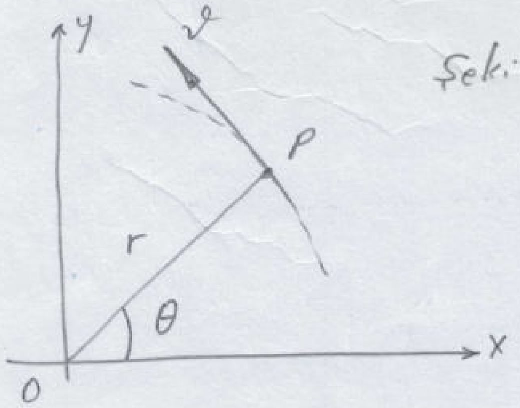
Bir cismin ani açısal hızı, Δt zaman aralığında ω_i den ω_s ye değişirse, cisim açısal ivme kazanır. Ortalama açısal ivme $\bar{\alpha}$, açısal hız değişiminin Δt zaman aralığına oranı olarak tanımlanır:

$$\bar{\alpha} \equiv \frac{\omega_s - \omega_i}{t_s - t_i} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \qquad (10.5)$$

ani açısal ivme ise,

$$\alpha \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad [rad/sn^2 \text{ veya } sn^{-2}] \qquad (10.6)$$

Açısal ve doğrusal nicelikler.



Şekil 10.4 - Bir katı cisim O dan geçen sabit eksen etrafında dönerken P noktası, r yarıçaplı daireşel yörüngeye daima teğet olan bir çizgisel hıza sahiptir.

P noktası bir daire çevresinde hareket ettiğinden, çizgisel hız vektörü v daima çember yayına teğettir.

Bu yüzden de teğetsel hız adını alır. P noktasının teğetsel hızının büyüklüğü $v = ds/dt$ dir. Burada s dairesel yay üzerinde alınan yoldur. $s = r.\theta$ ve $r = sabit$ ifadesini kullanarak

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dt}(r.\theta) = r.\frac{d\theta}{dt}$$

elde ederiz. $d\theta/dt = \omega$ olduğundan,

$$v = r.\omega \qquad (10.10)$$

bağıntısını yazabiliriz.

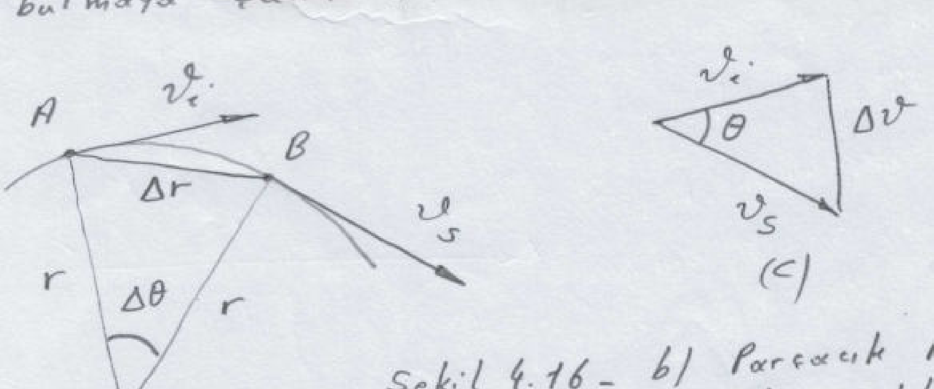
Dönen katı cismin açısal ivmesi ise,

$$a_t = \frac{dv}{dt} = r\frac{d\omega}{dt}$$

$$a_t = r.\alpha \qquad (10.11)$$

olur. Yani, dönen katı-cisim üzerindeki bir noktanın doğrusal ivmesinin teğetsel bileşeni, dönme eksenine olan uzaklıkla açısal ivmenin çarpımına eşittir.

Şimdi, dairesel yörüngede dönen bir noktanın, merkeze yönelik a_r merkezcil (radyal) ivmesini bulmaya çalışalım ve 4.16 b şeklini ele alalım.



Şekil 4.16 - b) Parçacık A dan B ye hareket ederken, hız vektörünün doğrultusu v_i den v_s ye değişir.
c) Küçük Δr için dairenin merkezine doğru olan, hızdaki Δv değişimi.

Burada cisim önce t_i zamanında ϑ_i hızıyla A noktasında ve sonra t_s zamanında ϑ_s hızıyla B noktasında görülmektedir. ϑ_i ve ϑ_s nin sadece doğrultularının farklı olduğunuda kabul ediyoruz. Büyüklükleri (yani $\vartheta_i = \vartheta_s = \vartheta$) aynıdır. Parçacığın ortalama ivmesi,

$$\bar{a} = \frac{\vartheta_s - \vartheta_i}{t_s - t_i} = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} \qquad (4.4)$$

olduğuna göre kenarları Δr ve r olan şekil 4.16 b deki üçgen ile şekil 4.16 c deki kenarları $\Delta\vartheta$ ve ϑ olan üçgen benzerdir dolayısıyla,

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta r} = \frac{\vartheta}{r}$$

ve

$$\Delta\vartheta = \bar{a} \cdot \Delta t \qquad (Eş.\ 4.4)$$

ile

$$\bar{a} = \frac{\vartheta}{r} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

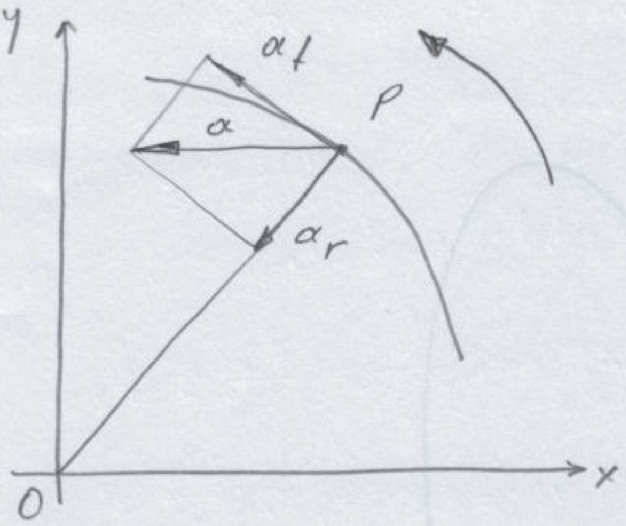
elde edilir. A ve B noktası birbirine yaklaşırken Δt sıfıra ve $\Delta r / \Delta t$ oranıda ϑ hızına yaklaşır. O halde, $\Delta t \to 0$ limitinde ivmenin büyüklüğü

$$a_r = \frac{\vartheta^2}{r}$$

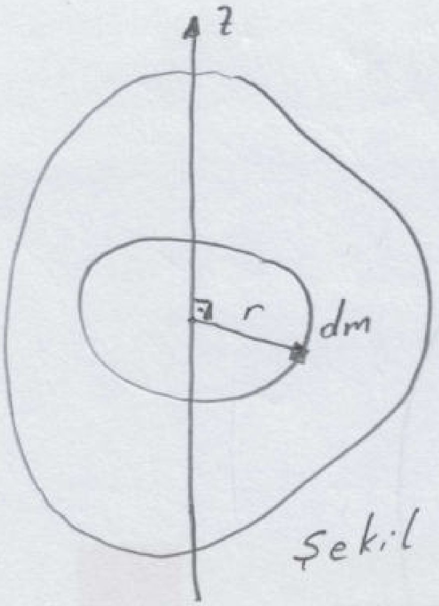
olur. P noktası için $\vartheta = r\,\omega$ olduğundan bu merkezcil (radyal) ivmeyi şu şekilde ifade edebiliriz:

$$a_r = \frac{\vartheta^2}{r} = r \cdot \omega^2 \qquad (10.12)$$

Şekil 10.5 de a_t ve a_r ivmelerini gösterelim.



Şekil 10.5 – Bir katı-cisim O'dan geçen sabit bir eksen etrafında dönerken P noktasının teğetsel ivme bileşeni α_t ve radyal (merkezcil) bileşeni α_r dir. Bu noktanın toplam ivmesi $\vec{\alpha} = \vec{\alpha_r} + \vec{\alpha_t}$ ve büyüklüğünde $\alpha = \sqrt{\alpha_t^2 + \alpha_r^2}$ veya $\alpha = \sqrt{r^2\alpha^2 + r^2\omega^4} = r\sqrt{\alpha^2 + \omega^4}$ olur.



Şekil 10 - Cismin z- eksenine göre eylemsizlik momenti

cismi ele alalım. Cismin z eksenine göre eylemsizlik momenti

$$\underline{I} = \int_m r^2 \, dm \quad [kg \cdot m^2] \tag{47}$$

dir.

Buna göre eylemsizlik momentleri :

- Koepe ihraç tanburu;

$$I_{K,i,t} = \frac{G_{K,i,t}}{g} \cdot r_{K,i,t}^2 = \frac{19100 \ kgf}{9,81 \ m/sn^2} \cdot \left(\frac{7,50}{2} m\right)^2$$

$$\| \underline{I_{K,i,t} = 27379,6 \ kg \cdot m^2 \cong 27380 \ kg \cdot m^2}$$

$$(1 kgf \cong 9,81 N = 9,81 \ kg \cdot m/sn^2)$$

- Koepe ihraç kuyusuna ait şövalman moletleri :

2 Ad. molet olduğuna göre,

$$I_{K,i,m} = 2 \cdot \frac{G_{K,i,m}}{g} \cdot r_{K,i,m}^2$$

$$I_{K,i,m} = 2 \cdot \frac{4400}{9,81} \cdot \left(\frac{7,56}{2}\right)^2$$

$$\| \; I_{k,i,m} = 12817 \text{ kg.m}^2$$

- Koepe ihraç motoru :

$$\| \; I_{k,i,mot.} = 24100 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{verilmiş})$$

- Toplam asılı yük :

$$P_1 + P_2 = 108205 \text{ kgf} \quad (S:24)$$

$$I_{t,a,y} = \frac{G_{t,a,y}}{g} \cdot (r_{k,i,t})^2$$

$$I_{t,a,y} = \frac{108205}{9,81} \left(\frac{7,50}{2}\right)^2$$

$$\| \; I_{t,a,y} \cong 155103 \text{ kg.m}^2$$

Toplam eylemsizlik momenti,

$$I_{top.} = I_{k,i,t} + I_{k,i,m} + I_{k,i,mot.} + I_{t,a,y}$$

$$I_{top} = 27380 + 12817 + 24100 + 155103$$

$$\| \; I_{top} = 219400 \text{ kg.m}^2$$

Ortalama, statik döndürme momenti,

$$M_{d,ort,st.} = F_{faydalı\,yük} \cdot r_{k,i,t}$$

$$M_{d,ort.st.} = 14000 \text{ kgf} \cdot \left(\frac{7,50}{2} \text{ m}\right)$$

$$\| \; M_{d,ort.st} = 52500 \text{ kgf.m}$$

Sürtünme momenti,

Genel verim, $\eta_G = \%\,85$ kabul edilirse,

$$\eta_G = \frac{M_{d,ort.st}}{M_{d,ort.st} + M_{sür.}}$$

$$0{,}85 = \frac{52500}{52500 + M_{sür.}}$$

$$M_{sür.} = \frac{52500 - 0{,}85 \cdot 52500}{0{,}85} = 52500\left(\frac{1-0{,}85}{0{,}85}\right)$$

$$\| \; \underline{M_{sür} \cong 9265 \text{ kgf.m}}$$

Max. döndürme momenti,

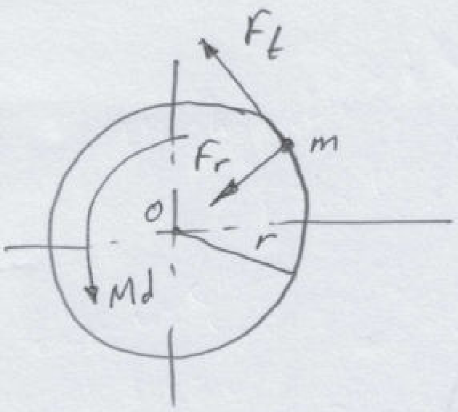
$$M_{d_{max.}} = M_{d,ort.st.} + M_{sür.} = 52500 + 9265$$

$$\| \; \underline{M_{d_{max.}} = 61765 \text{ kgf.m}}$$

olarak elde edilir.

Şimdi, döndürme momenti ile açısal ivme arasındaki bağıntıyı bulalım.

Şekil 11 deki gibi teğetsel bir F_t kuvveti ile radyal (merkezcil) F_r kuvveti etkisinde, r yarıçaplı bir daire çevresinde dönen m kütleli bir parçacığı ele alalım. Burada merkezcil kuvvet, parçacığı dairesel yörüngede harekette tutmak için mutlaka gereklidir.



Şekil 11- Teğetsel bir F_t kuvvetinin etkisiyle bir daire çevresinde dönen parçacık

Teğetsel kuvvet, teğetsel a_t ivmesini oluşturur,

$$F_t = m \cdot a_t$$

F_t kuvvetinin dairenin merkezine göre döndürme momenti,

$$M_d = F_t \cdot r = (m \cdot a_t) \cdot r$$

olur. Teğetsel ivme, açısal ivmeye,

$$a_t = r \cdot \alpha \quad (\text{Eşitlik } 45)$$

eşitliği ile bağlı olduğundan,

$$M_d = (m \cdot r \cdot \alpha) \cdot r$$

$$M_d = (m \cdot r^2) \cdot \alpha$$

olarak yazılabilir. mr^2 niceliğinin, orjinden geçen z eksenine göre dönen kütlenin eylemsizlik momenti olduğu hatırlanarak

$$M_d = I \cdot \alpha \qquad (48)$$

M_d	I	α
kgf.m	kg.m²	rad./sn²

bağıntısı elde edilir.

Görüldüğü gibi, $M_d = I \cdot \alpha$ eşitliği, Newton'un ikinci hareket kanunu $F = m \cdot a$ nın dönme hareketindeki benzeridir.

<u>Not.</u> Sabit bir eksen etrafında dönen katı
bir cisim üzerindeki her noktaya etkiyen kuvvet
ve bu noktaların çizgisel hız ve ivmeleri farklıdır;
fakat, bu noktaların açısal hız ve açısal ivmeleri
aynıdır. Bu nedenle, dönen katı bir cisim, bir
bütün olarak açısal ivme, açısal hız ve net
döndürme momenti (tork) ile tanımlanır (Fizik 1.
Serway - Beichner - Çolakoğlu S. 309)

Artık, hesaplanan; toplam eylemsizlik momenti
$I_{top} = 219400 \; kg.m^2$ (S: 44) ve azalan açısal ivme
α_{azalan} (S: 42) değerleri ile Eşitlik 48 den fayda-
lanarak azalan döndürme momenti Md_{azalan} için de
bir cetvel yapabiliriz.

α_{azalan} [rad./sn²]	0,266	0,240	0,213	0,186	0,160	0,130	0,106	0,08	0,053	0,026	0
Md_{azalan} [kgf.m]	58360	52656	46732	40808	35104	28522	23256	17552	11628	5704	0

Örnek: $\left.\begin{aligned} I_{top.} &= 219400 \; kg.m^2 \\ \alpha_{azalan} &= 0{,}266 \; rad/sn^2 \end{aligned}\right\} \begin{aligned} Md_{azalan} &= I_{top} \cdot \alpha_{azalan} \quad (Eş. 48) \\ Md_{azalan} &= 219400 \cdot 0{,}266 \end{aligned}$

$$Md_{azalan} = 58360 \; kgf.m$$

9- Koepe ihraç tanbur gücü (veya Koepe tanbur gücü).

Şekil 11'i Koepe ihraç tanburu olarak düşünelim.
Birim zamanda yapılan iş miktarı güç olarak
tanımlandığına göre, dt zaman aralığında dW
kadar iş yapan bir makina veya motor tarafından

üretilen güç,

$$P = \frac{dW}{dt}$$

dir. Cisim dt süresinde $ds = r \cdot d\theta$ kadar döndüğünde F_t teğetsel kuvvetin yaptığı iş

$$dW = F_t \cdot ds = F_t \cdot r \cdot d\theta$$

olur. (Burada radyal - merkezcil - kuvvet yerdeğiştirmeye dik olduğundan iş yapmadığına dikkat edilmelidir)

O noktasına göre F_t kuvvetinin döndürme momenti $M_d = F_t \cdot r$ olduğuna göre

$$dW = M_d \cdot d\theta$$

ve F_t kuvvetinin iş yapma hızı (güç)

$$\frac{dW}{dt} = M_d \frac{d\theta}{dt}$$

dW/dt niceliği, kuvvet tarafından aktarılan ani (anlık) güçtür dolayısıyla,

$$P = M_d \cdot \omega \tag{49}$$

olarak yazılabilir.

veya,

$$\left.\begin{array}{l} \omega = \dfrac{\pi n}{30} \\ M_d = F_t \cdot r \end{array}\right\} \rightarrow P = F_t \cdot r \cdot \frac{\pi n}{30} = F_t \cdot \underbrace{\frac{\pi D n}{60}}_{v_t}$$

$$P = F_t \cdot v_t \tag{50}$$

eşitliğinde kullanılabilir.

SI birim sisteminde kullanılan güç birimi W tır. Bu birim

$$1W = 1J/sn = 1 Nm/sn$$

olarak tanımlanır.

İngiliz mühendislik birim sisteminde güç birimi beygir gücü hp (BG) dır.

$$1BG = 746\ W$$

dır.

Şu halde Koepe tambur gücü

$$P_{Koepe.tan.} = F_t \cdot \vartheta_t \qquad \begin{array}{c|c|c} P_{Ko.tan.} & F_t & \vartheta_t \\ \hline W & N & m/sn \end{array}$$

$$P_{Koepe.tan.} = \frac{F_t \cdot \vartheta_t}{75} \qquad \begin{array}{c|c|c} P_{Ko.tan} & F_t & \vartheta_t \\ \hline BG & kgf & m/sn \end{array} \quad \text{---} (51)$$

$(1\ kgf = 9,81\ N$ veya $1 kgf \cong 10\ N)$

olarak yazılabilir.

Devam edelim,

$M_{d_{top.}} = F_t \cdot r$ olduğuna göre,

$$P_{Ko.tan.} = \frac{\vartheta_t}{75} \cdot \frac{M_{d_{top.}}}{r}$$

ve $r = 7,50m/2 = 3,75\ m.$ ile

$$P_{Ko.tan.} = M_{d_{top.}} \cdot \frac{\vartheta_t}{75 \cdot 3,75}$$

$$\| P_{Ko.tan} \cong M_{d_{top.}} \cdot \frac{\vartheta_t}{282} \qquad \begin{array}{c|c|c} P_{Ko.tan} & M_{d_{top.}} & \vartheta_t \\ \hline BG & kgf.m & m/sn \end{array} \quad \text{---} (52)$$

bulunur.

Hesaplayalım ve bir cetvelde gösterelim.

t [sn.]	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
v [m/sn]	10	11,9	13,6	15,1	16,4	17,5	18,4	19,1	19,6	19,9	20
$Md_{top.}$ [kpf.m]	120125	114421	108497	102573	96869	90287	85021	79317	73393	67469	61765
$P_{Ko.tan.}$ [BG]	4260	4828	5232	5492	5633	5602	5547	5372	5101	4761	4380

$$Md_{top.} = Md_{max.} + Md_{azalan}$$

olduğuna göre cetvel için bir örnek yapalım.

$$Md_{max} = 61765 \text{ kpf.m} \quad (S: 45)$$

$$Md_{az.} = 58360 \text{ kpf.m} \quad (S: 47)$$

$$Md_{top.} = 61765 + 58360$$

$$\| \; Md_{top.} = 120125 \text{ kpf.m}$$

$$P_{Ko.tan.} = Md_{top.} \cdot \frac{v}{282} = 120125 \, \frac{10}{282}$$

$$\| \; P_{Ko.tan.} \cong 4260 \text{ BG}$$

Benzer hesapla cetvel doldurulur.

10- Sabit hız, artan ve azalan ivme sürelerinde alınan yol;

Artan ve azalan ivme süresince alınan yol (mesafe), Şekil 7 veya Şekil 9 daki eğri ile $\overline{Ot}$ eksenin arasında kalan alandır.

• Artan ivme süresince alınan yol,

$$L_{artan} = S(\triangle OPC) = \frac{1}{2}\,\overline{OC}\cdot\overline{PC}$$

$$L_{artan} = \frac{1}{2}\, t_{OC}\cdot \vartheta_{PC} = \frac{1}{2}\, 10\,sn \cdot 10\,m/sn.$$

$$\| \underline{L_{artan} = 50\ m.}$$

• Azalan ivme süresince alınan yol,

$$f_2(t) = -0{,}025\,t^2 + 1{,}5\,t - 2{,}5 \qquad (10 \le t \le 30)$$

ve $f_1(t) = 0$ (t- ekseni)

eğrileri arasında kalan alandır.

$$L_{azalan} = \int_{10}^{30} [f_2(t) - f_1(t)]\,dt$$

$$L_{azalan} = \int_{10}^{30} [(-0{,}025\,t^2 + 1{,}5\,t - 2{,}5) - 0]\,dt$$

$$L_{azalan} = -0{,}025\,\frac{t^3}{3} + 1{,}5\,\frac{t^2}{2} - 2{,}5\,t \Big|_{10}^{30}$$

$$\| \underline{L_{azalan} \cong 333\ m.}$$

Artan ve azalan ivme süresince alınan yol

$$L_{art.az.} = L_{artan} + L_{azalan} = 50 + 333$$

$$\| \underline{L_{art.az.} = 383\ m.}$$

olarak bulunur.

Şekil 7 veya Şekil 9 yeniden ele alınırsa,

$$L_{art.az.} = S(\triangle OPC) + S(\square PNBC) + S(\square C'ANP)$$

$$L_{art.az.} = \frac{1}{2}\,\overline{OC}\,.\,\overline{OP} + \overline{PN}\,.\,\overline{PC} + \underbrace{\frac{2}{3}\,(\overline{AN}\,.\,PN)}_{\text{Taralı alan, yazılabilir}}$$

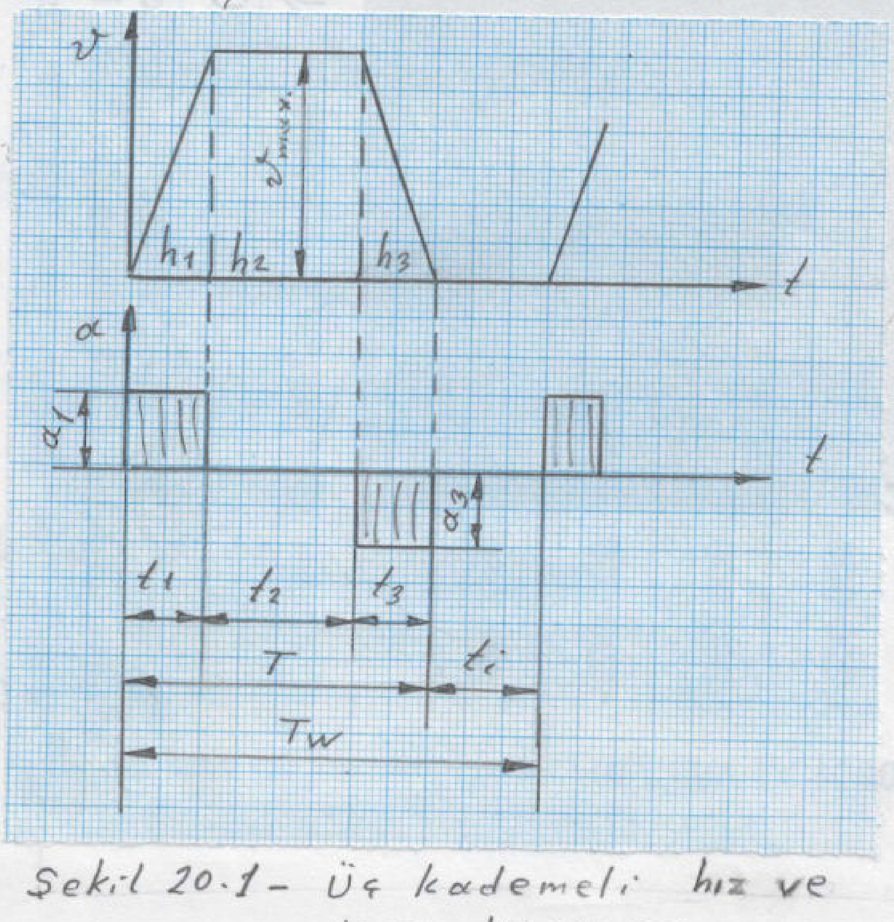
$$L_{art.az.} = \frac{1}{2}\,10 \cdot 10 + 20 \cdot 10 + \frac{2}{3}\,10 \cdot 20$$

$$L_{art.az.} = 50 + 200 + 133$$

$$\underline{\|\; L_{art.az.} = 383\ m.}$$

aynı sonuç bulunur. (integrasyon yöntemi daha matematikseldir)

- Mining Mechanical Engineering (R. Khadzhikov, S. Butakov) den :



Şekil 20.1 - Üç kademeli hız ve ivme diyagramı

$$h_1 = \frac{1}{2} v_{max} \cdot t_1 \quad \text{(20.13)}$$

$$t_1 = \frac{v_{max.}}{a_1} \quad \text{(20.12)}$$

$$h_3 = \frac{1}{2} v_{max.} \cdot t_3 \quad \text{(20.15)}$$

$$t_3 = \frac{v_{max.}}{a_3} \quad \text{(20.14)}$$

$$h_2 = H - h_1 - h_3 \quad \text{(20.16)}$$

$$t_2 = \frac{h_2}{v_{max.}} \quad \text{(20.17)}$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \quad \text{(20.18)}$$

Burada h [m], alınan yolu göstermektedir.

Herhangi bir hız diyagramlı sabit yarıçap tanbur_lu (silindirik) genel vinç sistemleri için eşdeğer kuvvet

$$F_{eq} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T'_w}} \quad \text{(22.4)}$$

şeklindedir.

Şekil 20 a ve c için

$$F_{eq} = \sqrt{\frac{(F_1^2 + F_1 \cdot F_2 + F_2^2)\frac{t_1}{3} + (F_3^2 + F_3 F_4 + F_4^2)\frac{t_2}{3} + (F_5^2 + F_5 F_6 + F_6^2)\frac{t_3}{3}}{0{,}5\,(t_1 + t_3) + t_2 + 0{,}25\, t_i}}$$

(22.3) eşitliği yazılır.

t_i – Durma süresi (şekil 20.1)

Hem yükleme (doldurma) hemde boşaltmada skipler için, kapasitelerine bağlı olarak aşağıdaki cetvelden alınır.

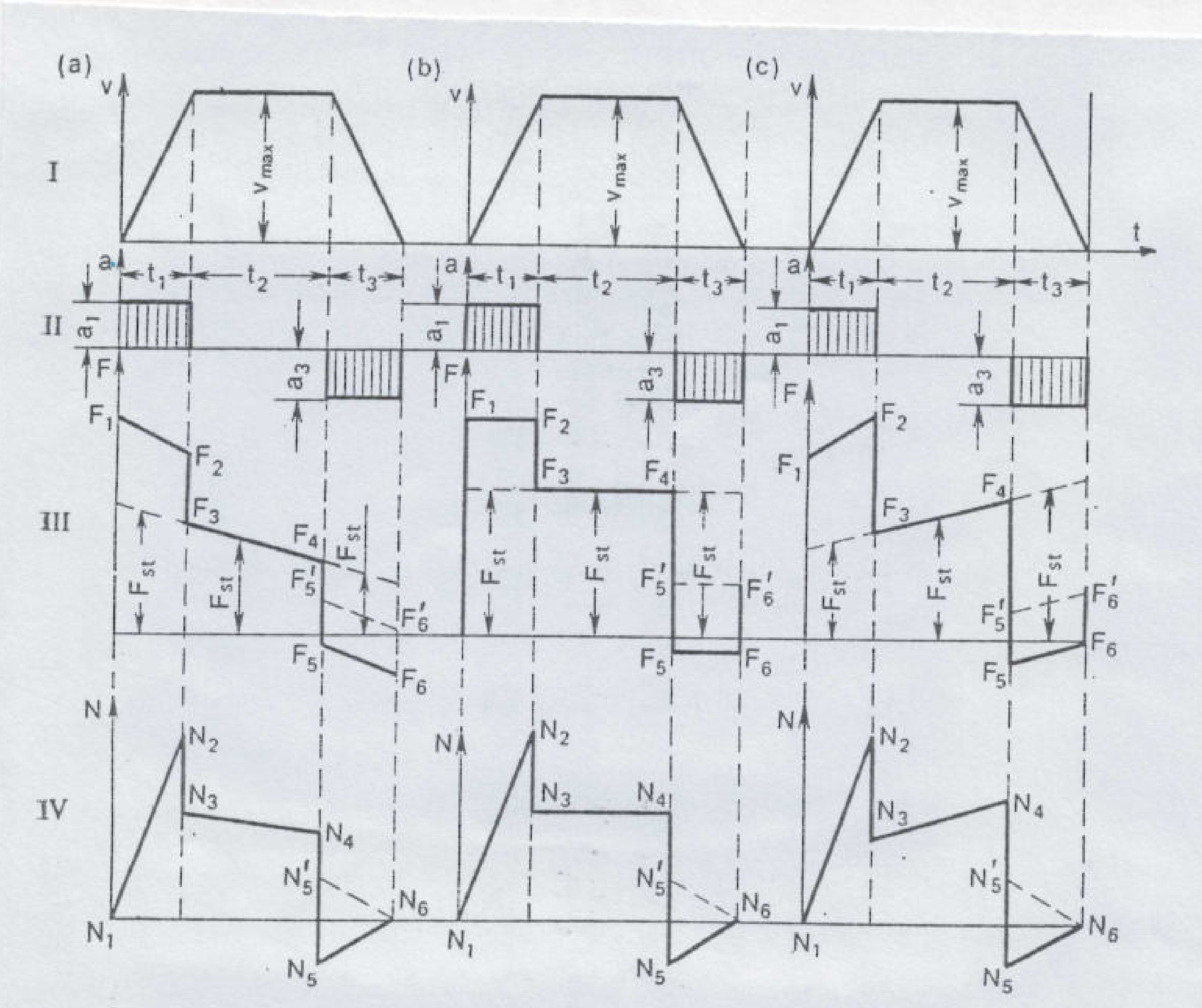


Fig. 20.6. Diagrams of hoisting systems with constant-radius winding members: *I*, speed; *II*, acceleration; *III*, tractive forces; *IV*, winding motor shaft power

Şekil 20.6- Sabit yarıçap tamburlu vinç sistemleri için diyagramlar:

I- Hız [m/sn]

II- ivme [m/sn^2]

III- Çekme kuvvetleri [N]

IV- Tambur motoru (ihraç motoru) mil gücü veya tahrik motoru mil gücü [kW]

a) Denge halatsız sistem $(q=0)$

b) Denge halatlı sistem $(q=p)$

c) Denge halatı ihraç halatından ağır sistem $(q-p)>0$

p- ihraç halatının birim ağırlığı [kgf/m]

q- Denge halatının birim ağırlığı [kgf/m]

Skip kapasitesi [m^3]	9,5	11	15	20	25	35	55
Duruş [sn.]	10	11	15	20	25	35	45

Kafesli vinçlerde duruş, komutun uygulanması için gerekli olan süre olup, platform uzunluğuna bağlı olarak şu şekildedir:

- Tek katlı kafeslerde : 19 ... 23 sn.
- Çift " " : 43 ... 51 sn.

Ayrıca t_i süresi,

İnsanlı/insansız olarak 5 kişi 1 m^2 taban alanını kaplarsa

- İnsan sayısı + 10 sn tek katlı kafeste
- İnsan sayısı + 25 sn. çift "

alınır. (S: 285-286)

Bu bilgilerden sonra tekrar konumuza dönelim:

- Kafes 1 seferini 92,5 saniyede tamamlıyordu yani; kafesin çevrim süresi veya zamanı 92,5 saniyedir (S: 28)

$$T_W = 92,5 \text{ sn.}$$

- Kafesin yukarı çekilmesi hareketinde toplam ivme (artan ve azalan) süresi ($\vartheta_{max.}$ sabit hıza erişinceye kadar geçen zaman)

$$t_1 = 30 \text{ sn} \quad (S: 29)$$

- Duruş süresi yani ocak arabalarının manevra süresi

$$t_i = 20 \text{sn.} \quad (S: 28)$$

• Şu halde net ihraç süresi,

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = T_W - t_i = 92{,}5 - 20$$

$$\| \; T = 72{,}5 \text{ sn.}$$

• Kafes yukarı çekilirken, ϑ_{max} hıza ulaşıncaya kadar aldığı yol,

$$\| \; L_{art.az.} = 383 \text{ m} \quad (S:51)$$

• Kafesin, $\vartheta_{max.} = 20$ m/sn hızda ve yavaşlama dolayısıyla durma süresince aldığı yol,

$$L_{sabit,hız} = \vartheta_{max} \cdot t_2$$

$$L_{azalan,hız} = \frac{1}{2} \vartheta_{max} \cdot t_3 \quad \text{(Yavaşlama - durma yolu)}$$

ihraç kuyusu derinliği 1050 m olduğuna göre,

$$L_{sabit,hız} + L_{azalan,hız} = 1050 - 383$$

$$\vartheta_{max} \cdot t_2 + \frac{1}{2} \vartheta_{max} \, t_3 = 667 \text{ m}$$

$$\vartheta_{max.} \left(t_2 + \frac{1}{2} t_3 \right) = 667$$

$$t_2 + \frac{1}{2} t_3 = \frac{667 \text{ m}}{20 \text{ m/sn}}$$

$$t_1 + t_2 + t_3 = 72{,}5 \text{ sn.}$$

$$t_2 + t_3 = 72{,}5 - 30 = 42{,}5 \text{ sn.}$$

$$42{,}5 - t_3 + \frac{1}{2} t_3 = \frac{667}{20}$$

$$42{,}5 - \frac{667}{20} = \frac{1}{2} t_3$$

$$\| \; t_3 = 18{,}3 \text{ sn.}$$

dolayısıyla sabit hız süresi,

$$t_2 = 72{,}5 - 30 - 18{,}3$$

$$\| \; t_2 = 24{,}2 \text{ sn.}$$

olur. Alınan yollar,

$$L_{sabit,\,hız} = v_{max} \cdot t_2 = 20 \cdot 24{,}2$$

$$\| \; L_{sabit,\,hız} = 484 \text{ m.}$$

$$L_{azalan,\,hız} = \frac{1}{2} v_{max} \cdot t_3 = \frac{1}{2} 20 \cdot 18{,}3$$

$$\| \; L_{azalan,\,hız} = 183 \text{ m}$$

Kontrol : $383 + 484 + 183 = 1050$ m.

Yavaşlamada veya frenlemede azalan ivme;

$$a_{yav.az.} = \frac{v_{max}}{t_3} \quad (S: 52, 53)$$

$$a_{yav.az.} = \frac{20 \text{ m/sn}}{18{,}3 \text{ sn.}}$$

$$\| \; a_{yav.az.} = 1{,}09 \text{ m/sn}^2$$

$$\| \; a_{yav.az} (= 1{,}09 \text{ m/sn}^2) < r_{max} (= 3{,}85 \text{ m/sn}^2)$$

uygundur. (S: 27)

Bulunan değerleri Şekil 12 üzerinde gösterelim ve özetliyelim :

Hızlanma devresi : $t_1 = 30$ sn. , $L_1 = 383$ m.

Sabit hız devresi : $t_2 = 24,2$ sn. , $L_2 = 484$ m.

Yavaşlama (frenleme) devresi : $t_3 = 18,3$ sn. , $L_3 = 183$ m.

Yavaşlamada veya frenlemede, azalan açısal ivme;

$$\alpha_{azalan} = \frac{a_{azalan}}{r} \quad \text{(Eşitlik 46)}$$

$$\alpha_{yav.az.} = \frac{1,09 \ m/sn^2}{3,75 \ m}$$

$$\alpha_{yav.az.} = 0,29 \ rad./sn^2$$

veya,

Koepe ihraç tanburunun;

- Max. devir sayısı,

$$v_{max.} = \frac{\pi D . n_{max.}}{60}$$

$$n_{max.} = \frac{20 m/sn . 60}{\pi . 7,50 m.}$$

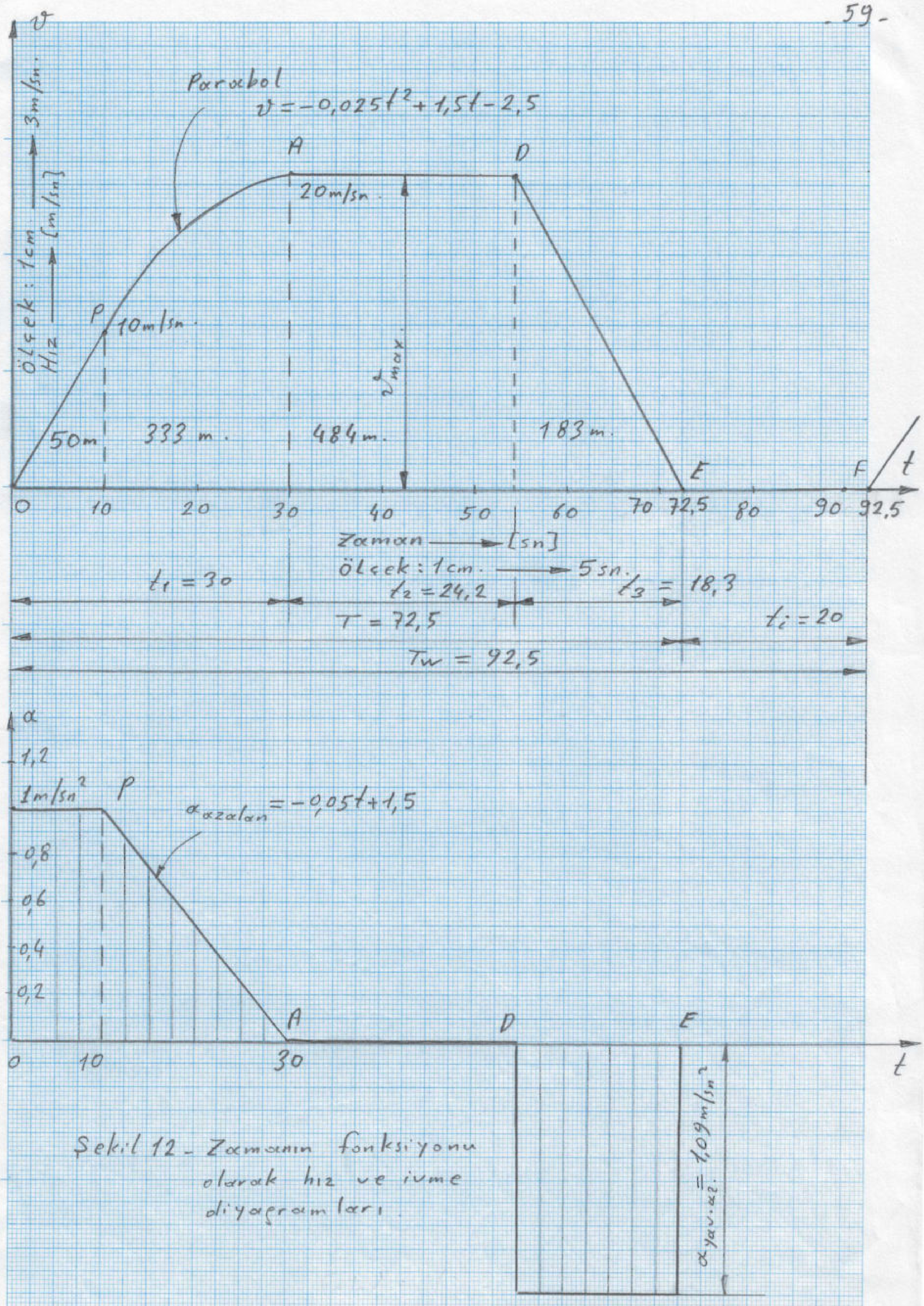
$$n_{max.} = 51 \ d/d.$$

- Max. açısal hızı,

$$\omega_{max.} = \frac{\pi . n_{max.}}{30}$$

$$\omega_{max.} = \frac{\pi . 51}{30}$$

$$\omega_{max.} = 5,34 \ rad./sn$$



Şekil 12 - Zamanın fonksiyonu olarak hız ve ivme diyagramları

α açısal ivmesi, açısal hızın zamana göre değişim oranıdır

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{(Eşitlik 41)}$$

$$\alpha_{yav.az.} = \frac{5{,}34 \text{ rad./sn.}}{18{,}3 \text{ sn.}}$$

$$\| \alpha_{yav.az.} = 0{,}29 \text{ rad/sn}^2$$

Aynı sonuç bulunur. (ω, $\vartheta = r.\omega$ formulündende bulunabilir)

Yavaşlamada azalan açısal ivmeye karşılık gelen döndürme momenti,

$$M_d = I.\alpha \quad \text{(Eşitlik 48)}$$

$$M_{d_{yav.az.}} = I_{top.} \cdot \alpha_{yav.az.}$$

$$M_{d_{yav.az.}} = 219400 \text{ kg.m}^2 \cdot 0{,}29 \text{ rad/sn}^2$$

$$\| M_{d_{yav.az.}} = 63626 \text{ kgf.m}$$

Yavaşlamada azalan ivme süresince net döndürme momenti,

$$M_{d_{net.}} = M_{d_{max.}} - M_{d_{yav.az.}} = 61765 - 63626$$

$$\| M_{d_{net.}} = -1861 \text{ kgf.m}$$

Koepe İhraç SİSTEMİ

- IV -

Ana Kaynak : Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe İhraç Sistemi. EKİ.)

(6) Adet.

Bu momente karşılık gelen güç,

$$P_{d_{net}} = M_{d_{net}} \cdot \frac{v}{282} \quad \text{(Eşitlik 52)}$$

$$P_{d_{net.}} = -1861 \cdot \frac{20}{282}$$

$$\| P_{d_{net.}} \cong -132 \text{ BG}$$

dür.

Bulunan değerleri Şekil 13 üzerinde, sayfa 50 deki cetveldende faydalanarak gösterelim ve zamanın fonksiyonu olarak döndürme momenti ile güç diyagramlarını çizelim.

0 - 10 sn. aralığında $M_d(t)$ eğrisi nasıl olacak ona bakalım. 0-10 sn. aralığında, $a_{artan} = 1 m/sn^2$ dolayısıyla açısal ivme

$$\alpha_{(0-10)sn} = \frac{a_{(0-10)sn}}{r} = \frac{1}{3{,}75} = 0{,}266 \text{ sabit.}$$

olup bu değere bağlı olarak,

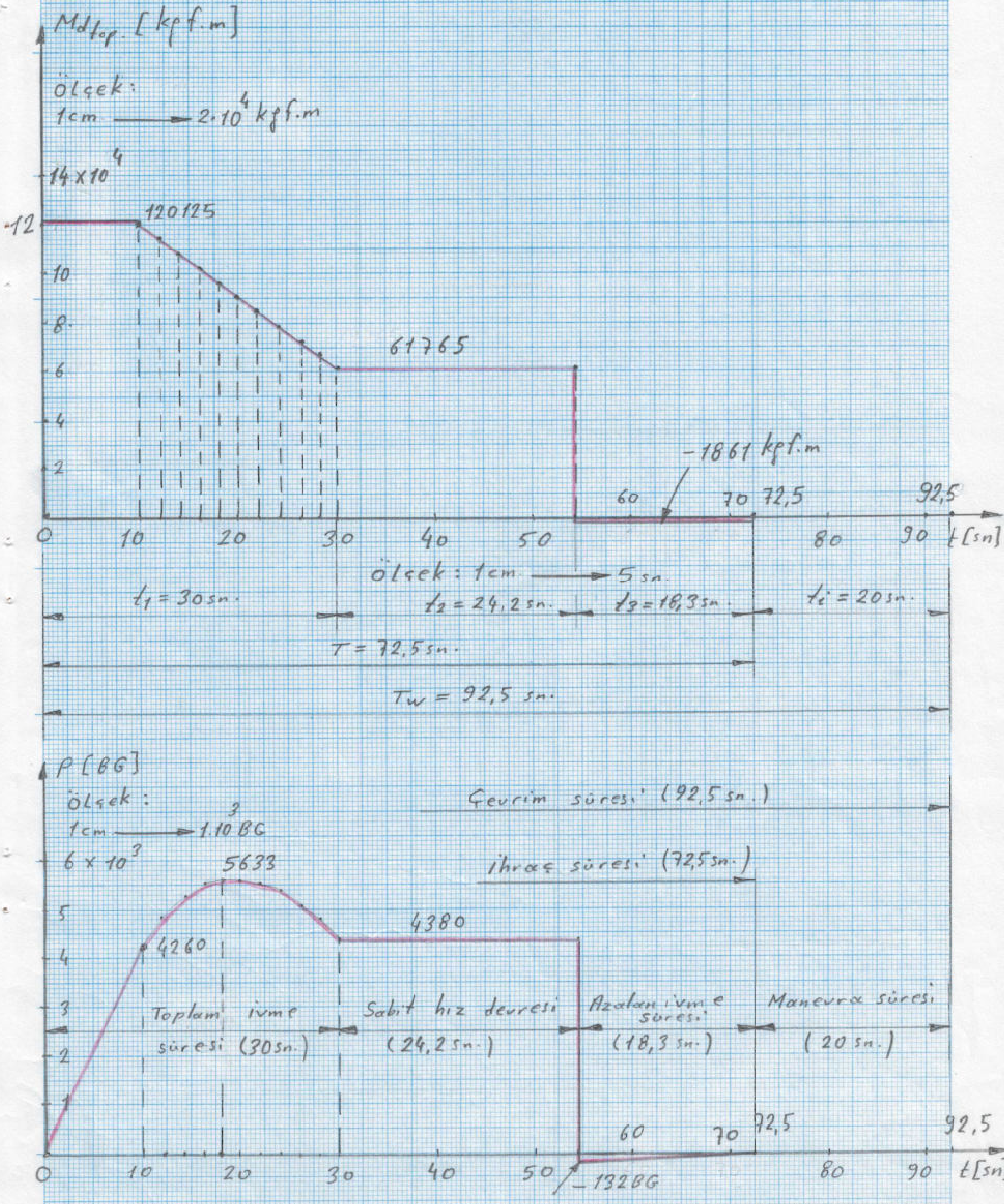
$$Md_{top(0-10)sn.} = Md_{max.} + Md_{(0-10)sn.}$$

$$= \underbrace{61765}_{(S:45)} + \underbrace{58360}_{(S:47)}$$

$$\| Md_{top.(0-10)sn.} = 120125 \text{ kgf.m}$$ sabittir. yani $Md(t)$ eğrisi 0-10 sn. aralığında yatay bir doğrudur.

Aşağıdaki yönteme göre de hesaplıyabiliriz:

(0 - 10) sn. aralığında,



Şekil 13 - Zamanın fonksiyonu olarak döndürme momenti ve güç diyagramları.

$v = 1.t$ (Şekil 12. $t = 10$ sn. $\rightarrow v = 10$ m/sn)

$P = 426.t$ (Şekil 13. $t = 10$ sn. $\rightarrow P = 4260$ BG)

Her iki fonksiyonda lineer birer doğrudur.

$t = 1$ sn. $v_1 = 1$ m/sn. $P_1 = 426$ BG

$t = 2$ sn. $v_2 = 2$ m/sn. $P_2 = 852$ BG

$t = 5$ sn. $v_5 = 5$ m/sn. $P_5 = 2130$ BG

$$n_1 = \frac{60 \cdot v_1}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 1}{\pi \cdot 7,5} = 2,546 \text{ d/d}$$

$$n_2 = \frac{60 \cdot 2}{\pi \cdot 7,5} \cong 5,1 \text{ d/d.}$$

$$n_5 = \frac{60 \cdot 5}{\pi \cdot 7,5} = 12,73 \text{ d/d.}$$

Bu tambur devirlerine karşılık gelen döndürme momentleri,

$$Md = 716,20 \frac{P}{n} \qquad \frac{Md}{\text{kgf.m}} \Big| \frac{P}{\text{BG}} \Big| \frac{n}{\text{d/d}} \quad \text{———} \quad (53)$$

$$Md_1 = 716,2 \cdot \frac{426}{2,546} \cong 120000 \text{ kgf.m}$$

$$Md_2 = 716,2 \frac{852}{5,1} \cong 120000 \quad ''$$

$$Md_5 = 716,2 \frac{2130}{12,73} \cong 120000 \quad ''$$

Görüldüğü gibi 0-10 sn. aralığında döndürme momenti sabittir.

Diyagramlarla ilgili bir uygulama, S: 63/1 ve S: 63/2 de verilmiştir.

SIEMENS

Kozlu, Kuyu I

TS 2544/6071

-63/1a-

İşletme Durumları

- 425 m Katı

Kuyu	439	m.
Hareket yolu	439	m.
Malzeme naklindeki faydalı yük	9000	Kg.
İnsan naklindeki faydalı yük (68 kişi)	5100	Kg.
Nakil sür'ati	10,8	m/s
Nakil fasılası	26	s
Sefer adedi) Beher saattaki malzeme naklinde	* 46,5	
Nakil takatı)	420	t
Ara parçası ile beraber bir ihraç kafesinin ağırlığı	10250	Kg.
Boş bir arabanın ağırlığı	2000	Kg.
Her kafesteki kat adedi	2	
Her kafesteki araba adedi	1	
Malzeme nakliyatında kullanılan sahanlık adedi	1	
İnsan naklindeki sahanlık adedi	2	
Nakil halatının kutru	44	mm
Nakil halatının beher metresinin ağırlığı	11,23	Kg.
Nakil halatının kopma yükü	195000	Kg.
Malzeme naklinde kopmaya karşı emniyet emsali	7,35	
İnsan naklinde kopmaya karşı emniyet emsali	9,35	
Tanburun kutru	4,50	
Tanburun devir adedi	45,9	d./dak,
Muharrik motorun devir adedi	45,9	d./dak.

İhraç, iki taraflı olarak ve alt kısımda halatsız

Tesisata bağlanmak üzere 3 kV, 50 Hz ve 500 V, 50 Hz Trifaze cereyan emre âmâdedir.

1510 kw. 46 d/d.

* 1 saatta 46,5 sefer

$1 sefer = \frac{3600}{46,5} \simeq 77,3''$ dir.

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT

SSW 606 Zeichn.-Vordruck 750 x 50 12. 53 1815

SIEMENS

TS25 Bergbau

Kozlu shaft I

425 m level

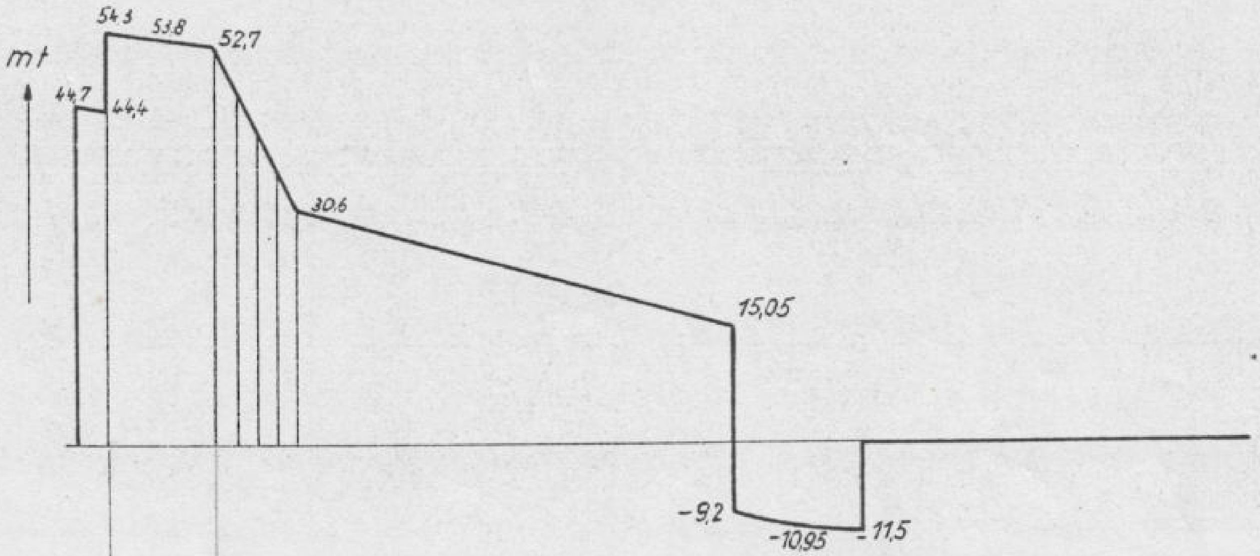
2544/6071

5.5.53. Gli

- 63/1b -

Diagram of torques of the hoisting motor.

Effective torque: 28 m tons



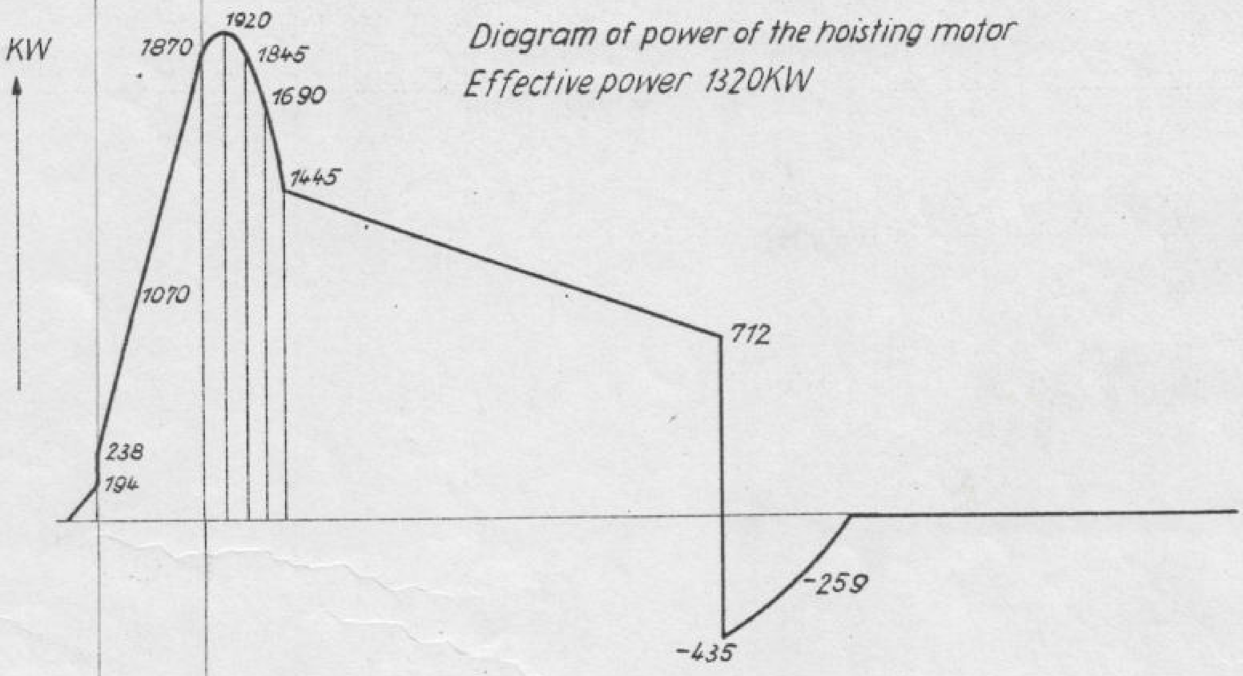
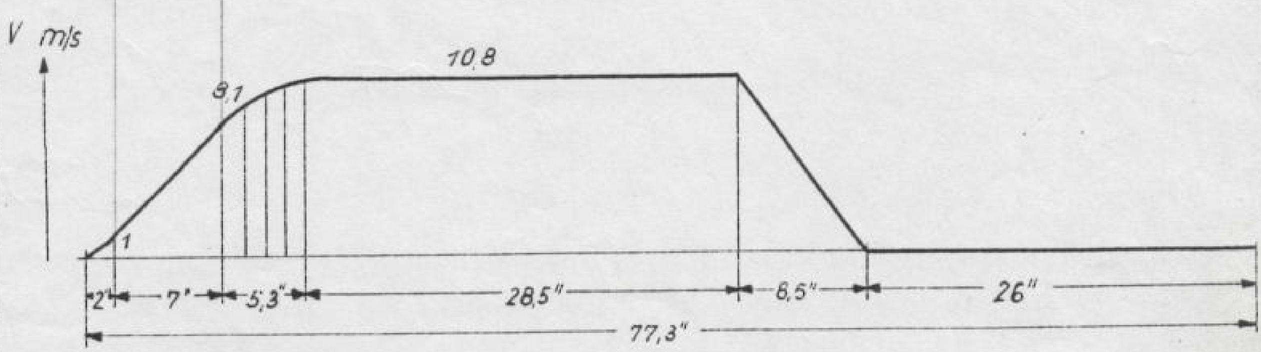


Diagram of speed



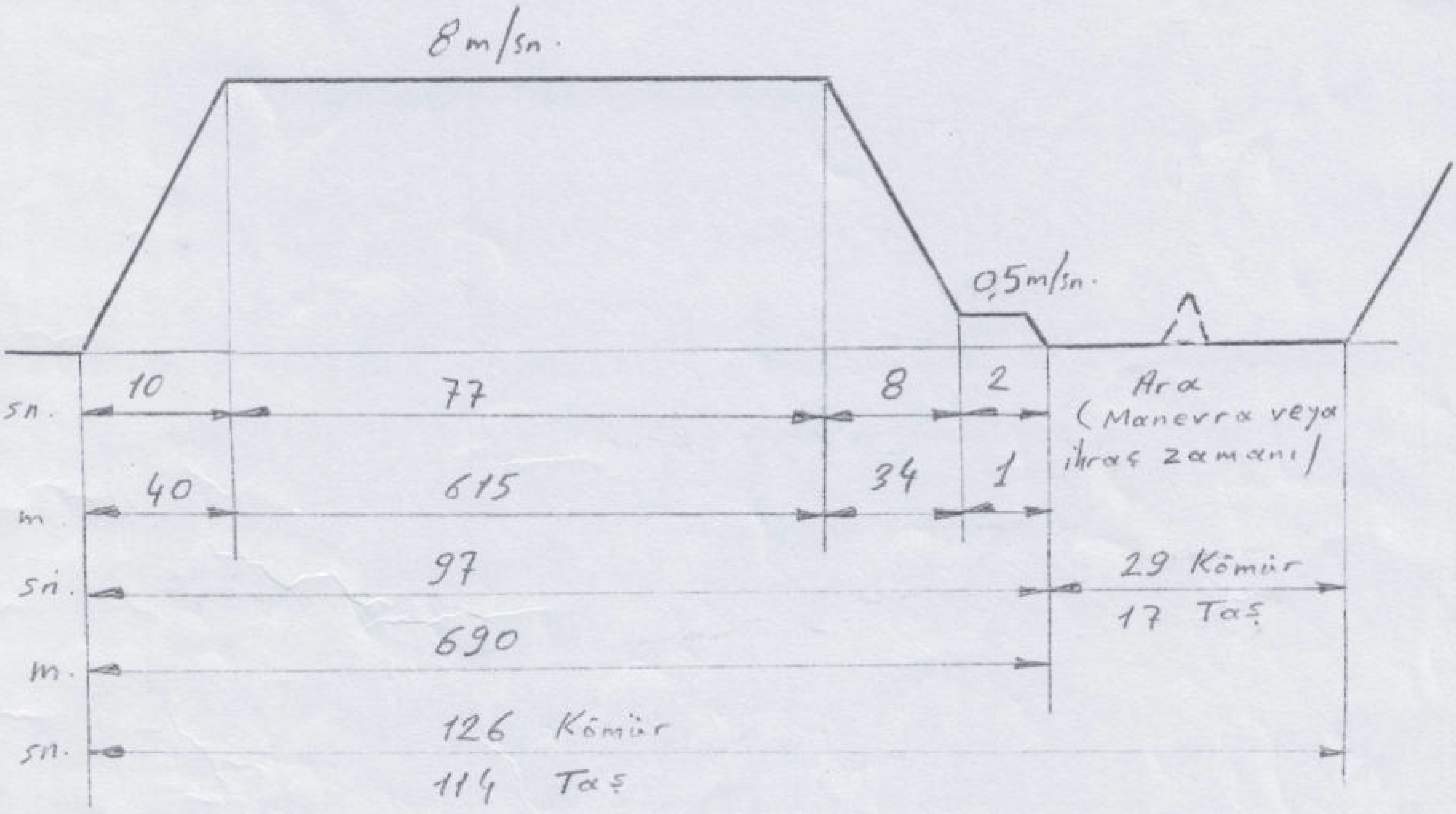
Sekil 1

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT

4TS41K12793

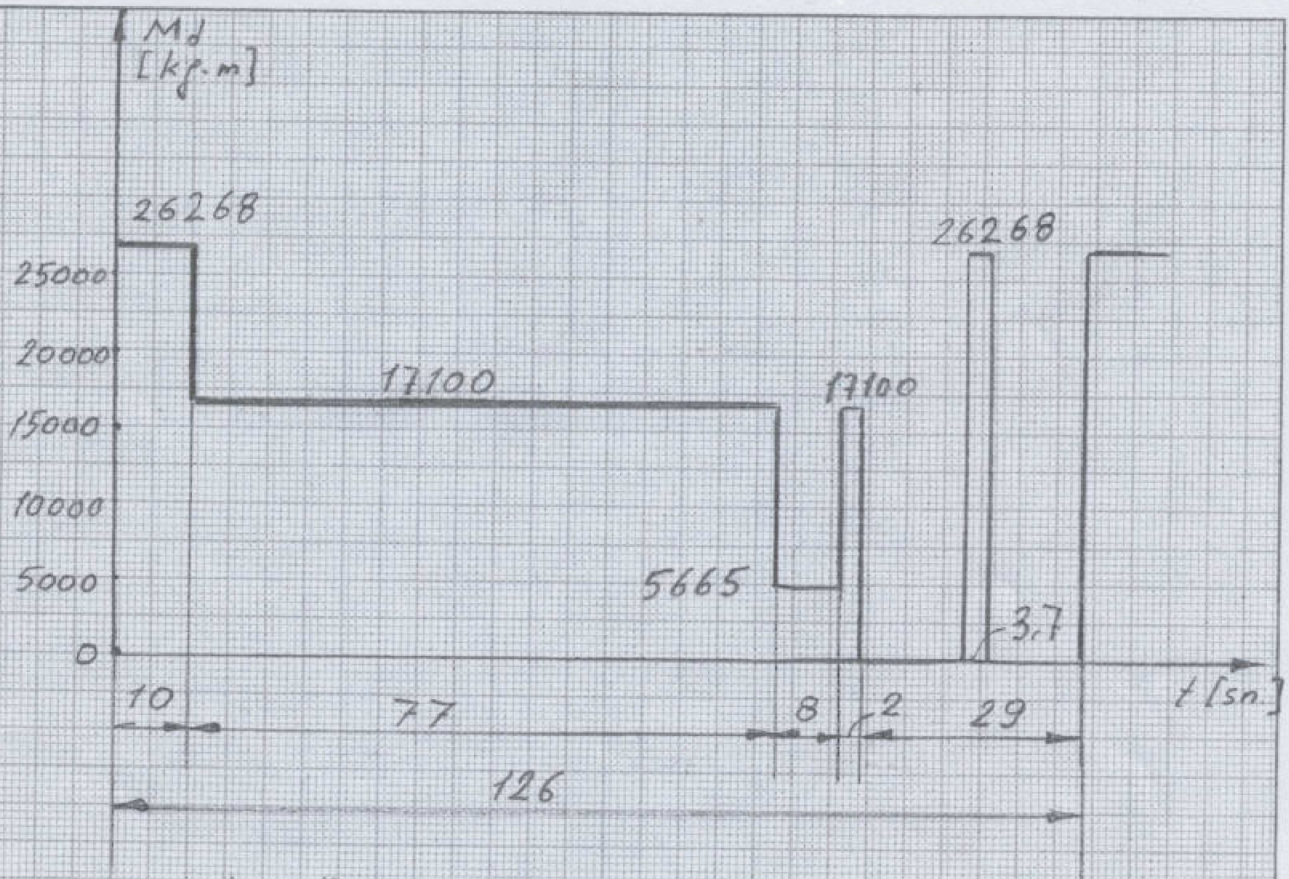
SSW 606 Zeichn.-Vordruck 600 x 50 6. 52 729

ARMUTÇUK 13 No.lu KUYU

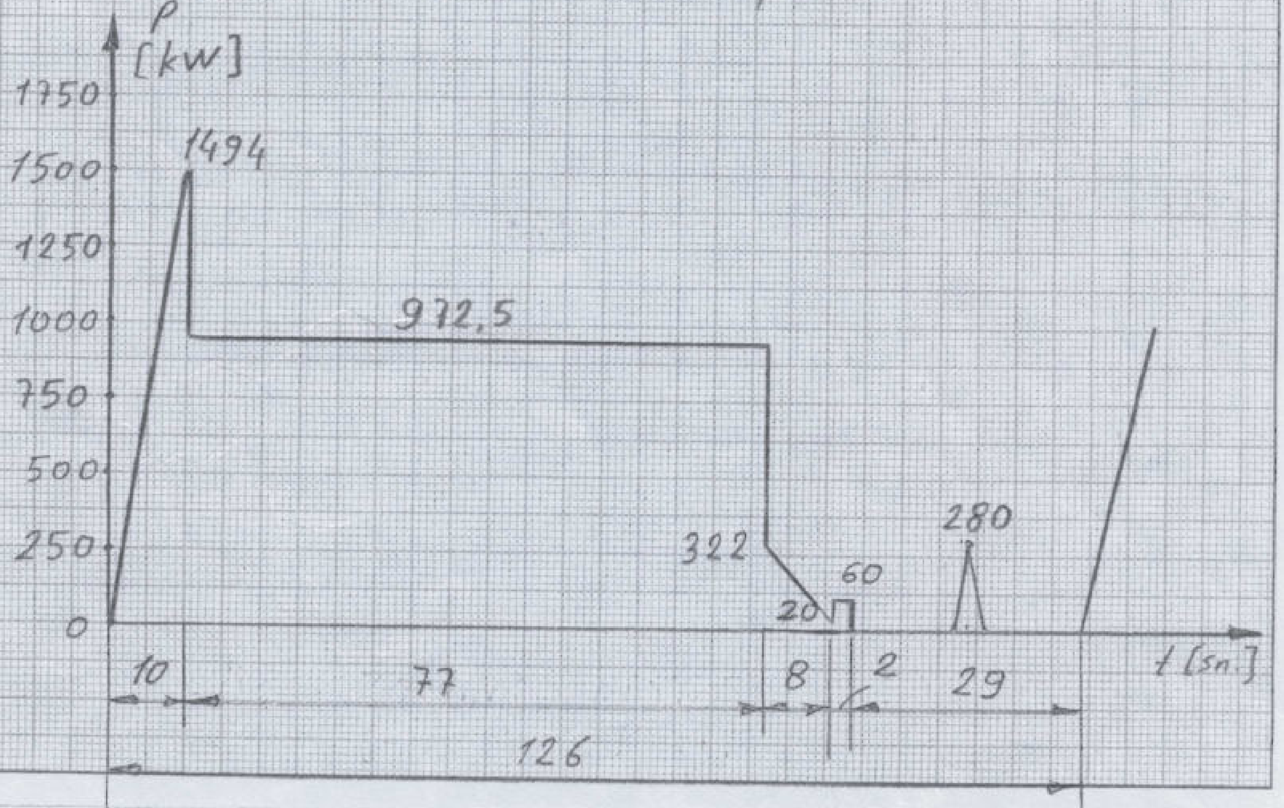


HIZ- ZAMAN DİYAGRAMI
(−500 m. Katı)

ARMUTÇUK 13 No.lu KUYU



DÖNDÜRME MOMENTİ – ZAMAN DİYAGRAMI
(– 500 m. Katı)



GÜÇ – ZAMAN DİYAGRAMI
(– 500 m. Katı)

11- Koepe ihraç motorunun nominal gücü;

• Prof. Dr. ing. Hellmut ERNST'e göre (S: 64/1) :

Karesel ortalama güce göre motor seçimi_

Toplam T iş peryoduna karşılık gelen eşdeğer sürekli güç olarak düşünülen karesel ortalama güç şu şekilde hesaplanır :

$$N_m = \sqrt{\frac{N_1^2 \cdot t_1 + N_2^2 \cdot t_2 + \frac{1}{3}\left(N_3^2 + N_3 \cdot N_4 + N_4^2\right) t_3 + \frac{1}{3} N_5^2 \cdot t_4}{T}} \quad \text{---(3)}$$

<u>Not</u>. Karesel ortalama momenti hesaplamak belki daha doğru olurdu, çünkü devir sayısının sabit tutulması halinde güç, akım şiddetinin karesiyle doğru orantılıdır. Örneğin ilk harekete geçmede sıfırdan tam devir sayısındaki bir limit değere kadar devir sayısının artmasıyla güç te artmaktadır, halbuki moment ve akım şiddeti sabit kalmaktadır. Ancak hesaplamalara sabit momente karşılık gelen sabit değerdeki bir ilk harekete geçme gücü de - daha doğrusu tam devir sayısındaki ilk harekete geçme gücünün limit değeri - ilave edilmelidir. Buna rağmen pratikte Schieber'in metoduna uyularak karesel ortalama moment yerine karesel ortalama güçle hesaplamalar yapılmaktadır, bu nedenle burada da bu hesaplama şekli kabul edilecektir.

(3) numaralı eşitlik söz konusu olan yükleme koşulları için N_m sürekli güçlü bir motorun termik

-64/1-

KALDIRMA MAKİNALARI Cilt: II

Prof. Dr. İng. Hellmut ERNST - Turhan ARITAN - Gazanfer HARZADIN
Galip KEÇECİOĞLU - Süleyman YURDAKONAR

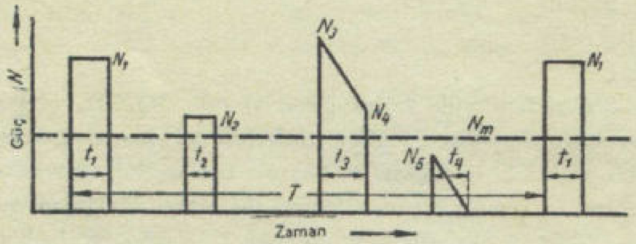
Motor büyüklüğünün doğru olarak seçimi için kesintili işletmenin, değişen yük ve ivme işinin muhtelif etkilerini kıyaslanabilir bir baza dayandırmak gereklidir. Eğer motorun yüklenmesi önceden biliniyorsa yani bir güç grafiği tespit edilebiliyorsa, bu grafiğe dayanarak dışarı atılan kayıp ısı saptanabilir. Bu gibi hesaplamaları tam olarak ancak motoru imal eden firmalar yapabilirler. Fakat kren konstrüktörü de böyle bir güç grafiğine dayanarak gerekli motor büyüklüğü hakkında yaklaşık ve genellikle pratik amaç için yeterli sayılabilen genel bir görüşe sahip olabilir.

a) Karesel ortalama güce göre motor seçimi. Elektriksel kayıplar ve bunun sonucu ortaya çıkan kayıp ısı yaklaşık olarak akım şiddetinin karesi ile orantılıdır. Bu akım şiddeti - randımanın daima aynı kalması şartıyla - sabit gerilimde dönme momenti veya sabit devir sayısında alınan güçle orantılıdır. Bir N_1 gücünde t_1 zamanında ortaya çıkan W_1 ısı miktarı;

$$W_1 = C \cdot N_1^2 \cdot t_1$$

eşitliği ile belirlidiı. Burada C bizi bu çerçevede fazla ilgilendirmeyen bir çevirme faktörüdür. Bir motor için belirli bir güç değişimi, örneğin Şekil 358, mevcutsa bir iş periyodu T süresince hasıl olan W^T ısı miktarı şu tarzda hesaplanabilir :

$$W_{T1} = C \cdot [N_1^2 \cdot t_1 + N_2^2 \cdot t_2 + \tfrac{1}{3}(N_3^2 + N_3 \cdot N_4 + N_4^2) \cdot t_3 + \tfrac{1}{3} N_5^2 \cdot t_4]$$



Şekil 358. Karesel ortalama gücün hesaplanmasında güç diyagramı
t_1, t_2, ... t_4 işletme süresi esnasındaki güçlar
N_1, N_2, ... N_5 dir.
N_m karasel ortalama güç
T bir iş seferi süresi

Motor bir ortalama N_m gücüyle sürekli çalışıyoısa, bir T iş periyodu süresinde oluşturduğu ısı miktarı;

dır.
$$W_{T1} = C \cdot N_m^2 \cdot T \, .$$

Kesintili işletmede oluşan W_{T1} ısısı, sürekli işletmede oluşan W_{T1} ısısına eşitse, motorun kesintili işletmede alacağı ısının, aynı motorun sabit N_m gücüyle sürekli işletmede ulaşacağı ısıya eşit olacağı kabul edilebilir. Her iki ısı miktarını birbirlerine eşitlersek, yani $W_{T1} = W_{T2}$ yazılırsa sürekli gücü hesaplamak mümkün olur. Bu sürekli güç ısı etkisi yönünden kesintili işletmede alınan ve N_1 den N_5 e kadar olan muhtelif güçlere eşdeğeıdir. Toplam T iş periyoduna izafe edilen eşdeğer sürekli güç olarak mütalâaa edilen karesel ortalama güç[1]) yukarıda eşitliklere dayanarak şu tarzda hesaplanır :

$$N_m = \sqrt{\frac{N_1^2 \cdot t_1 + N_2^2 \cdot t_2 + \frac{1}{3}(N_3^2 + N_3 \cdot N_4 + N_4^2) \cdot t_3 + \frac{1}{3} N_5^2 \cdot t_4}{T}} \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (3)$$

1) Karesel ortalama momenti hesaplamak belki daha doğıu olurdu, çünkü devir sayısının sabit tutulması halinde güç, akım şiddetinin karesiyle doğru orantılıdır. Örneğin ilk harekete geçmede sıfırdan tam devir sayısındaki bir limit değere kadar devir sayısının artmasıyla güç de artmaktadır, halbuki moment ve akım şiddeti sabit kalmaktadır. Ancak hesaplamalara sabit momente tekabül eden sabit değerdeki bir ilk harekete geçme gücü de - daha doğrusu tam devir sayısındaki ilk harekete geçme gücünün limit değeri - dahil edilmelidir. Buna rağmen pratikte Schiebeler [4]'in metoduna uyularak karesel ortalama moment yerine karesel ortalama güçle hesaplamalar yapılmaktadır; bu sebepten burada da bu hesaplama şekli muhafaza edilecektir. Diğer taraftan bu hesaplama belirli fren devrelerinde, örneğin senkron altı frenler, uygulanmaz; çünkü bunlarda moment ve akım şiddeti arasında bir orantılık mevcut değildir.

Bu eşitlik söz konusu olan yükleme koşulları için N_m sürekli güçlü bir motorun termik bakımdan yeterli olduğunu anlatmaktadır.

bakımdan yeterli olduğunu anlatmaktadır.

- Prof. Y. Müh. Emin ÜNALAN'a göre (S: 65/1):

Şekil 3 te gücün ve momentin zamana göre değişimi gösterilmiştir.

Momentin karesel ortalaması

$$M_{eff.} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \quad \ldots \quad (9)$$

olur.

Momenti, akımla orantılı olan motorlarda nominal momenti elde etmek için

$$M_n = M_{eff.} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + \ldots}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots}} \quad \ldots \quad (31)$$

denklemi kullanılır. Şönt karakteristikli motorlarda devir sayısı çeşitli yüklerde çok az değiştiğinden güçler momentlerle orantılı kabul edilerek

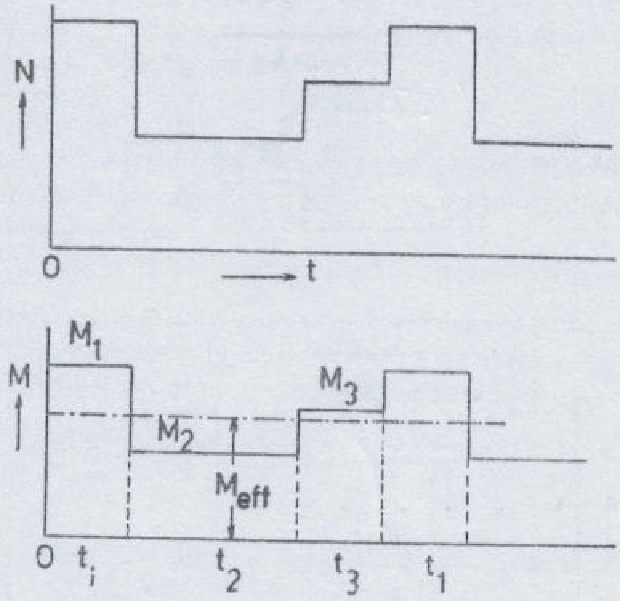
$$N_n = N_{eff.} = \sqrt{\frac{N_1^2 \cdot t_1 + N_2^2 \cdot t_2 + N_3^2 \cdot t_3 + \ldots}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots}} \quad - (32)$$

elde edilir. Gücün karesel ortalamasını veren (32) no.lu denklemi kullanırken dikkatli olmak lazımdır. Şöyleki, şekil 11 de sabit momentle yolalan bilezikli bir asenkron motora ait devir sayısı, moment ve gücün zamana göre değişme diyagramları verilmiştir. t_1 yolalma zamanı sırasında N_1 gücünün t_3 frenleme zamanı sırasında da N_3 gücünün sabit kaldığını kabul etmek gerekir. Çünkü bu zamanlarda motor sabit momentle dolayısıyla sabit akımla

Elektrikle TAHRİK -65/1-

Prof. Y. Müh. Emin ÜNALAN (İ.T.Ü)

seçilmiş demektir. Şekil 3 de gücün ve momentin zamana nazaran değişimi gösterilmiştir.



Şek. 3. Momentin karesel ortalamasının tayini

Momentin karesel ortalaması

$$M_{eff} = \sqrt{\frac{M_1^2 . t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 . t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \tag{9}$$

eşit olur.

Momenti akımla orantılı olmıyan motorlarda (doğru akım seri motor) kayıp eğrisinin yardımı ile yapılan motor tayininde olduğu gibi evvelâ daima çalışma motor listesinden uygun olabileceğini tahmin ettiğimiz bir motor seçilir. İş makinasının motor milinden istediği momentin zaman nazaran değişmesine göre akımın zamana nazaran değişimi elde edilir. Akım - zaman eğrisinden akımın karesel ortalaması bulunur. Tesbit edilen karesel ortalama akım, seçilen motorun nominal akımına mümkün olduğu kadar eşit fakat hiç bir zaman büyük olmamalıdır. Bu şart tahakkuk ettiği taktirde yine motorun verebileceği maksimum momentin çalışma esnasında rastlanacak en büyük momente kâfi gelip gelmiyeceği kontrol edilir. Bu şartda tahakkuk ettiği taktirde motor seçilmiş demek-tir.

- 65/2 -

serisinden istifade etmek ve t çalışma ve istirahat zamanı T zaman sabitine nazaran küçük olduğundan t/T nin üst mertebelerini ihmal etmek suretiyle

$$Q_n = \frac{Q_1 . t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots} \tag{27}$$

elde edilir. Bu denklem şek. 10 da gösterilen çalışma haline tatbik edilirse

$$Q_n = \frac{Q_1 t_1 + Q_3 t_3 + Q_5 t_5 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + \dots} \tag{28}$$

bulunur. Böylelikle değişken yük sabit yük haline tahvil edilmiş olur. Yalnız bakır kayıpları nazarı itibare alınır, 27 no. lu denklemde

$$\begin{aligned} Q_n &= I_n^2 . R \\ Q_1 &= I_1^2 . R \\ Q_2 &= I_2^2 . R \end{aligned} \tag{29}$$

değerleri yerine konulursa

$$I_n = I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 . t_1 + I_2^2 . t_2 + I_3^2 . t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \tag{30}$$

elde edilir. I_n motorun daimi çalışmadaki nominal akımı olmalıdır. Momenti, akımla orantılı olan motorlarda nominal momenti elde etmek için

$$M_n = M_{eff} = \sqrt{\frac{M_1^2 . t_1 + M_2^2 . t_2 + M_3^2 . t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \tag{31}$$

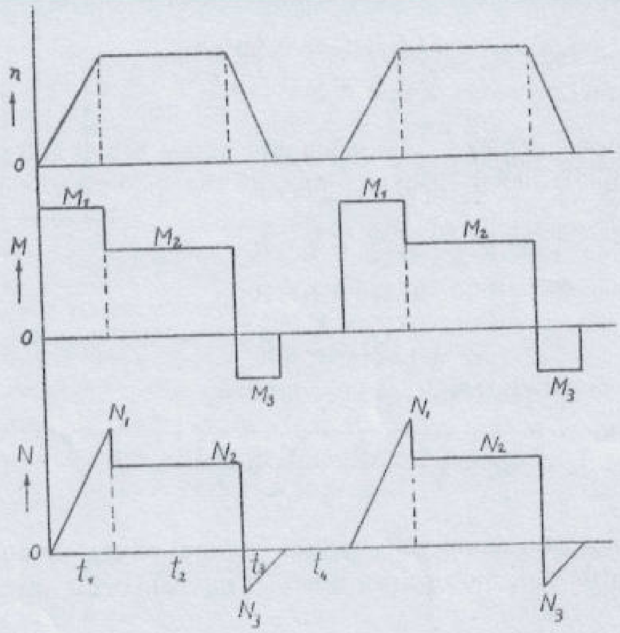
denklemi kullanılır. Şönt karakteristikli motorlarda devir sayısı muhtelif yüklerde çok az değiştiğinden güçler momentlerle orantılı kabul edilerek

$$N_n = N_{eff} = \sqrt{\frac{N_1^2 t_1 + N_2^2 . t_2 + N_3^2 . t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \tag{32}$$

elde edilir. Gücün karesel ortalamasını veren 32 no. lu denklemi kullanırken dikkatli olmak lâzımdır. Şek. 11 de sabit momentle yolalan bilezikli bir asenkron motora ait devir sayısı, Moment ve gücün zamana nazaran değişme diyagramları gösterilmiştir. Bu diyagramlardan görüldüğü gibi,

-65/3-

bilezikli asenkron motor t_1 zamanı zarfında sabit bir M_1 momenti ile yolalmakta, t_2 zamanı zarfında sabit M_2 momenti ile yüklenmekte t_3 zamanı zarfında da sabit bir M_3 momenti ile frenlenmektedir. Burada gücün karesel ortalamasını veren 32 no. lu denklemi kullanırken t_1 yolalma zamanı zarfında N_1 gücünün t_3 frenleme zamanı zarfında da N_3 gücünün sabit kaldığını kabul etmek icab eder. Zira bu zamanlarda motor sabit momentle dolayısıyla sabit akımla çalıştığından N_1 ve N_3 güçleri sabitmiş gibi ısınır. Doğrusal olarak artan veya azalan güç eğrisini kademeli eğrilere tah-



Şek. 11. Bilezikli asenkron motora ait, devir sayısı, moment, güç diyagramları

vil edip bunların karesel ortalamasını almak yanlış olur. Buna göre şek. 11 de gösterilen güç diyagramının karesel ortalaması

$$N_n = N_{eff} = \sqrt{\frac{N_1^2.t_1 + N_2^2.t_2 + N_3^2.t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \qquad (33)$$

olur. Burada karesel ortalama $t_1+t_2+t_3+t_4$ zamanı için alınmıştır. Zira çalışma diyagramlarının aynen tekerrür ettiği kabul edilmiştir. Yukarıda ufak bir misalle işaret edildiği gibi karesel ortalama denklemlerini kul-

$$M_e = 0{,}00267 \frac{n.\Sigma GD^2}{t_e} - M_b \tag{78}$$

münasebeti ile hesap edilir. Yükü veya boş kancayı indirme hallerinde M_b negatif olabilir. Bu taktirde 78 no. lu denklemdeki – işareti + olur. Frenleme esnasında sabit negatif ivme ile katedilen mesafe

$$s_e = \frac{v.t_e}{2} \tag{79}$$

dır.

4 — Çalışma diyagramı ve motor gücünün tayini

Yukarıdaki şekilde hesap edilen değerlerle elde edilen zamana tâbi hız, yol, moment, güç diyagramları şek. 28 de şematik olarak gösterilmiştir.

Motorun tesbiti için bu şekilde elde edilen çalışma diyagramından ortalama relâtif devrede kalma süresi ve momentin çalışma süreleri boyunca karesel ortalaması tayin olunur. Şek. 28 de gösterilen diyagrama göre kaldırma motoru için ortalama relâtif devrede kalma süresi

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{t_1 + t_{10} + t_2 + t_{20} + t_3 + t_{30} + t_4 + t_{40}} \tag{80}$$

momentinin çalışma süreleri boyunca karesel ortalaması

$$M_{ke} = \sqrt{\frac{(M^2_{1a}.t_{1a} + M^2_{1b}.t_{1b} + M^2_{1c}.t_{1c}) + \ldots + (M^2_{4a}.t_{4a} + M^2_{4b}.t_{4b} + M^2_{4c}.t_{4c})}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \tag{81}$$

olur. ε, normalize relâtif devrede kalma süresine uymuyorsa kesintili çalışma kısmında izah edildiği gibi, M_{ke} momenti, ε' normalize relâtif devrede kalma süresine tekabül eden M'_{ke} momentine tahvil olunur. 4 no. lu denkleme göre

$$M'_{ke} = M_{ke} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e}}$$

Buna göre ısınma bakımından gerekli kesintili çalışma motor gücü

$$N'_{ke} = \frac{M'_{ke}.n}{973} \text{ [kW]} \tag{82}$$

(7

ıalleri e M_b
reti - olur.

(79)

amana tâbi
gösterilmiş-

ımından or-
eleri boyun-
grama göre

(80)

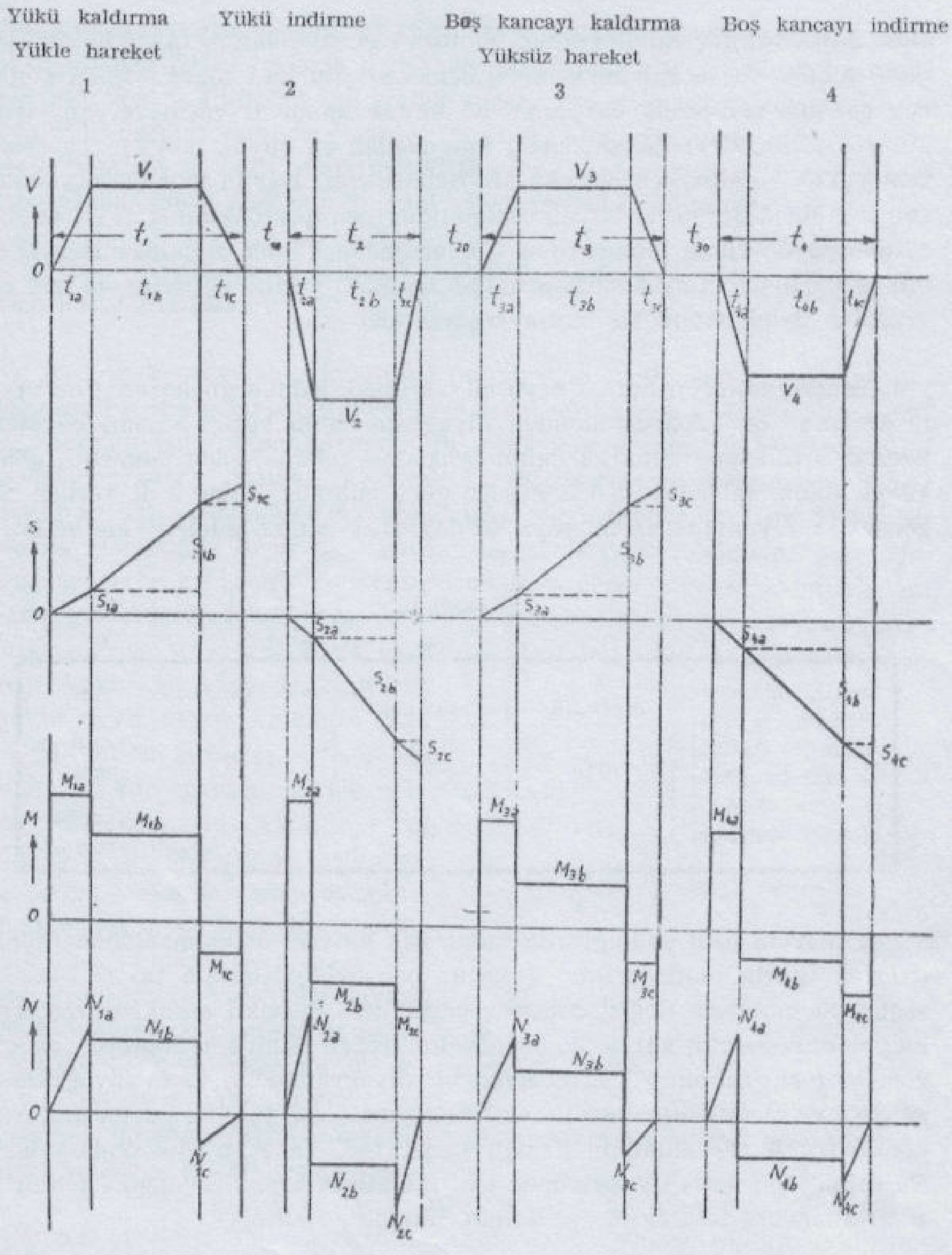
$_{4c} . t_{4c})$ (81)

esintili ça-
tif devre-
4 no. lu

or cü

82)

-65/5-



Şek. 28. Çalışma diyagramları

çalıştığından N_1 ve N_3 güçleri sabitmiş gibi ısınır. Doğrusal olarak artan veya azalan güç eğrisini kademeli eğrilere dönüştürüp bunların karesel ortalamasını almak yanlış olur. Buna göre Şekil 11 de gösterilen güç diyagramının karesel ortalaması

$$N_n = N_{eff} = \sqrt{\frac{N_1^2 t_1 + N_2^2 t_2 + N_3^2 t_3}{t_1+t_2+t_3+t_4}} \qquad (33)$$

olur. Burada karesel ortalama $t_1+t_2+t_3+t_4$ zamanı için alınmıştır. Zira çalışma diyagramlarının aynen tekrar ettiği kabul edilmiştir.

Not. Kesintisiz güç kaynağı terimleri içinde yer alan RMS (Etkin değer) ve ortalama değer ile ilgili de bir bilgi verelim (S: 66/1):

Alternatif akımın RMS değeri bir direnç yükünden geçen ve aynı miktarda ısı enerjisi üreten DC akımın değerine eşittir. RMS karesel ortalama değer (Root Mean Square) anlamına gelir ve ETKİN DEĞER, EFEKTİF DEĞER olarakta isimlendirilir.

Bu bilgilerden sonra problemimize dönebiliriz.

İlk harekete geçmede, M_d momenti sabit kalmasına rağmen P_1 gücü devir sayısının artmasıyla artmaktadır (Şekil 13). Ancak hesaplamalarda sabit Md momentine karşılık gelen sabit bir ilk harekete geçme gücü (daha doğrusu tam devir sayısındaki ilk harekete geçme gücü) göz önüne alınmalıdır.

-66/1-

Kesintisiz Güç Kaynağı Terimleri :

Ana Sayfa

RMS (Etkin Değer) ve Ortalama Değer

Alternatif bir akımın RMS değeri sabit bir direnç yükünden geçen ve aynı miktarda ısı enerjisi üreten DC akımın değerine eşittir. RMS Karesel Ortalama Değer (Root Mean Square) anlamına gelir ve Etkin Değer, Efektif Değer olarak da isimlendirilir.

Bir işaretin RMS değeri ayrık (dijital) olarak hesaplanırken şu adımlar izlenir:
- İşaretin bir periyot boyunca belirli örnekleme zamanıyla genlik değerleri alınır.
- Alınan bu değerlerin kareleri toplanır.
- Bu toplam alınan örnek sayısına bölünür.
- Bu bölümün karekökü alınır

Karesel ortalama değer : $$\sqrt{\frac{S_1^2+S_2^2+\ldots+S_n^2}{n}}=\sqrt{\frac{\sum_{x=1}^{n}S_x^2}{n}}$$

RMS değer bu yöntemle hesaplanırken örnekleme ne sık yapılırsa ölçüm hassasiyeti o kadar yüksek olur.

Bir işaretin RMS değeri sürekli (analog) olarak hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılır.

$$F_{RMS}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f(t)^2dt} \quad :$$

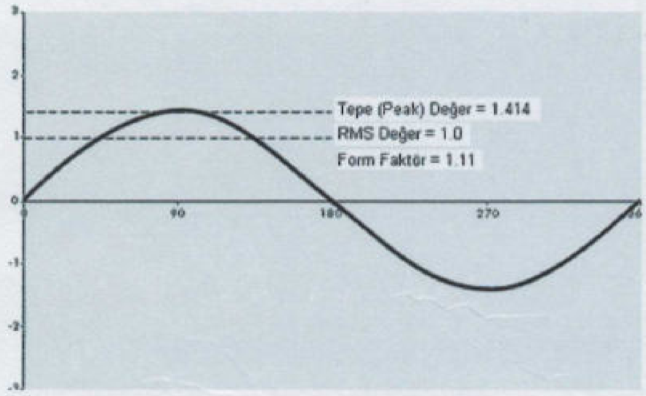
Bir işaretin Ortalama Değeri (Mean Value) ise o işaretin zaman ekseni ile arasında kalan alanı ifade etmektedir ve aşağıdaki formül k

$$F_{Mean Value}=\frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt$$

Bir işaretin Ortalama Değeri ayrık (dijital) olarak hesaplanırken şu adımlar izlenir:
- İşaretin bir periyot boyunca belirli örnekleme zamanıyla genlik değerleri alınır
- Alınan bu değerleri toplanır
- Bu toplam alınan örnek sayısına bölünür

$$\text{Ortalama Değer}=\frac{S_1+S_2+\ldots+S_n}{n}=\frac{\sum_{x=1}^{n}S_x}{n}$$

İdeal bir sinüs dalganın RMS ve Ortalama Değerlerine ilişkin şekil aşağıdaki gibidir.



RMS değeri 1 birim olan Sinüsün Peak (Tepe) Derinin $\sqrt{2}=1.41$ birim olmaktadır.

$$\text{Ayrıca } (Tepe)\ Peak\ Faktör=\frac{Peak\ Degeri}{RMS\ Degeri}=1.414$$

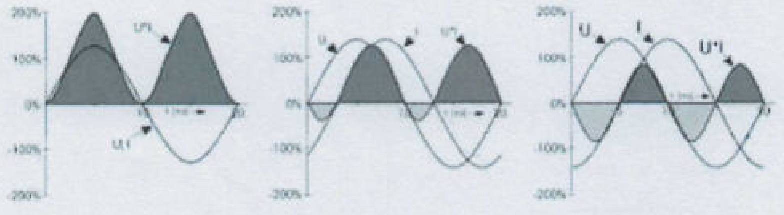
$$Form\ Faktör=\frac{RMS\ Degeri}{Ortalama\ Degeri}=1.111$$

Aktif Güç, Reaktif Güç

- 66/2 -

Direnç tipi bir yük gerilim kaynağından gerilimin çarpanı şeklinde bir akım çekmektedir, ancak reaktif yüklerin çektiği akım direnç yükündeki gibi değildir. Reaktif yüklerde de hem gerilim hem de akım dalga şekilleri sinüzoidal olabilir ancak aralarında bir faz farkı vardır. Reaktif yüklerde bir periyot süresince akım ve gerilim işaretleri aynı veya farklı olabilir.

Akım ve gerilim işaretinin farklı olduğu noktalarda güç negatiftir ve güç akışı kullanıcıdan şebekeye doğrudur. Şebekeden çekilen bu enerji kullanılmadan şebekeye geri verilir ve bu dolaşım sırada iletim hatlarındaki dirençlerden dolayı kayıplar oluşur. Yani reaktif güç şebekeyle yük arasında salınan ancak kullanılmayan enerjidir. Aşağıdaki şekilde açık gölgelendirilmiş bölgeler reaktif gücün, koyu gölgelendirilmiş bölgeler ise aktif gücün söz konusu bölgeleri göstermektedir.



Direnç Tipi Yük — Endüktif+Direnç Tipi Yük — Endüktif Yük

Aktif enerji şebeke periyodu boyunca şebekeden çekilen enerjidir, bu da gerilimle akımın çarpımının zaman ekseninin üstünde kalan alandır. Üstte kalan alan (aktif enerji) ile altta kalan alanın (reaktif enerji) farkı yükün harcadığı toplam enerjiyi vermektedir.

Aktif güç [P] ile reaktif güç[Q] birlikte kompleks gücü [S] oluşturmaktadır.

Jeneratör, transformatör, motor gibi elektrikli aygıtların ve iletim hatlarının maliyeti bunların görünür gücüyle orantılıdır. Bunun nedeni bu cihazların yalıtım düzeyinin gerilimle, iletken boyutlarının da akımla orantılı olmasıdır. Aktif güç P'nin fiziksel bir anlamı vardır. Bu gücün büyük bir kısmı yararlı işi karşılar, çok az bir kısmı kayıplardır. Oysa reaktif güç, elektromanyetik cihazlardaki manyetik alanı oluşturur ve yararlı enerji çevriminde kullanılmaz. Gereksiz yere hattı ve iletim aygıtlarını yükleyerek gerilim düşümüne ve kayıplara yol açar. Bu nedenle şebekeden çekilen Q reaktif gücün sıfır olması istenir.

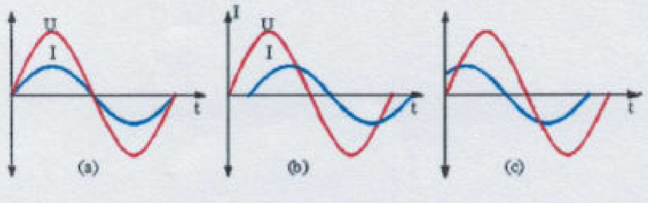
Bu büyüklükler arasında matematiksel şu ilişkiler vardır:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$
$$P = S\,Cos\phi = VI\,Cos\phi$$

Burada $COS\ \phi$ = Güç faktörü olup, yükün etkin gücü ne kadar etkili çektiğinin bir ölçüsüdür. Güç faktörü boyutsuzdur ve idealde GF=PF=1 olması istenir. Böylece reaktif güç sıfır olur ve aynı güç en düşük akımla çekilir ve cihazlardaki ve yükteki olası kayıplar en aza indirilmiş olur.

Yükün karakteristiğinden kaynaklanan sebeplerden dolayı akımın gerilimden ilerde veya geride olması durumunda şebekeden enerjiye dönüşemeyecek yükün çekilmesi başka bir ifade ile işe yaramayan gücün çekilmesindeki güç birimidir.

Rezistif (Direnç Tipi) Yük, Endüktif Yük, Kapasitif Yük :



Yukarıda dalga şekilleri verilen bu yük çeşitleri için şu özellikler geçerlidir:

a) Yük üzerindeki akım gerilimin bir çarpanı ve akımla gerilim arasında bir faz farkı varsa bu yük çeşidine rezistif (direnç tipi) yük denilmektedir.

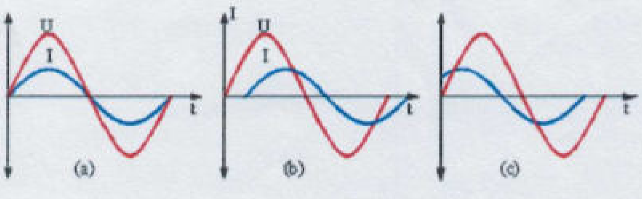
b) Yük üzerindeki akımın gerilimden geride olması durumundaki yük çeşidine endüktif yük denilmektedir.

c) Yük üzerindeki gerilimin akımdan geride olması durumundaki yük çeşidine kapasitif yük denilmektedir.

Lineer (Doğrusal) Yük , Non-Lineer (Doğrusal Olmayan) Yük

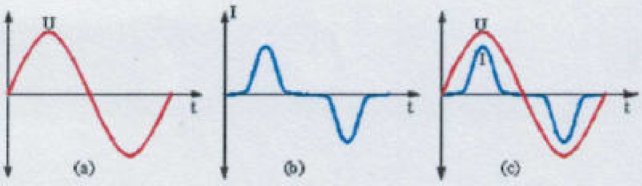
Lineer adından da anlaşılacağı gibi yükün karakteristiğinin doğrusal olduğunu ifade eder. Yani yük akımı her bir periyotta gerilimin bir fonksiyonudur. Bir başka ifadeyle yük akımıyla gerilim arasında faz farkı olsa bile non-lineer değil yine lineerdir çünkü akım hala gerilimin bir fonksiyonudur. Yük reaktiftir ama lineerdir.

Aşağıda lineer yük çeşitleri görülmektedir. Yük rezistif, endüktif yada kapasitif olsa bile akım gerilimin bir fonksiyonu olduğu sürece yük lineer yüktür.



- 66/3 -

Eğer yük akımı şebeke gerilimin bir fonksiyonu değilse aralarında bir faz farkı olmamasına rağmen yük non-lineerdir.

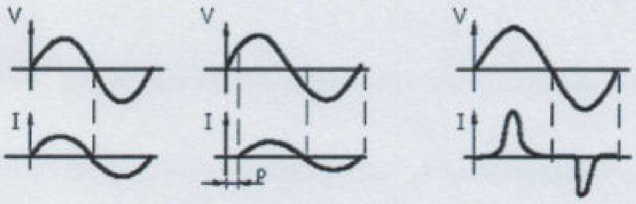


Aşağıda gerilim ve akım dalga şekilleri verilen yük çeşitleri için;

a) Burada gerilimle akım her zaman aynı yönde ve akım gerilimin bir fonksiyonu olduğu için şebeke reaktif güç çekilmez ve yük lineerdir.

b) Bu durumda gerilimle akım her zaman aynı yönde değildir. Bu nedenle gerilimle akımın yönlerinin zıt olduğu bölgelerde reaktif güç bileşeni vardır. Reaktif güç bileşeni olmasına rağmen bu yük tipi de lineerdir. Çünkü gerilimin olduğu her noktada akım da çekilmektedir.

c) Bu durumda ise hem gerilim hem de akım her zaman aynı yönlerde olmasına rağmen yükün çektiği akım gerilimin bir fonksiyonu değildir. Başka bir ifadeyle gerilimin olduğu her noktada şebekeden akım çekilmez. Bu nedenle bu yük çeşidi non-lineerdir.



$COS\vartheta = 1$	$COS\vartheta = 0{,}5$	$COS\vartheta = 1$
$THD = 0\%$	$THD = 1$	$THD = 50\%$
$PF \cong 1$	$PF \cong 0{,}5$	$PF \cong 0{,}65$
a) Lineer Yük	b) Lineer Yük	c) Nonlineer Yük

Senkronizasyon :

İki sinyalin frekans ve fazlarının aynı olmasıdır. KGK'larda By-Pass'tan eviriciye geçerken kesintisiz bir geçişin olabilmesi için evirici çıkışının ve By-Pass hattının gerilim ve frekansı değerlerinin aynı olması gerekir. Ayrıca bazı paralel çalışma durumlarında da KGK'lar çıkışlarını senkron hale gelecek düzeneklere sahip olmalıdır.

Güç Faktörü :

Güç faktörünün, bir KGK sistemini boyutlandırırken önemli manaları vardır. Güç, birim zamandaki enerjidir ve DC devrelerinde gerilim ve akımın matematiksel çarpımı olarak ifade edilir (Güç=Volt x Amper). Fakat alternatif akımda bir karışıklık mevcuttur. Bazı AC akımları enerji sağlamadan yüke girip çıkabilir. Reaktif veya harmonik akım adı verilen bu akım gerçek güçten fazla olan görünürdeki gücü arttırır. Görünür güç ve gerçek güç arasındaki bu fark güç faktörünün artmasına sebep olur. Güç faktörü gerçek gücün görünür güce oranıdır. Görünür gücün birimi VA'dır. Bundan dolayı herhangi bir sistemdeki gerçek güç, güç faktörüyle VA değerinin çarpımıyla bulunur.

Çoğu elektrikli cihaz için görünür güç (VA) ve gerçek güç (Watt) arasındaki fark çok önemsizdir ve ihmal edilebilir. Fakat tüm bilgisayarlar için fark fazla ve önemlidir. Bir bilgisayar sisteminin güç faktörü 0.65'tir. Bu, görünür gücün (VA) gerçek güçten (Watt) yaklaşık %50 daha fazla olduğu anlamına gelir.

KGK çıkış gücünün yeterli olduğundan emin olmak için KGK'nın VA değeri yükün VA ihtiyacından fazla olmalıdır. Yükün daha düşük olan Watt veya VA değeri kullanılmamalıdır çünkü bu değer çalışma sırasında KGK'dan istenecek ekstra reaktif veya harmonik akımı içermez.

Çoğu KGK üreticisi ürünlerinde Watt ve VA özelliklerini vermemektedir. Bir KGK'nın VA değeri verilmediğinde KGK'nın yükü kaldırıp kaldıramayacağını tespit etmek çok zor olabilir. Gerçekte, Watt değeri verilen bir KGK, eğer yük 0.65 güç faktörü olan bir bilgisayarsa gerekli gücü sağlamayacaktır. Eğer Watt değeri KGK üzerindeki tek değerse VA değerin bu Watt değerine eşit olduğu varsayılmalıdır.

Krest (Tepe) Faktörü

Düşük güç faktörüne ek olarak, bilgisayar yükleri çok yüksek tepe faktörlerine sahip olmaları konusunda da sıra dışılardır. Tepe faktörü yük tarafından çekilen anlık peak akımıyla RMS (Root Mean Square) akımı arasındaki orandır. Çoğu elektriksel uygulamanın 1.4 tepe faktörü vardır. Bir yükün 1.4'ten fazla tepe faktörü olduğunda kaynak (KGK) yükün istediği peak akımını sağlamak zorundadır. Eğer kaynak, akımı sağlayamazsa kaynak gerilimi aşırı tepe (peak) akımı tarafından bozulur. Bundan dolayı eğer bir KGK yükün ihtiyacı olan tepe faktörünü sağlayacak kadar büyük değilse KGK'nın çıkış dalga formu bozulacaktır.

Bir bilgisayarın tepe faktörü ihtiyacı beslendiği kaynağa göre değişir. Tepe faktörü bilgisayar aynı oda içinde başka AC kaynağına takılırsa bile değişebilir. Tepe faktörünün yük ve AC kaynak arasındaki etkileşimden doğmaktadır. Bir bilgisayar yükünün ihtiyacı olan tepe faktörü AC kaynağın dalga formuna bağlıdır. Sinüs dalga kaynağı için bir bilgisayar tipik olarak 2 ila 3 arasında tepe faktörü gösterecektir. Sinüse basamaklı yaklaşıklıklı dalga formu için bilgisayar 1.4 ila 1.9 arasında tepe faktörü gösterecektir. Yüksek tepe faktörü güç kaynağı bileşenlerinin aşırı ısınmasına sebep olur.

Bilgisayar, KGK, surge engelleyici veya güç düzelticiden çalıştırıldığında tepe faktöründeki düşüş (giriş gerilimi dalga formunun aşırı distorsiyonu ile beraber değilse) olumlu bir yan etkidir. Böyle bir distorsiyon, brownout durumuna eşdeğer olan azaltılmış peak gerilimi ile sonuçlanabilir. KGK veya şebeke düzelticisi uygun peak gerilimini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Tepe faktörü kaliteli KGK sistemlerinin yaklaşık olarak tam yükte 3, 1/2 yükte 4, 1/4 yükte 8 tepe faktörü kapasitesi vardır. Daha küçük basamaklı dalgalı modellerin yaklaşık olarak tam yükte 1.6, 1/2 yükte 2 tepe faktörü kapasitesi vardır. Kaliteli KGK sistemleri, herhangi bir tepe faktörüyle bilgisayar tipi yüklere uygun peak voltajı vermek için tasarlanmıştır.

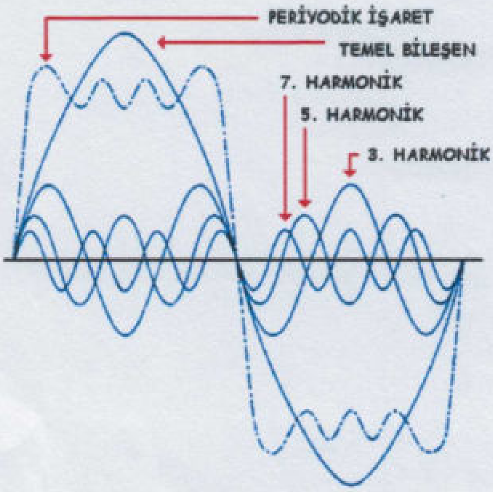
- 66/4 -

Harmonik ve THD (Total Harmonic Distortion, Harmonik Bozunum)

Belirli bir frekanstaki tüm periyodik dalga şekilleri kendi frekansının katlarındaki sinüs dalgalarının toplamına eşittir. Toplanarak periyodik dalgayı oluşturan sinüs dalgalarının her birine harmonik denilmektedir. Birinci harmonik analizi yapılan periyodik işaretle aynı frekanstadır ve temel bileşen olarak adlandırılır. İkinci harmonik temel bileşenin frekansının iki katıdır. Genel olarak ifade edilecek olursa n. harmoniğin frekansı temel bileşenin frekansının n katıdır.

Örnek olarak frekansı 50 Hz olan bir dalganın bazı harmoniklerinin frekansı şu şekildedir :

Temel Bileşen (1.Harmonik)	50Hz
2.Harmonik	100Hz
3.Harmonik	150Hz
4.Harmonik	200Hz
5.Harmonik	250Hz
6.Harmonik	300Hz



Harmonik bozunum ise elektriksel kirliliğin bir ifadesidir. Eğer harmonik bozunumların toplamının (THD) belirli sınırların üzerinde bazı elektriksel problemlere neden olmaktadır. Örnek olarak akım harmoniklerinin yüksek olması kabloların aşırı ısınmasına ve zarar görmesine neden olabilir. Elektrik motorlarında da aşırı ısınmaya, gürültülü çalışmaya ve tork salınımlarına neden olmaktadır. Kapasitörlerde de aşırı ısınmaya, bunun sonucu dielektrik denen birbirinden yalıtılmış plakaların delinmesine neden olabilmektedir. Ayrıca işlemciler elektronik göstergeler, LED'ler harmonik bozunumlardan etkilenmektedir.

Gerilim ve akımda meydana gelen harmonik bozunumlarının (THD) kaynağı non-lineer yüklerdir. Non-lineer yükler arasında KGK'lar, motor yol vericileri, motor sürücüleri, bilgisayarlar ve elektronik aydınlatma ve kaynak makineleri vardır. Ayrıca tüm güç elektroniği dönüştürücüleri şebekedeki harmonik bozunumu arttırıcı etki gösterirler.

Bir işaretin harmonik bozunumunun matematiksel ifadesi;

$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \ldots + I_n^2}$ ve I_n= n. harmoniğin RMS değeri,

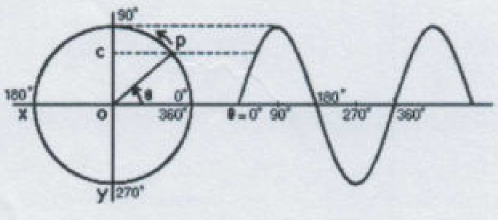
I_F= İşaretin temel bileşeninin RMS değeri olmak üzere şu şekilde hesaplanabilir.

$$THD = \frac{I_H}{I_F}$$

Toplam harmonik bozunumun yüzde (%) olarak ifadesi şu şekildedir:

$$THD(\%) = \frac{I_H}{I_F} \times 100$$

Sinüs (Sinüzoidal) Dalga :



Birim çember (yarıçapı 1 birim olan çember) yarıçapının sıfır derece ile 360 derece arasında döndürülmesiyle birim çember yarıçapının y eksenine düşen izdüşümleri sinüs dalgayı oluşturmaktadır.

Örnek olarak birim çember yarıçapının x ekseni ile θ açısı yaptığı değerdeki noktada sinüs

birim çemberin etrafında Matematikte genliği -1 ile +1 arasında değişen temel bir dalga formudur. Teknik manada şebeke

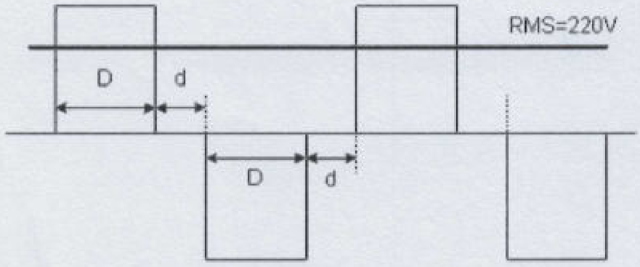
- 66/5.

büyüklüklerinin zamana göre değişiminin bu temel dalganın bir fonksiyonu olarak değiştiğini ifade etmekte kullanılır.

Şebeke büyüklüklerinin temel sinüs dalgasının bir fonksiyonu olarak değiştiğinin bir ifadesidir. Sinüs sinyali ile sinüzoidal sinyal arasında bir fark yoktur.

Sinüs Benzeşimli (Kısmi Kare Dalga) Eviriciler :

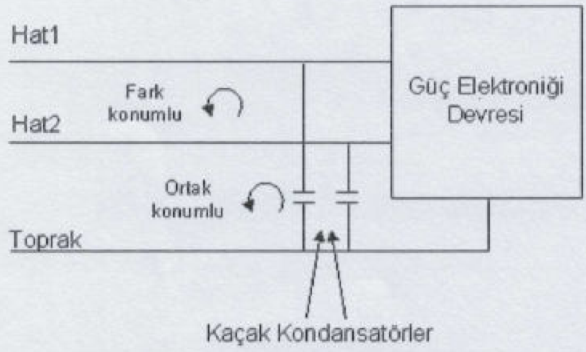
Çıkışı bir fazlı olan eviricilerde darbe genişlik modülasyonu ve giriş doğru gerilim ayarı gibi yöntemler uygulamaksızın, çıkış geriliminin frekans ve genlik olarak ayarlaması yapılabilir. Dalga şekli kara dalgaya benzemekle beraber, belirli aralıklarda gerilimin yok edilmesi ilkesi ile çalışmaktadır. Çıkış geriliminin belirli aralıklarında sıfır gerilim bölgeleri oluşturulmakta, böylece gerilim ayarı yapılmaktadır.



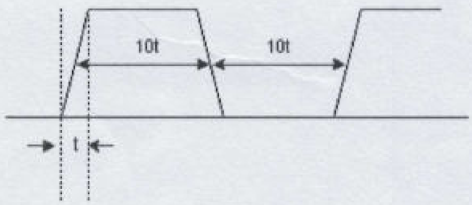
Örnek olarak yukarıda verilen sinüs benzeşimli KGK'nın çıkışı incelenebilir. Evirici çıkışının bir periyottaki doluluk (D) ve boşluk (d) miktarları değiştirilerek çıkış geriliminin RMS (etkin) değeri sabit tutulmaktadır. Gerilimin tepe değeri 220V'tan büyük ise RMS değerin 220V olabilmesi için belirli bir boşluk oranı bırakılmaktadır. DC gerilim seviyesi düştükçe (akülerin boşalmasıyla) RMS değerin sabit kalması için darbelerin doluluk oranı arttırılır.

EMI-RFI :

Anahtarlamalı bir çeviricide akım ve gerilimde çok hızlı değişimler meydana geldiği için yüksek frekanslı salınımlar oluşmaktadır. Bu salınımlar diğer elektronik devrelerde ve güç elektroniği çeviricisinin kendi iç çalışmasında bozucu elektromanyetik girişimlere neden olurlar. Bu girişim EMI (Electromagnetic Interference) olarak adlandırılır. EMI radyasyon ve iletim olmak üzere iki biçimde iletilir. Anahtarlamalı güç elektroniği devreleri, kendilerini besleyen elektrik sistemine güç kabloları üzerinden iletim biçiminde gürültü yayarlar. Bu gürültü uzaya radyasyon yoluyla yayılan gürültünün birkaç katı daha büyüğüdür. Güç elektroniği devrelerinin metal gövde içine alınmaları, radyasyon yoluyla yayılan elektromanyetik kirliliği büyük ölçüde azaltır.



Yukarıdaki şekilde gösterildiği iletimsel gürültü fark-konumlu ve ortak-konumlu olmak üzere iki çeşide ayrılır. Fark konumlu gürültü incelemesinde, fazlar arası gerilimin veya akımın gürültüleri incelenir. Ortak-konumlu gürültüde ise faz-nötr gerilimdeki ve faz ve nötr hatlarındaki akımın gürültüleri ele alınır. Güç elektroniği çeviricilerinin gerek giriş tarafında gerekse de çıkış tarafındaki hatlarında, hem fark-konumlu hem de ortak konumlu gürültüler bulunmaktadır. Bunların giderilmesi için çeşitli filtre devreleri kullanılmaktadır.



Yukarıda gösterilen anahtarlama dalga şekli, açma kapama yapan güç elektroniği devrelerinde oluşan dalganın tipik örneğidir. Çok kısa bir yükselme ve düşme süresi olduğu için bu dalga, azımsanamayacak büyüklükteki enerjiyi şebeke frekansından çok yüksek olan radyo frekanslı (RF) harmonikleri içerir.

Bir doğrultucuda fark konumlu gürültü, şebeke kapısındaki hat üzerinden güç sistemine yayılır. Benzer şekilde, çıkış kapısındaki gürültü doğru gerilim hattı üzerinden yüke geçer. Bunlara ek olarak, elemanlar arasındaki kapasitif bağlaç ve devreler arasındaki manyetik kavrama nedeniyle oluşan iletim yollarında da gürültü meydana gelmektedir.

Ortak-konumlu gürültünün yayılması kaçak elektrik ve manyetik alanları ve kaçak kapasiteleri üzerinden oluşur. Kaçak kapasiteleri iki farklı fazdaki devreler arasında oluşabileceği gibi, bir faz devresiyle toprak arasında da oluşabilir. Güvenlik nedeniyle, güç elektroniği devrelerinin çoğu topraklanmış bir gövde içine alınmıştır. Toprak hattında meydana gelen gürültü, EMI gürültüleri arasındadır.

- 66/6 -

Elektromanyetik Girişim (EMI), Radyo Frekanslı Girişim (RFI) yüksek frekansta anahtarlamadan kaynaklanan bazı sinyallerin manyetik yolla havaya, elektriksel yolla şebekeye doğru yönelmesidir. Eğer bu girişimin frekansı radyo frekansına yakınsa RFI olarak isimlendirilir.

VFI (Voltage Frequency Independent)
Kesintisiz Güç Kaynağı çıkış gerilimi, kaynak (şebeke) gerilimi ve frekansından bağımsız yapıdadır.

VI (Voltage Independent)
Kesintisiz Güç Kaynağı çıkış gerilimi, kaynak frekansına bağımlı ama gerilim değişikliklerini düzenleyebilen yapıdadır.

VFD (Voltage Frequency Dependent)
Kesintisiz Güç Kaynağı çıkış gerilimi, kaynak gerilimine ve frekansına bağımlı yapıdadır.

PFC (Power Factor Correction, Güç Faktörü Düzeltmesi)

Diyot ve tristörlerle elde edilen doğrultucular, yük tarafından çekilen akımın her anında şebekeden akım çekmezler. Şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında girişten akım çeker. Sinüzoidal şebeke geriliminin tepe noktaları etrafında DC filtre kondansatörünün şarj akımı ve yük akımının toplamı şebekeden çekilirken, sinüzoidal şebeke geriliminin diğer bölgelerinde yük akımı kondansatörde depolanan DC gerilimden sağlanır.

Sinüzoidal giriş geriliminin her bölgesinde gerilimle orantılı bir akım çekilmediğinden gerilimdeki çökmeler de sadece akımın çekildiği tepe bölgelerinde olur. Böylece AC giriş gerilimi tam sinüzoidal olmaktan çıkar, bozuk bir sinüzoidal gerilim olur. Tam sinüzoidal olmayan bir AC gerilim, AC ile çalışan tüm yüklerde verimsizliklere ve aşırı ısınmalara neden olur. Ayrıca sinüzoidal olmayan akım çeken devrelerin güç faktörü 1'den düşük olduğundan aynı gücü elde etmek için daha fazla akım çekilmesi gerekir. Bu da iletken kesitlerinin daha yüksek akımlar için artırılmasını gerektirir. Bu nedenlerle şebeke geriliminden sinüzoidal akım çeken ve güç faktörü 1'e yakın olan, yani şebeke gerilimini bozmayan ve gereksiz yüksek akımla yüklemeyen doğrultucular önem kazanmakta ve tercih edilmektedir.

Aktif güç faktörü düzelten doğrultucular KGK'nın yapısına göre 1 fazlı veya 3 fazlı olabilir. Giriş akımının sinüzoidal olabilmesi için giriş akımının giriş gerilimine benzetilmesi sağlanır. Bu amaç için darbe genişlik modülasyonu kullanılarak bir transistör anahtarlanır. Transistörün iletimde ve kesimde kaldığı süreler darbe genişlik modülasyonu ile değiştirilerek akımın sinüzoidal olması sağlanır. PFC'li KGK'larda güç faktörü 0,99 ve giriş akım harmonikleri %5'in altında olmalıdır.

Avantajları:

- Giriş akımı sinüzoidal olduğu için şebeke geriliminde bozulmalara ve gereksiz yüksek akımlara neden olmaz.
- Giriş akımı, DC çıkış gerilimi ve yük akımı değerleri bir kontrol devresi ile istenilen değerlerde tutulabilir.
- Çıkış gerilimi ve akımı istenilen değerlerde sınırlandırılabileceği için hem eviricide, hem de akü grubunun şarj edilmesinde kullanılabilir.

Dezavantajları:

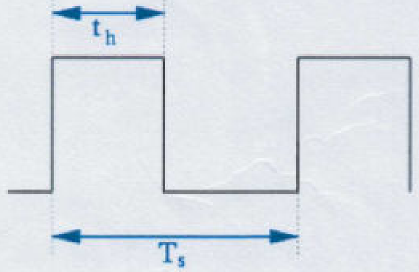
- Diğer doğrultucu türlerine göre daha fazla elemanla elde edildiği için boyutları ve maliyeti yüksektir.
- Diğer doğrultucu türlerine göre kayıpları daha fazladır ve verimi daha düşüktür.
- Devrenin tasarımı ve optimizasyonu zordur. Yüksek derecede güç elektroniği bilgisi gerektirir.
- Yüksek gerilimde anahtarlama yapıldığından elektromanyetik gürültü kaynağıdır, elektromanyetik gürültünün mutlaka filtre edilmesi gerekir.

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor : Kapıdan yalıtımlı bipolar transistor)

Güç MOSFET'i ve bipolar transistor özelliğinin tek bir yapıda birleştiği bir anahtarlama elemanıdır. Giriş karakteristiği güç MOSFET'ine çıkış karakteristiği bipolar transistor benzeyen izole kapılı bir elemandır. KGK'larda anahtarlama hızları ve iletim kayıplarının küçüklüğü sebebi ile tercih edilen bir elemandır. Tristörlere göre daha pahalı ancak daha sağlıklıdır.

PWM (Pulse Width Modulation : Darbe Genişlik Modülasyonu) :

Belirli bir frekanstaki bir sinyalin çalışma oranının (D) başka bir giriş sinyali ile kontrol edilmesi olayına darbe genişlik modülasyonu denir. Darbe genişlik modülasyonu bir çok elektrikli alette, anahtarlamalı güç kaynakları ve kuvvetlendiricilerin kontrol devrelerinde kullanılmaktadır
Çalışma oranı D aşağıda gösterildiği gibi th zamanının işaretin periyodu olan Ts zamanına bölünmesi olarak tanımlanır.



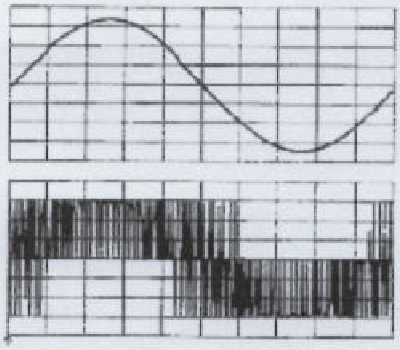
$D = \frac{t_h}{T_s} \quad 0 \leq D \leq 1$

SPWM (Sinüs Dalgalı Darbe Genişlik Modülasyonu) :

PWM yöntemi kullanılarak sinüs işaretinin elde edilmesidir. Bu yöntem sayesinde anahtarlama elemanını (IGBT, MOSFET) her periyot boyunca belirli bir oranlarda iletime ve kesime geçirerek sonuçta değişken genlikli sinüs işareti elde edilebilmektedir. SPWM ile anahtarlama elemanı üzerinde yalnızca anahtarlama anında kayıplar meydana gelir. Aksi taktirde anahtarlama elemanının (güç transistorleri) lineer (doğrusal) bölgede çalıştırılmasıyla daha fazla kayıp meydana gelmektedir.

Aşağıda gibi anahtarlama elemanının SPWM çıkışı ve bu çıkışın filtre edildikten sonraki sinüs şekli görülmektedir.

- 66/7-



Surge faktörü

Bu terim, çoğu zaman anlamı daha farklı ve alakasız olan KGK'nın surge bastırma özelliği veya surge engelleyicilerin özellikleriyle karıştırılıyor. Surge faktörü KGK'nın anlık aşırı yük kapasitesine işaret eder ve start-up sırasında geçici ekstra yüke ihtiyacı olan yükleri çalıştırabilme kabiliyetinin ölçüsüdür. Motorlar ve sabit diskler yüksek surge faktörüne sahip yüklere örnektir.

5.25" sabit disk sürücüsüne sahip sistemlerde surge faktörü sabit durum güç harcamasının yaklaşık 1.15 katıdır. 8", 10" veya 15" lik daha büyük sistemlerde surge faktörü sabit durum güç sarfiyatının yaklaşık 1.5 katıdır.

Surge faktörü iyi olan Kesintisiz Güç Kaynağı sistemleri, Kesintisiz Güç Kaynağı tam yükteyken bile tipik sabit disk yüklerini çalıştırabilecek surge faktörü yeteneğine sahiptir. Çok geniş form faktörlü sabit disk sürücülü (8" üstü) sistemlerde daha büyük boyut, Kesintisiz Güç Kaynağı'nın güvenlik sigortasını kullanmasını önlemek için gerekli olabilir.

Sag

Sag (çöküntü) surge'ün zıttıdır. Bunlar uzun süreli düşük gerilim durumlarıdır. Topraklama hataları, zayıf güç sistemleri, büyük elektriksel yüklerin ani start-up'ları gerilim çöküntülerinin tipik sebepleridir. Yıldırım düşmesi de ayrıca çöküntülerin önemli bir nedenidir. Çöküntüler, bilgisayarlara karşı ciddi bir tehdit oluşturabilir. Çöküntüler disk sürücüleri yavaşlatabilir, okuma hatalarına ve hatta çökmelerine sebep olabilir.

Spike

Bilgisayar çalışmalarını sekteye uğratabilecek hatta ekipmana zarar verebilecek yüksek genlikli anlık olaylardır. Spike çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. En önemli neden yakın, uzak bir yere veya enerji iletim hatlarına düşen yıldırımlardır. Bunlar gerilimde büyük sıçramalara neden olabilirler.

Spike oluşturan diğer olaylar, büyük elektronik yüklerin veya şebekenin açılıp kapanması ve statik deşarjdır. Spike sonucunda oluşabilecek en yıkıcı olay donanımın zarar görmesidir. Yüksek gerilim darbeleri mikroçip yollarında (traces) delikler açabilir. Bazen bu hasar hemen kendini gösterir; bazen de olaydan günler, haftalar boyunca kendini göstermeyebilir. Zarar görmüş data, yazıcı, terminal veya data işleme hataları daha az tehlikeli sonuçlardır.

Surge

Bir periyottan uzun süren aşırı gerilimlerdir. Surge, büyük miktarda güç çeken hattaki bir cihazın aniden durması veya kapatılması sonucu oluşabilir. Şebekeler büyük yükleri hat dışında anahtarladıkları zaman surge oluşabilir. Bir surge'ün büyüklüğünden çok süresi önemlidir. Uzun veya sık surge'ler bilgisayar donanımına hasar verebilir.

Gürültü

Normal sinüs dalganın üzerine binen çeşitli yüksek frekans darbeleri için kullanılan kollektif bir terimdir. Genliği birkaç mV'den birkaç V'ye kadar değişebilir. Özellikle tehlikeli bir problem, radyo frekans (RF) gürültüsüdür. RF gürültüsü, elektrik kabloları üzerinde dolaşan yüksek frekanslı sinyallerden oluşur. RF gürültüsü, yıldırım çarpması, radyo iletimleri ve bilgisayar güç kaynakları tarafından yaratılabilir. Gürültü, hatalı data iletimine ve bilgisayar işlem, yazıcı ya da terminal hatalarına sebep olabilir.

Brownout

Dakikalar, hatta saatler süren uzun süreli düşük gerilim durumlarıdır. Tepe akım isteği kapasitenin üzerinde olduğu zaman şebekeler tarafından yaratılırlar. Brownout, lojik devre ve disk sürücüleri düzgün çalışmaları için gerekli gerilimden mahrum bırakarak hatalı çalışmalarına veya donanım hasarlarına sebep olurlar.

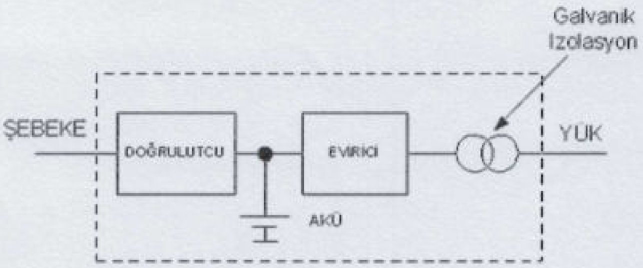
Blackout

Dakikalar, saatler hatta günler süren 0 (sıfır) gerilim durumlarıdır. Enerji dağıtım şebekesine, taşıyabileceğinden daha fazla yük bindirildikçe daha sık meydana gelirler. Blackout, topraklama hataları, kazalar ve doğal afetler yüzünden oluşabilir. En mühim etkisi sistem çökmelerine sebep olmasıdır. Güç aniden kesildiğinde disk sürücüler veya diğer sistem bileşenleri zarar görebilir.

Galvanik İzolasyon :

Kesintisiz Güç Kaynaklarında evirici çıkışının bir çıkış trafosu üzerinden yüke verilmesini ifade eder. Bu şekilde yük yalıtımlı bir kaynaktan beslenmiş olur. Aynı zamanda bu trafo filtrelemeye de etki ederek çıkışın daha düzgün olmasını sağlar. Çıkış trafosunun bir diğer etkisi ise yükü aşırı gerilimlerden korumaktır. Örneğin Kesintisiz Güç Kaynağı yıldırım düşmesi gibi yüksek gerilime maruz kaldığında çıkıştaki yük bu izolasyon trafosu sayesinde etkilenmez.

- 66/8-



Watt Veya Volt-Amper

Çoğu insan, Kesintisiz Güç Kaynağı yükü boyutlandırması için kullanılan Watt ve Volt-Amper (VA) arasındaki ayrımda karışıklığa düşer. Birçok üretici de bu konuda, bazen iki büyüklüğü hatalı bir şekilde eşit ele alarak bu karışıklığa sebep olmaktadırlar.

Büyük sistemler daima VA ile ölçülür. Karışıklık, büyük sistemlerin (1 kVA - 500 kVA) Watt yerine VA ile ölçülmesine bağlı olarak küçük (1000 VA altı) Kesintisiz Güç Kaynağı pazarı için geçerlidir. Küçük Kesintisiz Güç Kaynağı sistemleri için Watt derecelendirilmesinin kullanımı, küçük Kesintisiz Güç Kaynağı kullanıcısının "Watt" kavramına aşina olmasındandır. Fakat VA derecelendirme sistemi Kesintisiz Güç Kaynağı'nın yükünü karşılamada daha iyidir. Bu doğrudur çünkü bir Kesintisiz Güç Kaynağı'nın çıkış kapasitesini sınırlayan temel faktör, onun çıkış akımı kapasitesidir ve bu faktör, "Watt" dan daha çok VA derecelendirilmesine uygundur.

Watt değeri, daima VA değerine eşit veya ondan küçük olmalıdır.
AC güç ölçümleri aşağıdaki gibi ilişkilendirilebilir:

Watt = VA x Güç Faktörü = Volt x Amper x Güç Faktörü
(Volt = 110 veya 220
Amper = yük akımı
Güç Faktörü = 0 ile 1 arasında bir değerdir.)

0 ve 1 arasında bir sayı olan güç faktörü, yüke yararlı enerji sağlayan yük akımının parçasıdır. Sadece bir elektrikli ısıtıcıda veya bir ampülde güç faktörü 1'e eşittir; diğer bütün ekipman için yük akımının bir kısmı yüke güç sağlamadan yüke girer ve çıkar. Distorsiyon veya reaktif akımdan oluşan bu akım, elektronik yükün doğasının bir sonucudur. Yüke bağlı olarak zorla varolan distorsiyon veya reaktif akım, VA değerinin Watt değerinden büyük olmasına yol açar. Watt derecelendirme sistemi, VA sisteminde güç faktörünün 1 olduğu özel bir durum olarak düşünülebilir.

Bir Bilgisayarın Watt Cinsinden Değeri VA Değerinin %60 - %70'idir
Tüm modern bilgisayarlar, anahtarlama tipi konvertörün giriş özelliklerine bağlı olarak 0.6 ile 0.7 arası güç faktörüne sahip kapasitör girişli anahtarlamalı güç kaynağına sahiptir. Kişisel bilgisayarların güç faktörü 0.6'ya ve daha büyük sistemlerin ise 0.7'ye yakındır. "Güç faktörü düzeltilmiş güç kaynağı" adlı güç kaynağı yeni olarak tanıtıldı. Bu tip güç kaynağı için giriş güç faktörü 1'e eşittir. Yakın gelecekte bu güç kaynakları yaygın olarak kullanılacaktır.

Bir Bilgisayar Yükü İçin Kesintisiz Güç Kaynağı Watt Cinsinden Değer VA Değerinin Daima %60-%70'idir.
Kesintisiz Güç Kaynağı sistemleri VA sınırlı cihazlar olduğu için tüm bilgisayar yükleri 0.6 ile 0.7 arası güç faktörüne sahiptir. Bilgisayar tipi yükler için KGK'nın Watt cinsinden değeri Kesintisiz Güç Kaynağı VA değerinin %60-%70'i olmalıdır.

Kesintisiz Güç Kaynağı üreticileri "Watt" dedikleri zaman VA ima edebilirler
Bir KGK üreticisi ayrı bir güç faktörü veya VA değeri olmadan bir KGK Watt değeri belirlerse kullanıcı, bu değerin '1' güç faktörünü kullandığını göz önünde tutmalıdır. Bu, üreticinin ürünü için VA değeri verdiği ve bilgisayar yükleri için Watt değeri bunun %60-70'i olacak demektir. Yük boyutları örneklerinde yük akımıyla yük geriliminin çarpımının KGK Watt değerinden küçük olması gerektiği üretici tarafından genellikle belirtilir. Bu bir sırdır çünkü bu değer Watt cinsinden değil VA cinsindendir. Bundan dolayı 100W'lık bir KGK 100W'lık ampulü taşıyabilir fakat sadece 65W'lık bilgisayar kapasitesi olacaktır.

Çoğu Bilgisayarın Güç İhtiyaçları VA İle Verilir
Çoğu üretici güç ihtiyaçlarını VA veya Amp olarak verir (Amp durumunda, AC gerilimi ile çarpın). Son olarak üreticiler bilgisayar ekipmanı için Watt değerleri vermeye başladılar. Fakat VA hala en genel kullanılanı. Bundan dolayı bir KGK sistemini VA ile ölçmek yük için boyutlandırırken çoğu durum için en az karışık olanıdır. APC, tüm Kesintisiz Güç Kaynağı ürünleri için VA ve Watt değerlerini vermektedir. Ürünün model numarası VA değerini içerir ve bu değer 0.65 ile çarpılırsa Watt değeri elde edilir.

Örnek:

Bir sistemin güç tüketim değerleri aşağıda ölçüldüğü gibidir:

ToplamWatt	=	230	W
Toplam Amp	=	3.04	A
AC Gerilim	=	120	V
Toplam VA	=	365	VA
Güç Faktörü	=	0.63	

Benzer sonuçlar 230V AC gerilimi için de elde edilmiştir.

Cold Start:

Kesintisiz Güç Kaynağı'nın girişinde şebeke yoksa ve cihaz kapalı durumda ise KGK çalışabilmek için aküden çalıştırılmaya gerek duyar. Bu durumdaki KGK'yı çalıştırmaya Cold Start denmektedir.

Soft Start (Yumuşak Kalkış):

Bir sistemdeki güç ünitesinin her çalıştırıldığında, minimum güçle çalışmaya başlayıp, maksimum güce belirli bir yumuşak ivmeyle otomatik olarak çıkmasıdır. Motorların ve KGK'ların çalıştırılmaya başlamasında enerji hattının ve sistemin güvenilir çalışmasında gerilim veya akım sıçramalarının önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

KGK giriş enerjisi kesildikten sonra jeneratör veya yeniden şebekeye geçişte KGK yükünün belirli bir aralıkta yumuşak olarak kaynağa geçmesini sağlayan standart bir özelliktir. Eğer bu opsiyon alınmış olan KGK'da bulunmuyorsa Kesintisiz Güç Kaynağı enerji kesildikten sonra jeneratör / Şebekeye geçişte bir darbe akımı verecek ve özellikle jeneratörün devrini düşürerek jeneratör frekansının dalgalanmasına hatta jeneratörün bayılmasına neden olacaktır. Bu nedenle büyük güçlü On-Line KGK'larda zorunlu olarak bulunması gereken bir özelliktir. UPS aldıktan sonra bunu kontrol etmenin en güzel yolu UPS giriş akımını bir pense ampermetre ile veya kendi panonuzdan gözleyerek 10 saniyelik yumuşak geçiş süresince ampermetrenin yavaşça yükseldiğini izlemektir.

- 66/9 -

MTBF (Mean Time Between Failures)

Bir sistemin parçalarının ve birimlerinin bozulma oranlarının analizidir. Bu analizlerde kullanılan genel modeller vardır. Bu modeller parçaların hata oranlarının hesaplanması için gerekli prosedürleri sağlarlar. Hesaplanan bu hata oranları kullanılarak da MTBF değeri hesaplanabilir. Güç kaynaklarının güvenilirliği de birimi saat olan MTBF kullanılarak değerlendirilebilir.

MTTR (Mean Time To Repair)

MTTR sistemlerin bakım ve onarımlarıyla ilgili bir kavram olup, bir sistemdeki veya üründeki tüm değişebilir parçaların bakım ve onarımını yapmak için gerekli olan ortalama tahmini zamandır. Sistemin tamir edilebilme süresi tahmini sistemde bir arıza olması durumunda ne kadar sürede tamirinin yapılacağını ifade ettiği için sistemlerin güvenirliğini belirleyici etkenlerdendir.

Inrush Akımı (Boşta devreye girme akımı)

Anahtarlamalı güç kaynaklarının ilk çalışmaya başladıkları anda yapılarındaki kapasite ve endüktanslardan dolayı çektikleri geçici yüksek akımlardır. Yüksek değerli filtre kapasitansları ilk başta kısa devre gibi davrandıkları için yükselme zamanı kısa dalgalı akım çekerler. Bu akımlar genellikle şebekeye bağlı diğer cihazlara zarar verebilirler.

Demeraj akımı:

Elektrik motorlarının yön değiştirmesi veya kalkınma anında sistemden nominal akımın 3-5 katı fazla akım çekmesidir. Bu olaya motorun geçici rejimidir ve 4-5sn sürer daha sonra motor nominal değerinde akım çeker. Bu sırada aşırı yüklenmeden dolayı motorun bağlı olduğu enerji hattında da gerilim düşebilir. Demeraj akımının azaltılması ve gerilim düşmesini önlemek için, motora yol verilmesi yıldız/üçgen bağlantıyla yada soft-start (yumuşak kalkış) yöntemleri gibi statik yol verme veya motor kontrol cihazları kullanılmasıdır.

Verim

Verim genel anlamı ile bir sistemin kullanılabilir çıkış gücünün, giriş gücüne oranıdır. Verim η, güç P ile gösterilmek üzere sistemin verimi;

$$\eta_{Sistem} = \frac{P_{Çıkış}}{P_{Giriş}}$$ olmaktadır.

Bu sistem KGK, motor veya jeneratör olabilir. Tüm bu sistemlerde girişe uygulanan enerjinin bir kısmı sürtünme kaybı ve/veya elektriksel kayıplardan dolayı ısı enerjisine dönüşür ve sistemin veriminin düşmesine neden olur.

Motorda giriş elektriksel, çıkış mekanik güçtür, jeneratörde giriş mekanik, çıkış ise elektriksel güçtür. Her iki sistemde de sürtünme ve elektriksel kayıplar verimi düşürür.

KGK'da ise giriş de çıkış da elektriksek güçten oluşur. Verimi düşüren etkenler elektriksel anahtarlama elemanları (IGBT, tristör), trafolar, şoklar, çıkış ve giriş filtreleri, kontrol-ölçüm devre kartları ve kayıplardan dolayı ortaya çıkan ısı enerjisini cihaz dışına atmak için kullanılan soğutma fanlarıdır.

Ayrıca KGK'yı evirici ve doğrultucudan oluşan iki ayrı parçadan oluştuğu düşünülürse Kesintisiz Güç Kaynağı'nın verimi evirici ve doğrultucu verimlerinin çarpımına;

$$\eta_{Sistem} = \eta_{Doğrultucu} x \eta_{Evirici}$$ eşit olmaktadır.

SNMP (Simple Network Management Protocol)

Bu modül ile TCP/IP protokolü sayesinde KGK'ya bağlı bir PC gerektirmeden KGK'nın WAN veya LAN ağının bir elemanı gibi (Internet ve ağ üzerinden) izlenmesini sağlar. Ağ tabanlı erişimi desteği sayesinde KGK'ya gerçek zamanlı olarak erişilebilir.
SNMP Modülü ile birlikte verilen yazılım ile ağa bağlı birden fazla KGK görüntülenebilir ve KGK'dan alınan bilgiler işlenebilir.

Ana Sayfa

- Kaynaklar

- N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, (Çevirenler: Nejat Tuncay, Metin Gökaşan, Seta Boğosyan) Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım, Literatür, 2003
- O. Gürdal, Güç Elektroniği Analiz, Tasarım, Simülasyon, Nobel Yayın, 2000
- İ. İlisu, Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği, Yeni Yönetmeliğin Getirdikleri, 2002

Şimdi, tam devir sayısındaki ilk harekete geçme gücünü hesaplıyalım.

$\vartheta_{max.} = 20$ m/sn (Max. halat hızı S: 29)

$n_{max.} = 51$ d/d (Koepe ihraç tanburunun max. devir sayısı S: 58)

$\omega_{max.} = 5{,}34$ rad/sn (Max. açısal hız)

$Md_{top.(0-10)sn.} = 120125$ kgf.m (0...10 sn. aralığındaki döndürme momenti. S: 50)

$$P = M_d \frac{\vartheta}{75 \cdot r} \quad (S: 49)$$

$$P = M_d \cdot \frac{r \cdot \omega}{75 \cdot r} = M_d \cdot \frac{\omega}{75}$$

$$P_1 = 120125 \cdot \frac{5{,}34}{75} \longrightarrow \| \underline{P_1 = 8553 \text{ BG}}$$

veya, Eşitlik 52 de kullanılabilir.

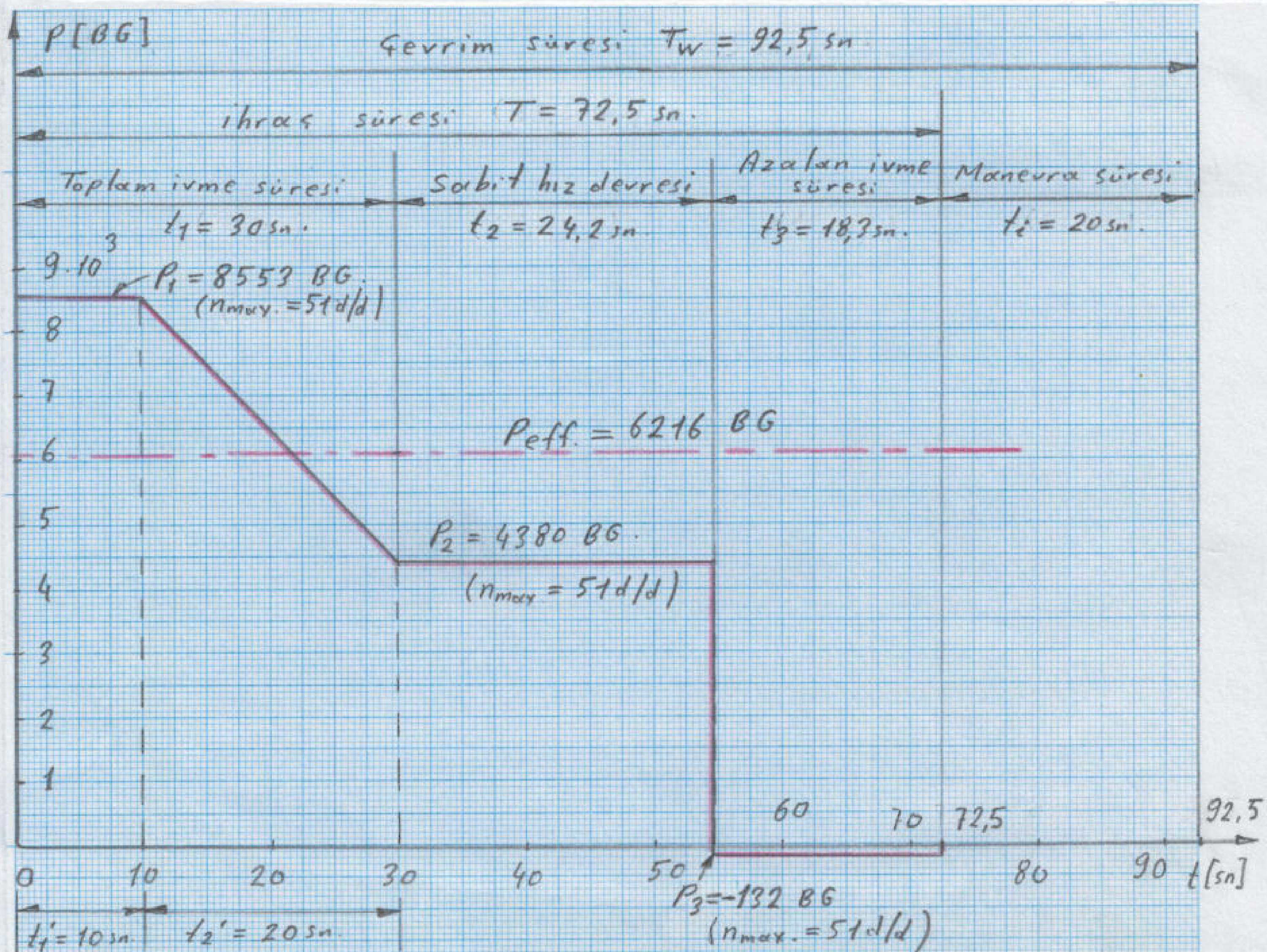
Tam devir sayısındaki ilk harekete geçme gücünü ($P_1 = 8553$ BG) sabit kabul edip yeni bir $P = f(t)$ diyagramı çizelim (Şekil 14).

Şekil 14 deki diyagrama göre, Koepe ihraç motorunun nominal gücü (Karesel ortalama güç, Etkin güç veya Efektif güç);

$$P_n = P_{eff.} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1' + \frac{1}{3}(P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2)\, t_2' + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{T_W}} \quad \text{--- (54)}$$

formulüne göre hesaplanır (S: 64/1).

Burada T_W, toplam iş peryoduna karşılık gelen süredir (Çevrim süresi)



Şekil 14 - Max. hız ($v = 20$ m/sn) veya max devir sayısında ($n = 51$ d/d), $P = f(t)$ diyagramı

Çevrim süresi T_W;

- Prof. Dr. Hellmut ERNST'e göre (S: 64/1);

$$T_W = 92,5 \text{ sn.}$$

- Mining Mechanical Engineering R. KHADZHIKOV, S. BUTAKOV'a göre;

Denge halatlı (statik dengelenmiş) ve silindirik (sabit yarıçaplı) tanburlu vinç sistemleri için eşdeğer kuvvet (örneğin; Şekil 20.6 b deki – S: 54 – üç hız kademeli diyagrama göre);

$$F_{eş} = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_3^2 \cdot t_2 + F_5^2 \cdot t_3}{T'_w}} \quad \text{———} \quad (22.1)$$

formulünden hesaplanır. Burada

$$T'_w = k_{im}\,(t_1 + t_3) + t_2 + k_i \cdot t_i \quad \text{———} \quad (22.2)$$

dir.

k_{im} ve k_i katsayıları, kafesin (veya skip'in) hızlanma, yavaşlama ve manevra hareketleri ile ilgili olup, motorun havalandırılması da (dolayısıyla soğutulması) göz önüne alınarak kabul gören,

$$k_{im} = 0,5$$

$$k_i = 0,25$$

değerleri tavsiye edilmiştir. (Bizim hesaplarımız-dada T'_w kullanılacaktır.)

Sayfa: 64, 64/1 ve 68 göz önüne alınarak, Koepe ihraç motorunun, nominal gücü - efektif gücü etkin güç veya karesel ortalama gücü (RMS).

$$P_n = P_{eff.} = P_{RMS} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1' + \frac{1}{3}\left(P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2\right) t_2' + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{0,5\,(t_1 + t_3) + t_2 + 0,25\, t_i}} \quad \text{---} (55)$$

$$P_n = P_{eff.} = P_{RMS} = \sqrt{\frac{8553^2 \cdot 10 + \frac{1}{3}\left(8553^2 + 8553 \cdot 4380 + 4380^2\right) 20 + 4380^2 \cdot 24,2 + 132^2 \cdot 18,3}{0,5\,(30 + 18,3) + 24,2 + 0,25 \cdot 20}}$$

$$\| P_n = 6216 \text{ BG}$$

olarak bulunur.

%5 emniyet payı ile, seçilen motor gücü,

$$P_n = 6216 \cdot 1{,}05 = 6527 \text{ BG}$$

$$\underline{\| P_n = 6530 \text{ BG}}$$

dır

Şimdi, Şekil 13 ten faydalanarak Koepe ihraç motorunun, nominal döndürme momenti – efektif döndürme momenti – etkin döndürme momenti veya karesel ortalama döndürme momenti (RMS) ni hesaplıyalım

$$M_n = M_{eff} = M_{RMS} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + \frac{1}{3}(M_1^2 + M_1 M_2 + M_2^2) t_2' + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{0{,}5\,(t_1 + t_3 + t_2' + 0{,}25\, t_4)}} \quad (56)$$

$$M_n = \sqrt{\frac{120125^2 \cdot 10 + \frac{1}{3}(120125^2 + 120125 \cdot 61765 + 61765^2)\,20 + 61765^2 \cdot 24{,}2 + 1861^2 \cdot 18{,}3}{0{,}5\,(30 + 18{,}3) + 24{,}2 + 0{,}25 \cdot 20}}$$

$$\underline{\| M_n = 87427 \text{ kgf.m}}$$

Nominal gücü de M_n den faydalanarak hesaplıyabiliriz şöyleki,

$$M_n = 716{,}2 \frac{P_n}{n} \quad \text{(Eşitlik 53)}$$

$$87427 = 716{,}2 \cdot \frac{P_n}{51}$$

$$\underline{\| P_n = 6226 \text{ BG}}$$ (Daha önce hesaplanan 6216 BG)

Görüldüğü gibi karesel ortalama güç veya karesel ortalama moment hesap yöntemleri aynı sonucu veriyor. (6216 BG – 6226 BG)

Sonuç olarak

$$P_n = 6530 \text{ BG}$$

motor seçilir.

12- İhraç süresi başına tüketilen enerji miktarı (Yalnız ihraç motoru için)

Sayfa 50 deki cetvelide göz önüne alarak şekil 13-teki diyagramın alanını düşünelim. Bu alanı hesaplarken:

- (4260 BG .... 4380 BG) eğrisi altındaki alan 2 sn.lik aralıklarla yamuk alanlarına dönüştürülmüştür.
- t_3 frenleme zamanı sırasındaki P_3 gücünün mekanik frenlemeden dolayı oluştuğu düşünülmemiştir.

$P = f(t)$ alanı,

$$\begin{aligned} P[BG] \cdot t[sn] = {} & \frac{1}{2}\, 10 \cdot 4260 + \frac{1}{2}\, 2 \cdot (4260 + 4828) \\ & + \frac{1}{2} \cdot 2\,(4828 + 5232) + \frac{1}{2} \cdot 2\,(5232 + 5492) \\ & + \frac{1}{2}\, 2\,(5492 + 5633) + \frac{1}{2}\, 2\,(5633 + 5602) \\ & + \frac{1}{2} \cdot 2\,(5602 + 5542) + \frac{1}{2} \cdot 2\,(5542 + 5372) \\ & + \frac{1}{2} \cdot 2\,(5372 + 5101) + \frac{1}{2}\, 2\,(5101 + 4761) \\ & + \frac{1}{2} \cdot 2\,(4761 + 4380) + 4380 \cdot 24{,}2 + 132 \cdot 18{,}3 \end{aligned}$$

$$P\,[BG] \cdot t\,[sn.] = 233487 \text{ BG.sn}$$

İhraç motorunun verimi %92 alınırsa, ihraç motoru tarafından tüketilen elektirik enerjisi,

$$W = \frac{233487 \cdot 0{,}746}{3600 \cdot 0{,}92}$$

$$W = 52{,}6 \text{ kWh}$$

olarak bulunur.

Koepe İhraç SİSTEMİ

- V -

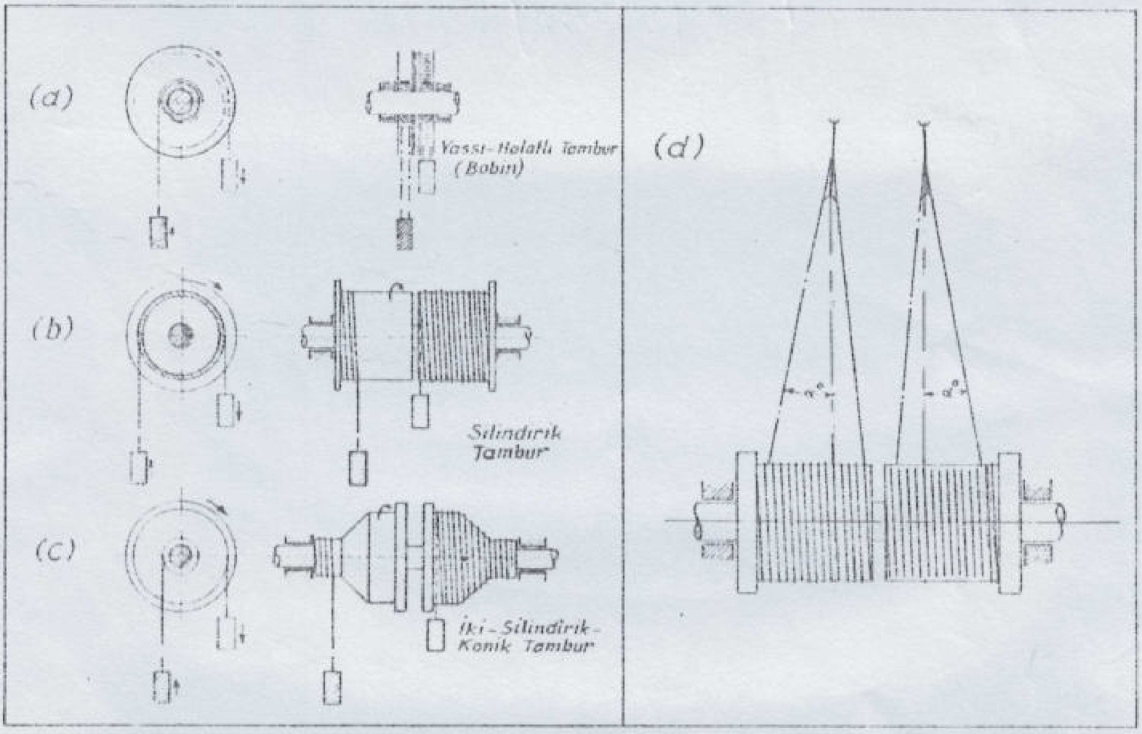
Ana Kaynak : Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe ihraç Sistemi. Eki.)

(6) Adet.

FAYDALI BİLGİLER

1- Koepe ihraç sistemi ile klasik tanbur sistemlerinin karşılaştırılması;

Yuvarlak tip halatların kullanıldığı silindirik halat tanburlarında halatların sarımları yan yana birbirlerini takip ederler (şekil 15). Kuyu derinliği ve dolayısıyla halat uzunluğu sarım sayısını veya tanbur genişliğini tespit eder. Tanbur genişliğinde halat sapma açısı $\alpha = 1°30'$ maksimum değerini aşamaz.



Şekil 15- Klasik tanbur sistemleri ve halat sapma açısı.

Yuvarlak ve yassı tip halat tanburlarının;

- Avantajları :

– Birkaç kattan üretimin yapılabilmesi,

– Kuyu derinleştirmelerinde artan derinliğe uyum sağlıyabilmesi,

- Konik tanburlar üzerinde, halat sarımlarına karşılık gelen çapların çeşitliliği nedeniyle ilk harekete geçme momentinin düşük olması,
- Kafes - halat bağlantı mekanizmasına bağlanan halatta uç kesiminin yapılabilmesi

sıralanabilir.

- Dezavantajları :
  - Tanbur çok geniştir, buna bağlı olarak ilk yatırım maliyeti artar (temel ve ihraç dairesinin büyüklüğü v.s)
  - Silindirik tanburlarda kaide olarak denge halatları kullanılmadığından, ilk harekete geçme momenti daha büyüktür.
  - Tanbur çapları, kullanılan halat çapına uygun olarak müsaade edilen sapma açısı ile, bütün halat uzunluğunun tanbura sarılması istenir
  - Her kafes katındaki manevralardan dolayı, ihraç sayısının dolayısıyla ihraç tonajının azalmasına neden olur.
  - Büyük kütleleri harekete geçirmek için ilk hareket anında yüksek bir güce ihtiyaç vardır.

şeklinde özetlenebilir.

Koepe ihraç sisteminin,

- Avantajları :
  - Kapladığı yer tasarrufu nedeniyle ilk yatırım maliyeti daha düşüktür,
  - Tanbur genişliğinin klasik tiplere göre daha

küçük olması ağırlıklarının daha hafif olmasına olanak sağlar (GD^2 nin daha az olması gibi).

– Tanbur mili daha kısa çapı daha küçüktür

– Bugün, büyük derinliklerde yapılan üretimlerde yeraltında farklı katlardaki klasik tip tanbur sistemlerinin yerine bu işi bir defada yapabilen Koepe ihraç sistemleri her zaman tercih edilebilir hale gelmiştir.

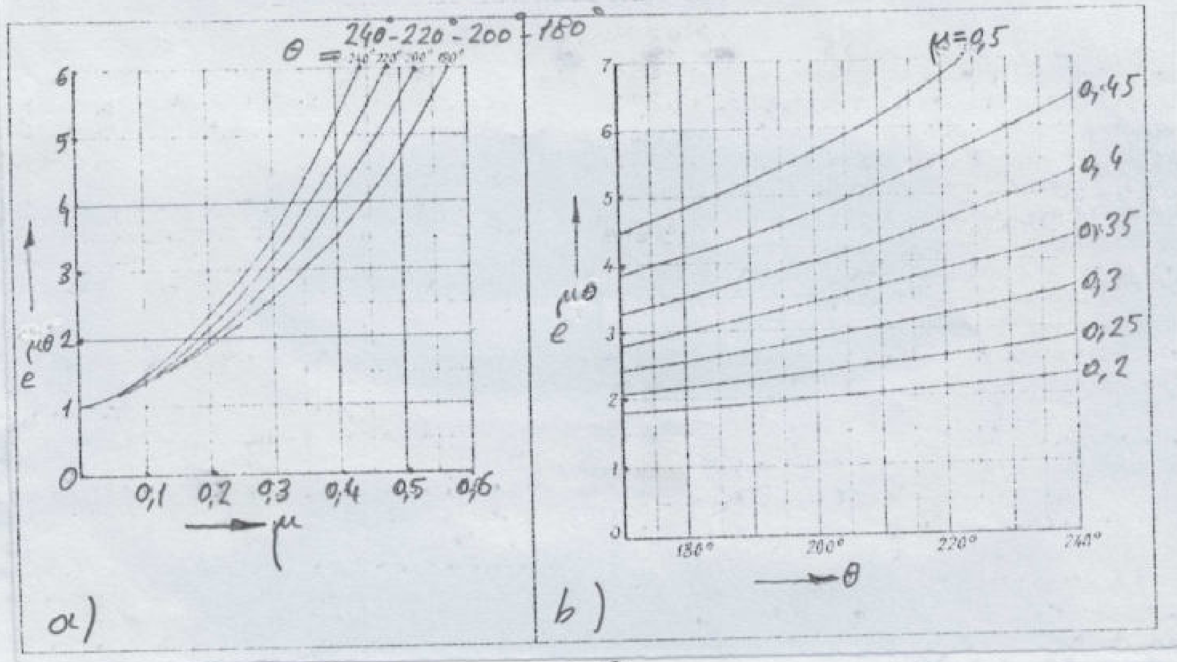
– İlk harekete geçmede, kütleye ivme kazandırmak için tüketilen enerji miktarı daha azdır yani, enerji tasarrufu vardır.

– Hareket eden kütle ağırlığının daha hafif olması, kolaylıkla kontrolunu ve dolayısıyla ihraç motorunun kısa zamanda başlamasını sağlar. Başka bir deyişle, ihraç seferinin "sefer sayısı / saat" artar bunun etkiside ihraç edilen üretimde görülür.

2- $e^{\mu\theta}$ değerlerinin diyagramdan okunması,

Halat - halat yuvası arasında kayma olmaması için, $T_1 \leq T_2 . e^{\mu\theta}$ (Eşitlik 1) koşulunun sağlanması gerekirdi.

$e^{\mu\theta}$ değerleri; θ sarım açısı ve μ sürtünme katsayının fonksiyonu olarak Şekil 16a ve Şekil 16b deki diyagramlardan okunabilir.



Şekil 16- $e^{\mu\theta}$ değerleri.

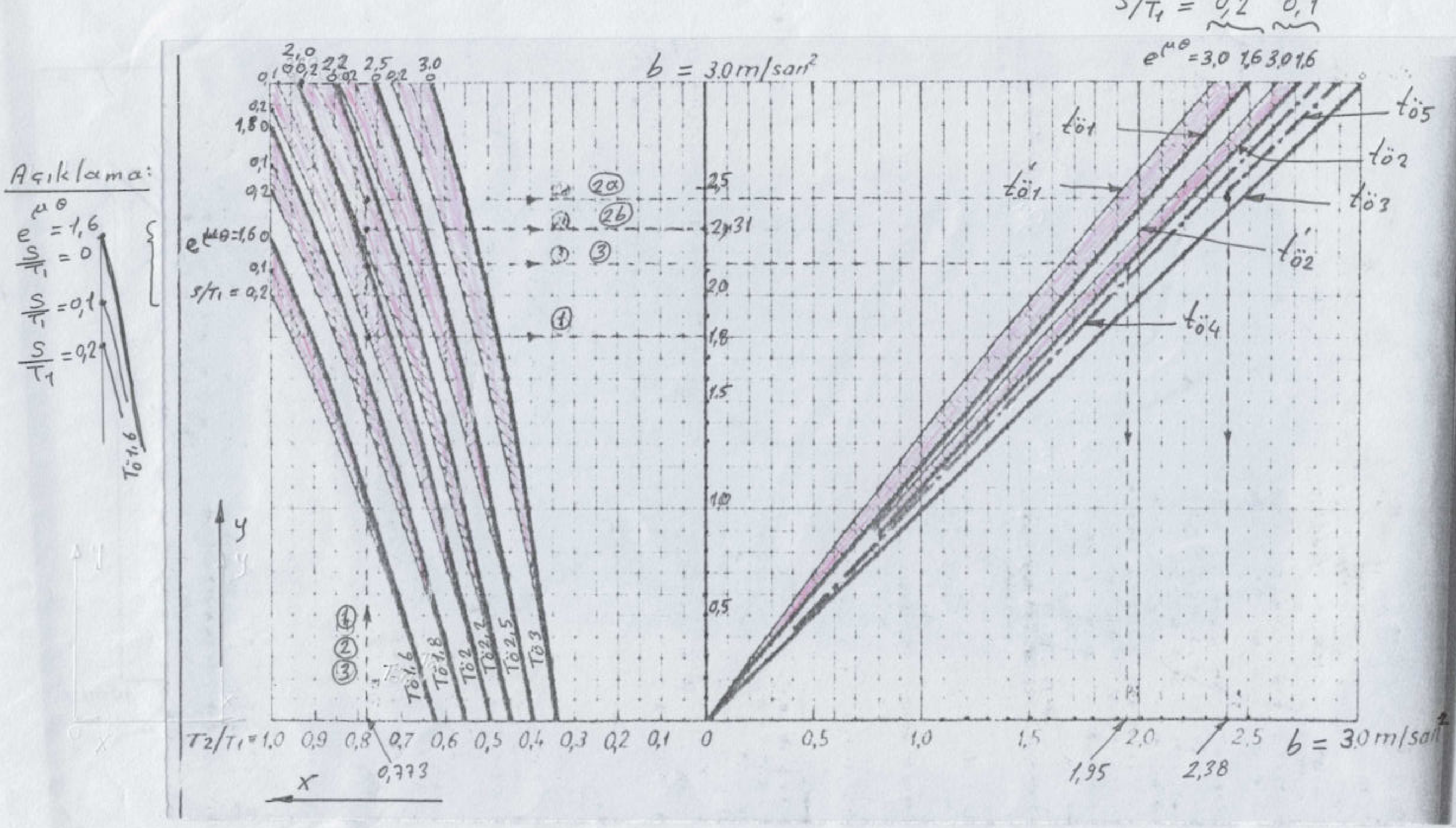
3- Halat kayma riski koşulunun, diyagram üzerinde incelenmesi, önce, adı geçen şekil 17 deki diyagramı tanıtalım.

Diyagramın sol tarafı,

x-ekseni → T_2/T_1 oranlarını
y-ekseni → $e^{\mu\theta}$ ve S/T_1 değerlerini } ifade ederler.

$e^{\mu\theta}$ değerleri,

$e^{\mu\theta} = 1{,}6 - 1{,}8 - 2{,}0 - 2{,}2 - 2{,}5 - 3{,}0$ olan kalın çizgilerle ($T_{ö1,6}$ ...... $T_{ö3,0}$ eğrileri) belirlenmiştir. Kılavuz makaraların olmaması, ($S_1 = 0$, $S_2 = 0$) halinde, Eşitlik 29 'a göre bir ihraç sistemine uygulanabilen artan veya azalan ivmeler, diyagramın ortasındaki y- ekseni üzerinden okunabilir.



Şekil 17- Halat kayma riski koşullarını içeren diyagram.

Eşitlik 31'e göre, yüksüz halatta çalışan bir kılavuz makara veya bir şövalman moletinin olması halinde $(S_1 = 0)$ diyagramın kullanılabilir eğrileri ince çizgilerle ($S/T_1 = 0,2 - 0,1 - 0$ eğrileri) gösterilmiş olup, $S/T_1 = 0,2 - 0$ aralıkları sınırlandırılmış ve taranmıştır. (0 - eğrileri aynı zamanda $e^{\mu\theta} = 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,2 - 2,5 - 3$ eğrileridir). Taranmış olan bu alanlar yardımıyla, artan veya azalan ivme değerleri diyagram ortasındaki y-ekseni üzerinden okunabilir.

Diyagramın sağ tarafı;

Her iki taraf (yüklü ve yüksüz halatlarda çalışan) için kılavuz makaraların veya şövalman moletlerinin olması halinde (yani iki kılavuz makara veya iki şövalman moletinin olması hali), Eşitlik 28'e göre diyagramın kullanılabilir eğrileri kalın çizgilerle $t_{ö1}, t_{ö2}, t_{ö3}$ eğrileri çizilmiştir.

$t_{ö1}$ eğrisi $\longrightarrow \dfrac{S}{T_1} = 0,2 \;,\; e^{\mu\theta} = 1,6$ } Değerlerine

$t_{ö2}$ " $\longrightarrow \dfrac{S}{T_1} = 0,1 \;,\; e^{\mu\theta} = 1,6$ } karşılık gelmektedir.

Bu eğrilere ilâveten, ince çizgilerle ($t'_{ö1}, t'_{ö2}$ eğrileri) çizilmiştir.

$t'_{ö1}$ eğrisi $\longrightarrow \dfrac{S}{T_1} = 0,2 \;,\; e^{\mu\theta} = 3$ } Değerlerine

$t'_{ö2}$ " $\longrightarrow \dfrac{S}{T_1} = 0,1 \;,\; e^{\mu\theta} = 3$ } karşılık gelmektedir.

$t_{ö3}$ eğrisi, diyagramın sol tarafında bulunan $T_{ö1,6} \cdots T_{ö3}$ eğrilerine $\left(\frac{S}{T_1} = 0\right)$ karşılık gelmektedir.

Diyagramın sağında taranmış olan sınırlı alanlarda interpolasyonla (ara değer) ortalama ivme değerlerini bulmak mümkündür.

Yine diyagramın sağ tarafında, yalnız yüklü halatta çalışan bir kılavuz makaranın olması halinde ($S_2 = 0$ ve Eşitlik 30), $\frac{S}{T_1} = 0,2$ alınarak noktalı-çizgili töç eğrisi çizilmiştir. Ayrıca $\frac{S}{T_1}$'in sıfırdan (45° olan noktalı-çizgili töç eğrisi) 0,2 ye kadar olan değerleri için, ortalama değerler noktalı-çizgilerle sınırlandırılmış alanda interpolasyon yapılarak bulunur.

Diyagramın kullanılmasını daha iyi anlıyabilmek için 3 sayısal örnek verelim.

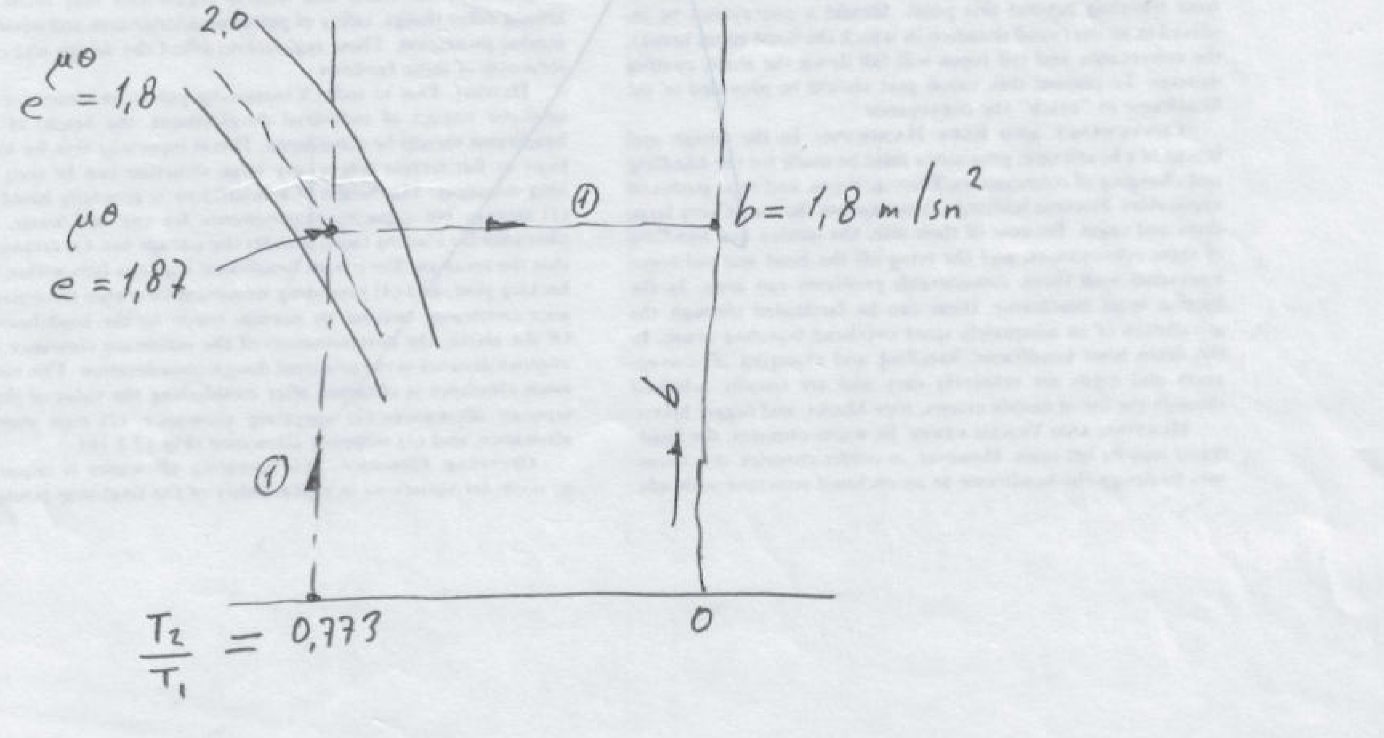
Örnek 1 : Kılavuz makarasız ihraç sistemi.

Örnek 2 : Bir kılavuz makaralı ihraç sistemi.

Örnek 3 : iki şövalman moletli ihraç sistemi.

Karakteristik değerler Sayfa : 80 de verilmiştir.

<u>Örnek 1</u> : Kılavuz makarasız sistem yani diyagramın sol tarafını kullanacağız.



		Örnek → 1	2	3
Yüklü halat çekme kuvveti	T_1 [tonf]	44	44	44
Yüksüz halat çekme kuvveti	T_2 [tonf]	34	34	34
T_2 / T_1 oranı	—	0,773	0,773	0,773
Şovalman moleti veya kılavuz makaralarının ağırlığı	S [tonf]	0	3,4	3,4
Sürtünme katsayısı	μ	0,2	0,2	0,2
Tanbur-halat temas açısı	θ [°]	180	220	200°
	θ [rad.]	π	$1,222\pi$	$1,111\pi$
Halat çekme kuvvetleri oran sabiti	$e^{\mu\theta}$	1,8744	2,155	2,0098
	$\frac{S}{T_1}$ →	0	0,0773	0,0773

$$\left.\begin{array}{l} \frac{T_2}{T_1} = 0{,}773 \\ e^{\mu\theta} = 1{,}87 \\ S_1 = S_2 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \; b = 1{,}8 \; m/sn^2 \quad (\text{şekil } 17)$$

Eşitlik 29 u kullanırsak,

$$b_A \leq g \frac{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} + 1} = 9{,}81 \frac{0{,}773 \cdot 1{,}8744 - 1}{0{,}773 \cdot 1{,}8744 + 1}$$

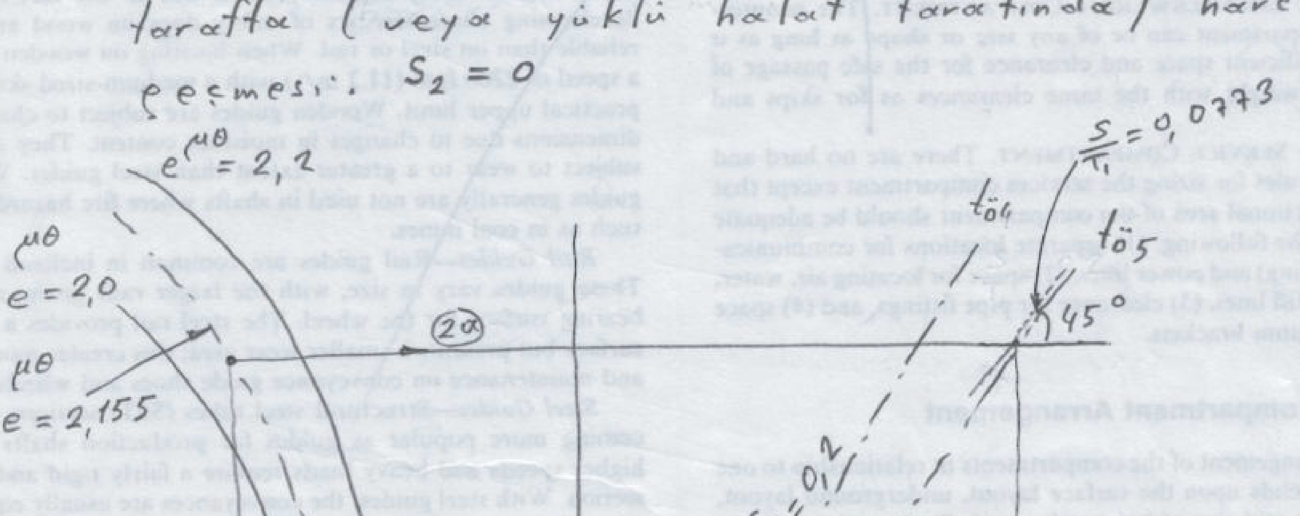
$$\boxed{b_A \leq 1{,}8 \; m/sn^2}$$

aynı sonuç bulunur.

Örnek 2. Bir kılavuz makaralı sistem

a) Faydalı yükün, kılavuz makaranın bulunduğu tarafta (veya yüklü halat tarafında) hareket etmesi. $S_2 = 0$

$e^{\mu\theta} = 2{,}2$



$$\frac{T_2}{T_1} = 0{,}773$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{T_2}{T_1} &= 0{,}773\\ e^{\mu\theta} &= 2{,}155\end{aligned}\right\} \longrightarrow \left.\begin{aligned}&tö4\ \left(\frac{S}{T_1}=0{,}2\right)\\ &tö5\ \left(\frac{S}{T_1}=0\right)\end{aligned}\right\} \frac{S}{T_1}=0{,}0773 \rightarrow \parallel \underline{b_a = 2{,}38\ m/sn^2}$$

(şekil 17)

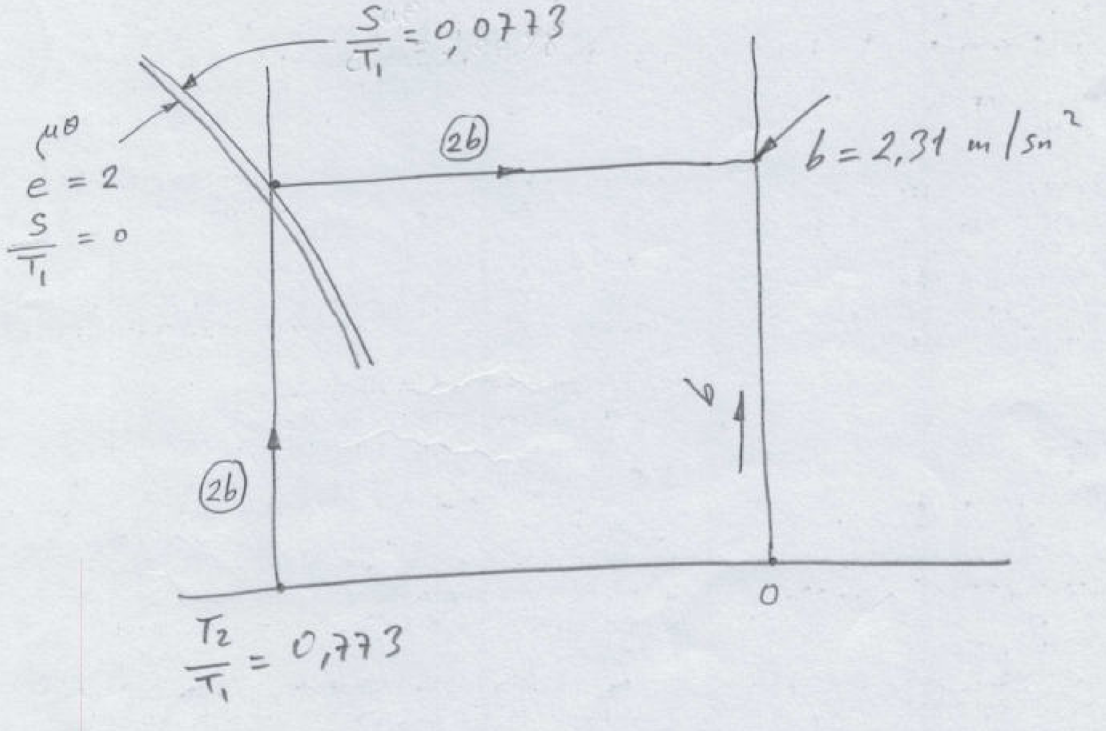
Eşitlik 30'u kullanırsak,

$$b_A \leq g\,\frac{\frac{T_2}{T_1}e^{\mu\theta}-1}{\frac{T_2}{T_1}e^{\mu\theta}+1+\frac{S_1}{T_1}} = 9{,}81\,\frac{0{,}773 \cdot 2{,}155-1}{0{,}773 \cdot 2{,}155+1+0{,}0773}$$

$$\parallel \underline{b_A = 2{,}38\ m/sn^2}$$

aynı sonuç bulunur.

b) Faydalı yükün, kılavuz makaranın bulunmadığı tarafta (veya yüksüz halat tarafında) harekete geçmesi. $S_1 = 0$



$$\left.\begin{aligned}\frac{T_2}{T_1} &= 0{,}773\\ \frac{S}{T_1} &= 0{,}0773\end{aligned}\right\} \rightarrow \parallel \underline{b = 2{,}31\ m/sn^2} \quad \text{(şekil 17)}$$

Eşitlik 31'i kullanalım,

$$b_A \leq g \cdot \frac{\frac{T_2}{T_1} \cdot e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} + 1 + \frac{S_2}{T_1} e^{\mu\theta}} = 9{,}81 \cdot \frac{0{,}773 \cdot 2{,}155 - 1}{0{,}773 \cdot 2{,}155 + 1 + 0{,}0773 \cdot 2{,}155}$$

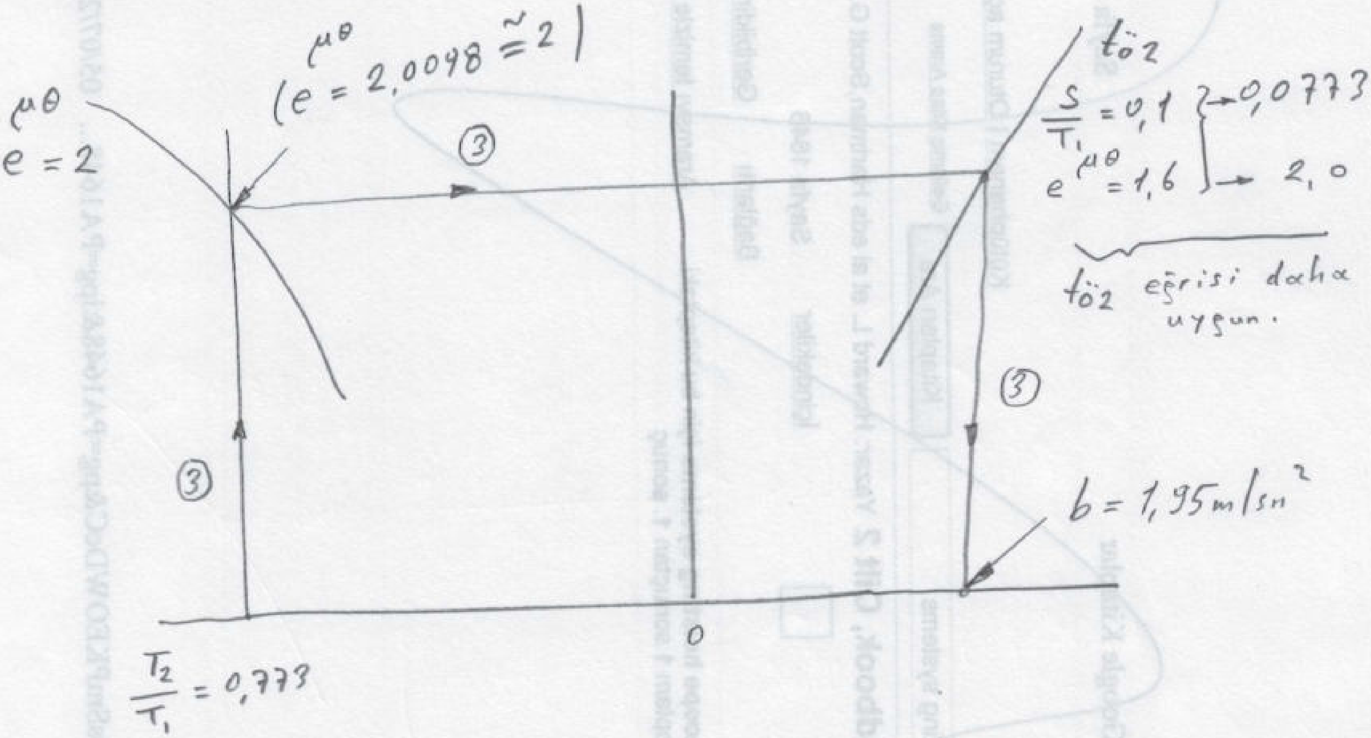
$$\| \, b_A \cong 2{,}31 \ m/sn^2$$

aynı sonuç bulunur.

(b) hali (a) haline göre daima arzu edilen durumdur.

İki şövalman molefli ihraç sistemi (Genel hal),

Örnek 3 :



$$\left.\begin{array}{l} \frac{T_2}{T_1} = 0{,}773 \\ e^{\mu\theta} = 2{,}0098 \ (\cong 2) \end{array}\right\} \rightarrow \left.\begin{array}{l} töz \left(\frac{S}{T_1} = 0{,}1\right) \\ töz \left(e^{\mu\theta} = 1{,}6\right) \end{array}\right\} \rightarrow \| \, b = 1{,}95 \ m/sn^2$$

(şekil 17)

Genel denklemi kullanalım,

$$b_A \leq g \frac{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} - 1}{\frac{T_2}{T_1} e^{\mu\theta} + 1 + \frac{S_2 e^{\mu\theta} + S_1}{T_1}} \quad \text{(Eşitlik 28)}$$

$$b_A = 9{,}81 \frac{0{,}773 \cdot 2{,}0098 - 1}{0{,}773 \cdot 2{,}0098 + 1 + \frac{3{,}4 \cdot 2{,}0098 + 3{,}4}{44}}$$

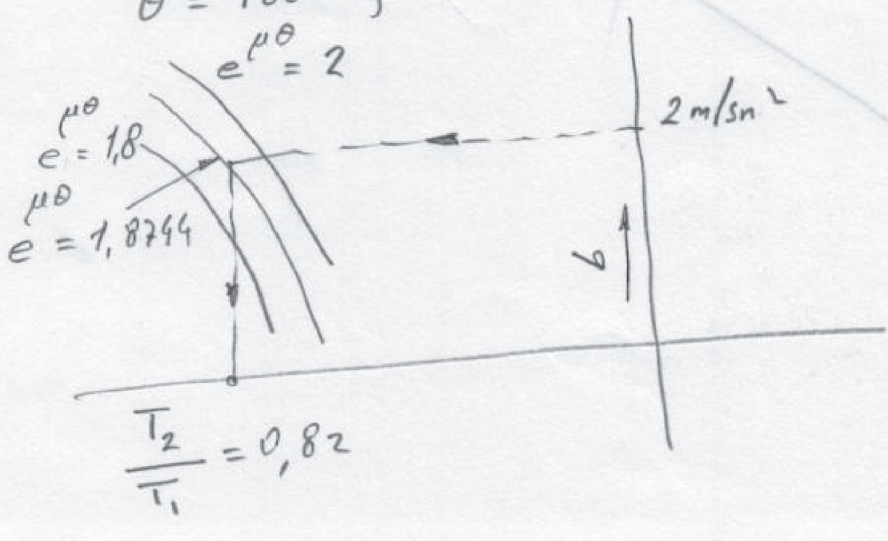
$$b_A = 1{,}95 \ m/sn^2$$

Aynı sonuç çıkar.

Şekil 17 deki diyagram, önceden tespit edilen artan veya azalan ivme değerlerine bağlı olarak müsaade edilen faydalı yükün belirlenmesindede kullanılabilir.

Örnek olarak; kılavuz makaraların kullanılmadığı bir ihraç sisteminde, frenleme ile $2 m/sn^2$ lik bir azalan ivmeye ulaşıldığında yüksüz halatın T_2 çekme kuvveti $T_2 = 38{,}5$ tonf olsun.

$\left.\begin{array}{l} \mu = 0{,}2 \\ \theta = 180° \end{array}\right\}$ kabulü ile $e^{\mu\theta} = e^{0{,}2 \cdot \pi} = 1{,}8744$



$$\left.\begin{array}{l} b = 2\ m/sn^2 \\ e^{\mu\theta} = 1{,}8744 \end{array}\right\} \longrightarrow \frac{T_2}{T_1} = 0{,}82 \quad (\text{şekil } 17)$$

$T_2 = 38{,}5$ tonf , $T_1 = 38{,}5 / 0{,}82$

$T_1 = 47$ tonf (Yüklü halatın çekme kuvveti)

Faydalı yük $= T_1 - T_2 = 47 - 38{,}5$

Faydalı yük $= 8{,}5$ tonf

olarak bulunur.

Diyagram, kuyu derinliği ile halat kayması arasındaki analizin yapılmasınada olanak verir şöyleki; örnek olarak, kuyu derinlikleri 240 m, 560 m, 1000 m ve 1350 m ve faydalı yükte 10 tonf olsun. Basitliği nedeniyle, kılavuz makaraları olmayan bir ihraç sistemi ve $\theta = \pi$ radyan, $\mu = 0{,}2$ seçelim.

D [m] - Derinlik	240	560	1000	1350
L [tonf] - Faydalı yük	10	10	10	10
T_1 [tonf] - Yüklü halat çekme kuvveti	25	32	44	54
T_2 [tonf] - Yüksüz halat çekme kuvveti	15	22	34	44
T_2/T_1 Oranı	0,6	0,688	0,773	0,815
$e^{\mu\theta}$ sabiti	1,8744	1,8744	1,8744	1,8744
b [m/sn²] → Diyagramdan	0,57	1,24	1,8	2

Yukarıdaki b ivme değerleri diyagramdan rahatlıkla okunur.

Bu hesap tablosunu biraz irdeliyelim:

- Derinliğin artmasıyla ihraçta daha büyük artan veya azalan ivme değerleri kullanılabilir,
- $\frac{T_2}{T_1}$ 'in büyük değerleri ile b ivmesinin yüksek değerleri artışır,
- $\frac{T_2}{T_1}$ 'in yüksek değerlerinde, faydalı yükte az da olsa bir azalma olur,
- 240 m derinlikten yalnız 0,57 m/sn² lik artan veya azalan ivme ile ihraç yapılabilir. Bu değer ise ihraç süresini uzatır, başka bir deyişle saat başı sefer sayısını azaltır yani ihraç tonajı ihtiyaca cevap veremiyebilir
- Üretimin daha derin kuyularla ihracı düşünülürse, KOEPE ihraç sistemi en iyisi olmayabilir ama en uygunu olarak kabul edilmiştir. Bugünkü uygulama bunu ispatlamaktadır.

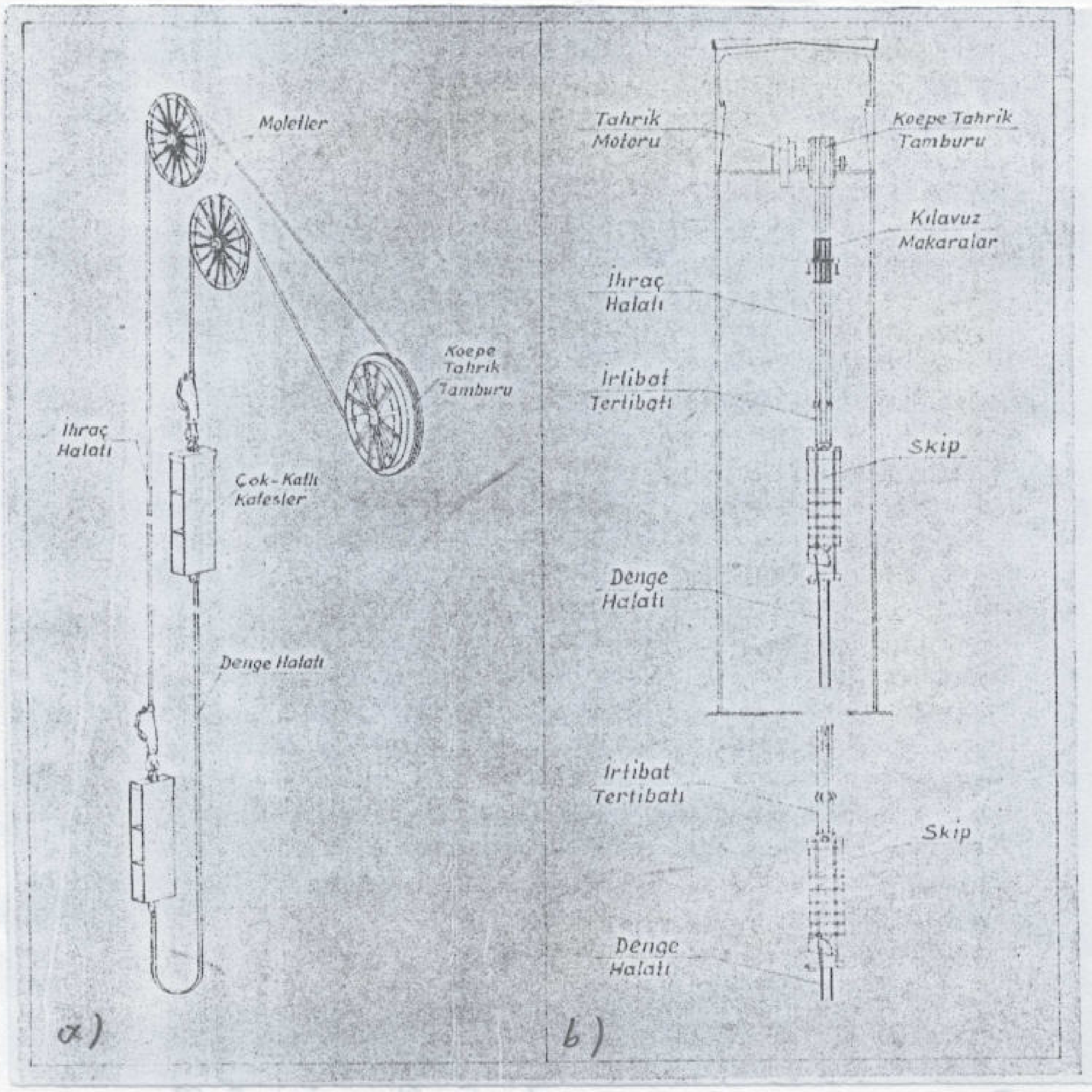
4- Koepe ihraç sisteminde genel uygulama düzenleri;

Koepe ihraç sistemleri yer üstüne veya bir kulenin tepesine kurulabilirler (Şekil 18)

Tipik uygulama düzenlerine ait örnekler aşağıda verilmiştir:

Şekil 19: Koepe ihraç tanburu yerüstü seviyesinde olup moletler yan yanadır. Yalnız bir ihraç tanburu vardır.

Şekil 20: Moletler ve iki Koepe ihraç tanburu yan yanadır.

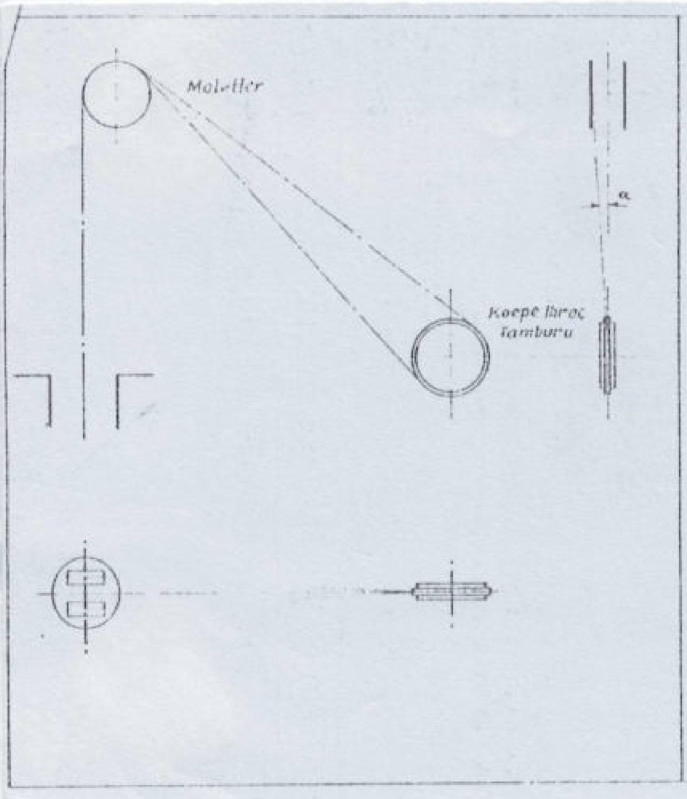


Şekil 18- Koepe ihraç sistemindе uygulama düzenleri.
a) Montaj : Yerüstü
b) Montaj : Kule tepesi

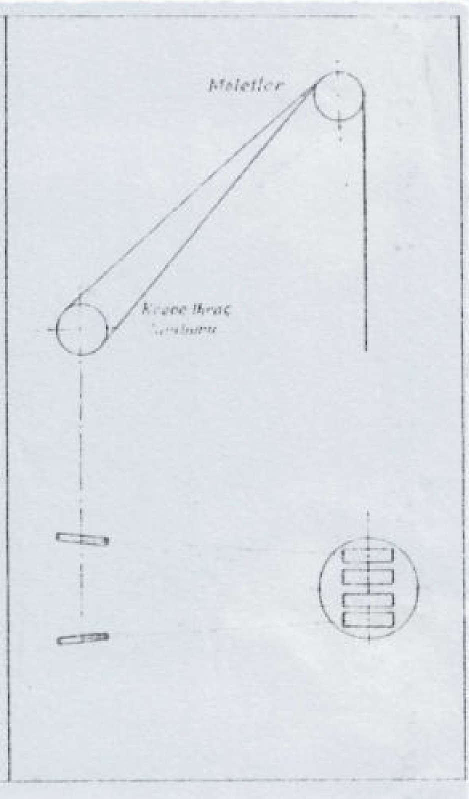
Şekil 21 : Koepe ihraç tanburu yerüstünde, moletler ise aynı dik düzlemde birbiri üzerindedir.

Şekil 22 : Moletler aynı dik düzlemde birbiri üzerinde ve iki Koepe ihraç tanburu yerüstündedir.

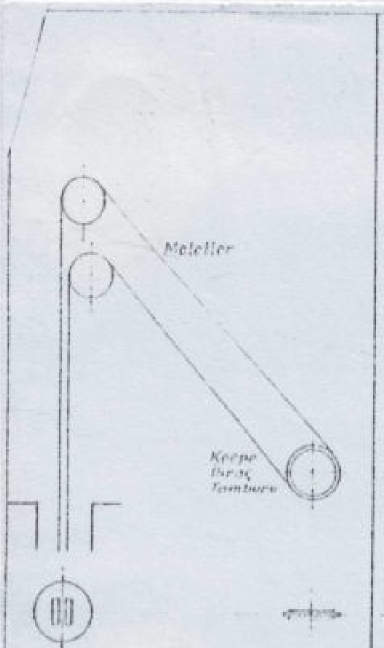
Şekil 23 : Şekil 22 deki uygulamanın bir aşama geliştirilmiş şeklidir. Koepe ihraç tanburları olabildiğince şövalmana yakın yerleştirilmiştir.



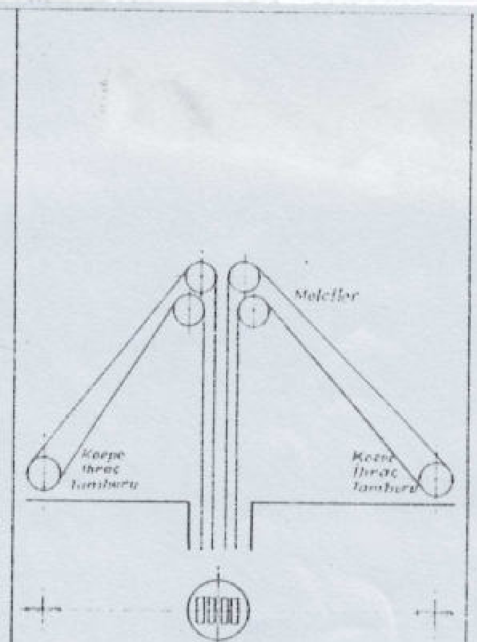
Şekil 19_Moletleri yan yana 2 Kafesli Koepe sistemi.



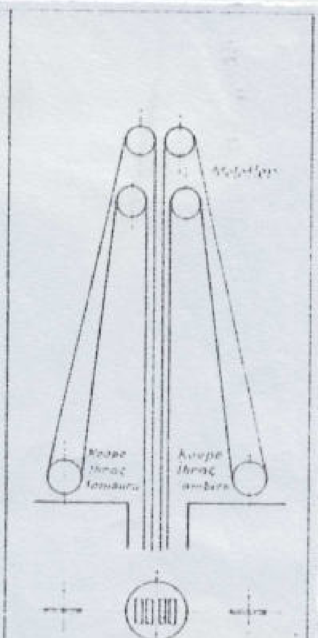
Şekil 20_ Moletleri yan yana 4 Kafesli Koepe sistemi



Şekil 21-Moletleri dik düzlem içinde 2 Kafesli Koepe sistemi

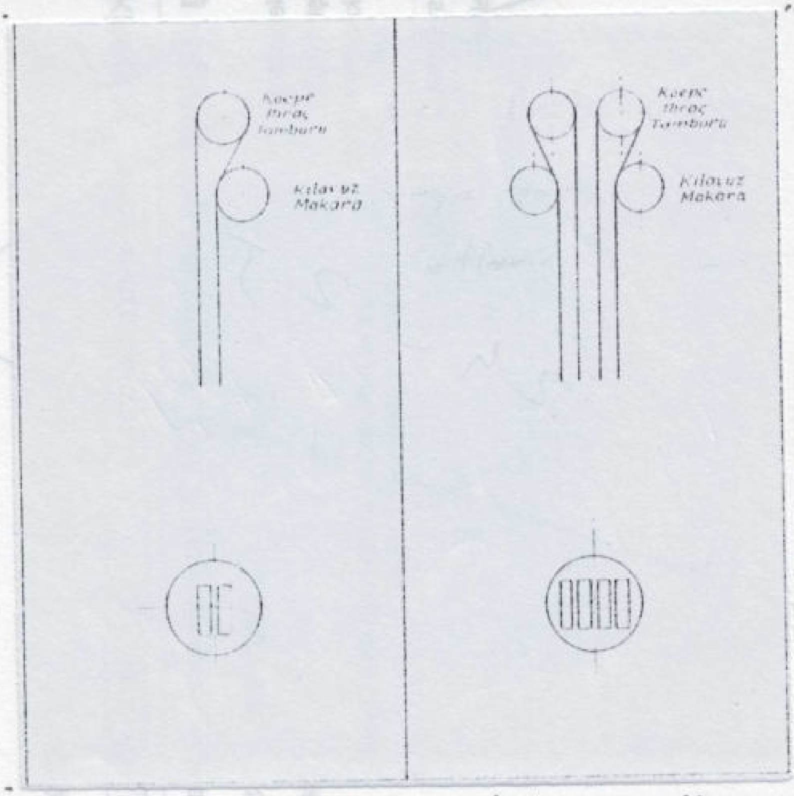


Şekil 22 - Moletleri aynı dik düzlem içinde 4 kafesli Koepe sistemi



Şekil 23 - Moletleri aynı dik düzlem içinde 4 kafesli Koepe sistemi.

ihraç halatlarından biri (Kuyuya yakın olanı) hemen hemen diktir (veya yakındır). Sistemin kapladığı alanın küçülmesi, halatların sarkma ve salınımlarının en aza indirilmesi gibi avantajları vardır.



Şekil 24 - "İhraç kulesi" tipinde Koepe ihraç sistemi. Tanbur sayısı : 1

Şekil 25 - "ihraç kulesi" tipinde Koepe ihraç sistemi. Tanbur sayısı : 2

Şekil 24 ve 25 : Bu düzenler "İhraç kulesi" tipinde sistemler olarak bilinirler. Kule tepesine montajları yapılan Koepe ihraç tanburları bir veya ikili olabilir.

5- Koepe ihraç tanburu;

Koepe ihraç sisteminde hareketi temin eden tanburlar; dökme demir, çelik döküm veya kaynaklı çelik konstrüksiyon olarak imal edilen Koepe ihraç tanburlarının çapı, genel olarak

5... 8 m. arasında değişir. Tanbur çapı, ihraç halatının çapı ile halat- halat yuvası (tanbur üzerindeki) arasındaki yüzey basıncı göz önüne alınarak hesaplanır.

Genellikle,

$$D = (100 \cdots 120).d \qquad (57)$$

D- Tanbur çapı
d- Halat çapı

ve,

Halat- halat yuvası arasındaki yüzey basıncı

$$p_{em} = (13 \cdots 20)\,kgf/cm^2 \qquad (58)$$

arasında değişir.

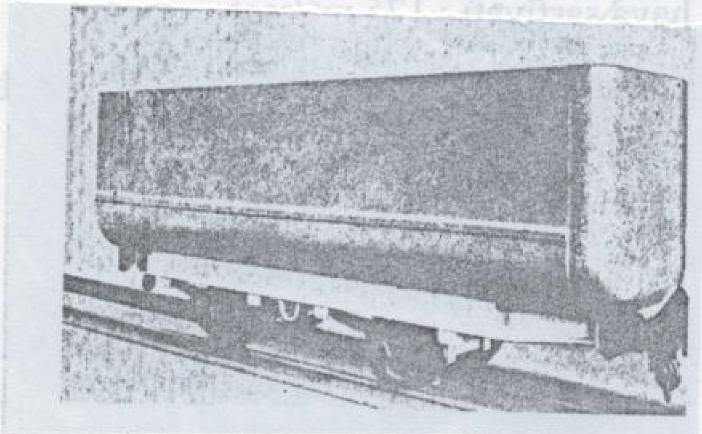
Koepe ihraç tanburu, elektrik motoru - redüktör mekanizması ile tahrik edilebileceği gibi günümüzde tahrik motoru, tanburun kendisidir.

6- Koepe ihraç sisteminde kafes veya skiple ihraç;

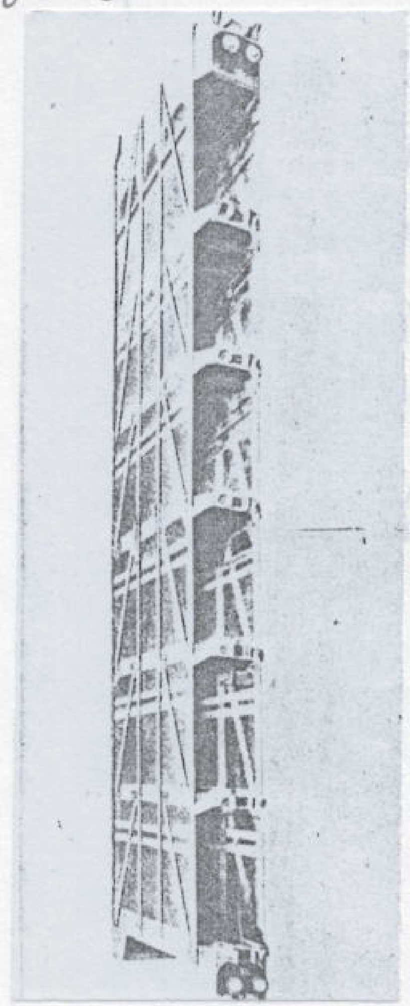
Sistem aynı zamanda kömür, taş ve malzeme ihracında kullanılacaksa en iyi seçim yolu kafestir. Fakat kuyunun tamamen kömür ihracına çalışması halinde, faydalı yükün doldurma ve boşaltma süreleri_nin kısalığı ayrıca ihraç hızının yüksek oluşu, skipin daha uygun olacağını gösterir.

a) Kafes,

Kafeslerin konstrüksiyonu, ocak arabalarının büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle ocak arabarının bir standardizasyonu yapılmıştır örneğin, MAZ tarafından imal edilen 1, 3 ve 5 tonluk arabalar gibi. Şekil 26 da bir ocak arabası ve Şekil 27 de de bu ocak arabalarına uygun 6-katlı bir kafes resmi verilmiştir.



Şekil 26 - Ocak arabası ($3{,}62\ m^3$)

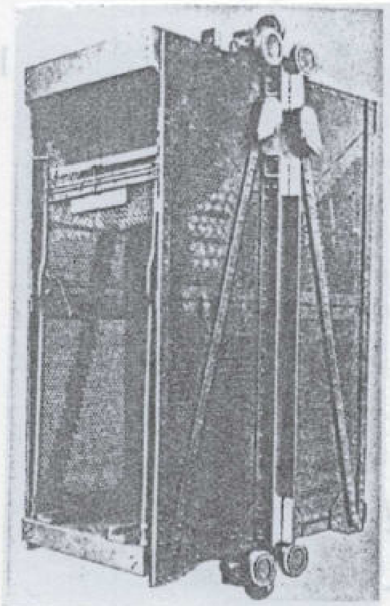


Şekil 27 - 6-Katlı kafes

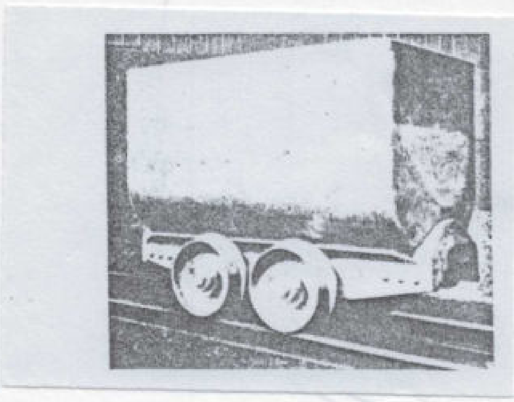
($6 \times 3{,}62\ m^3 \times 1{,}16\ ton/m^3 = 25{,}2$ ton kömür)

Her kafes için kat sayısı ile her kattaki araba sayısı, kuyu kapasitesi ve faydalı yükün göz önüne alınması ile tespit edilir. Tabii, ocak arabaları seçilirken ocak içi yolları da unutmamak gerekir. Şekil 27 de görüldüğü gibi, her biri 3,62 m^3 kapasiteli 6 ocak arabası ile 25,2 ton faydalı yük ($1 m^3$ kömür = 1,16 ton) 6-katlı tek kafes ile ihraç edilebilmektedir.

Diğer taraftan, farklı yerlerde ve farklı nedenlerle kullanılabilen tek katlı bir kafes ile bu kafese uygun ocak arabası aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



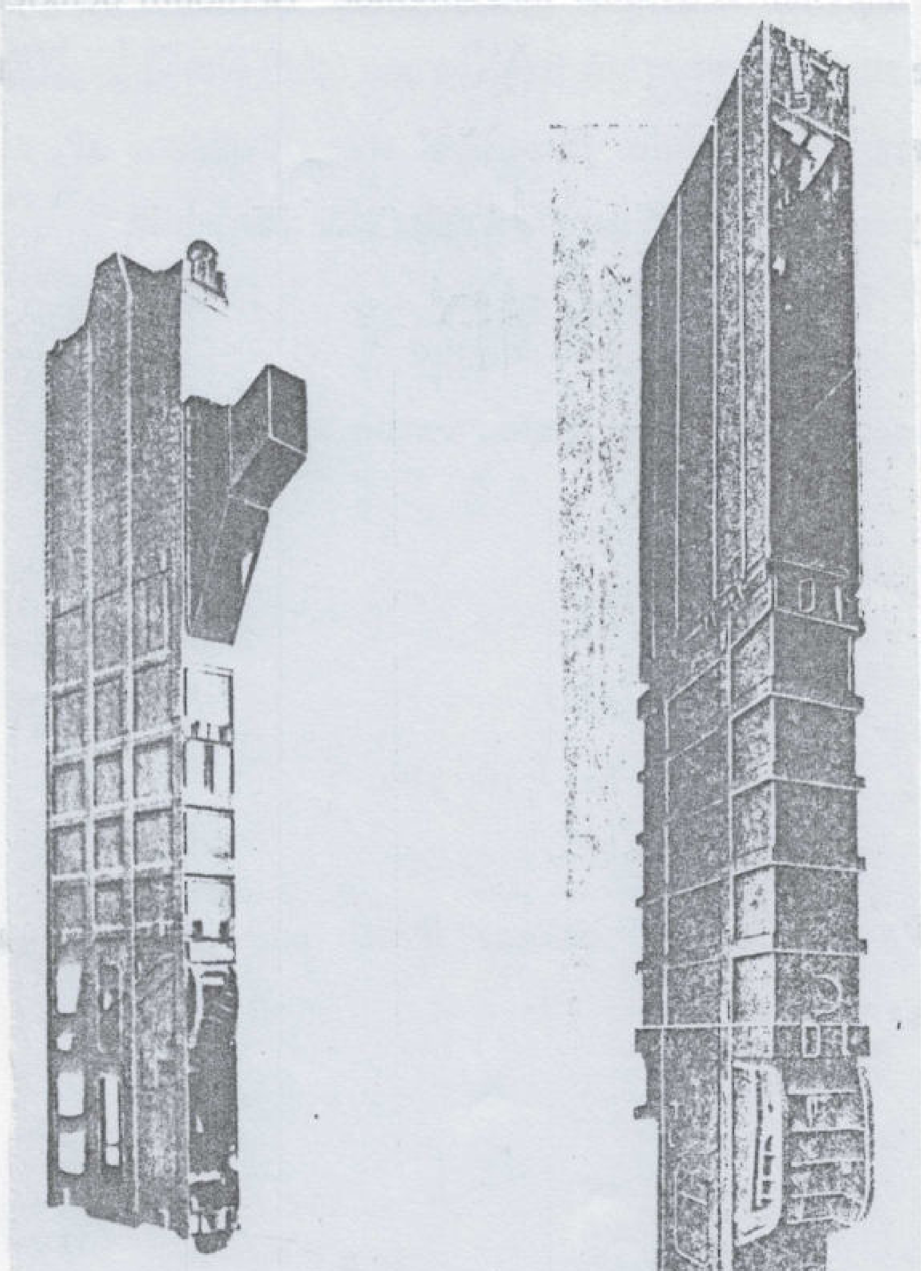
Şekil 28 - Tek katlı kafes



Şekil 29 - Ocak arabası (800 litre)

b) Skip_

Şekil 30 ve 31 de, farklı kapasitelere sahip iki skip görülmektedir.



Şekil 30 - 8 tonf faydalı yük kapasiteli, yalnız kö_mür için kullanılan skip.

Şekil 31 - 10 tonf faydalı yük kapasiteli, kömür ve insan için kullanılan skip.

Skiplerle ihraç yapılması halinde ocak araba büyük_lükleri kuyu kesiti ile değil, fakat yalnız ocak içi yollarının göz önüne alınması ile tespit edilir. Arabaların

Koepe İhraç SİSTEMİ

- VI -

Ana Kaynak: Mad. Y. Müh. Mehmet GÜNEY
(Koepe İhraç Sistemi EKİ.)

(6) Adet.

kuyu başına kadar çıkarılıp tumba edilmesine gerek yoktur. Daha az sayıda ocak arabasına ihtiyaç vardır. Araba manevra süreleri ortadan kalktığı için skip sistemi otomatik ihraca tam bir uygunluk gösterir.

7- Çok halatlı Koepe ihraç sistemleri;

Çalışma koşullarında oluşan :

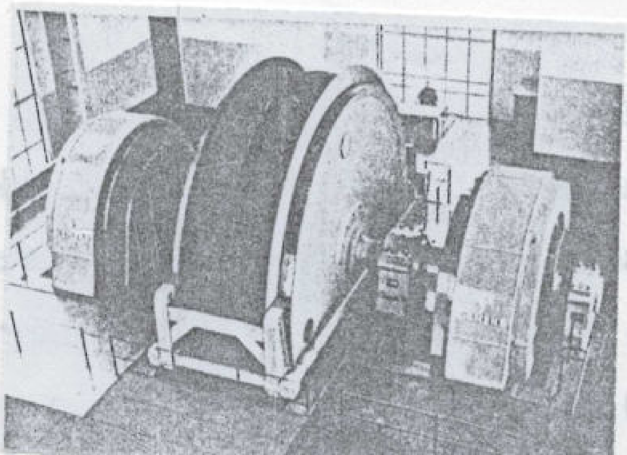
. Yüksek kapasiteli faydalı yük,
. Artan kuyu derinliği,
. Yüksek ihraç hızı

gibi nedenlerden dolayı tek halatlı sistemlerde halat çapının büyük olması;

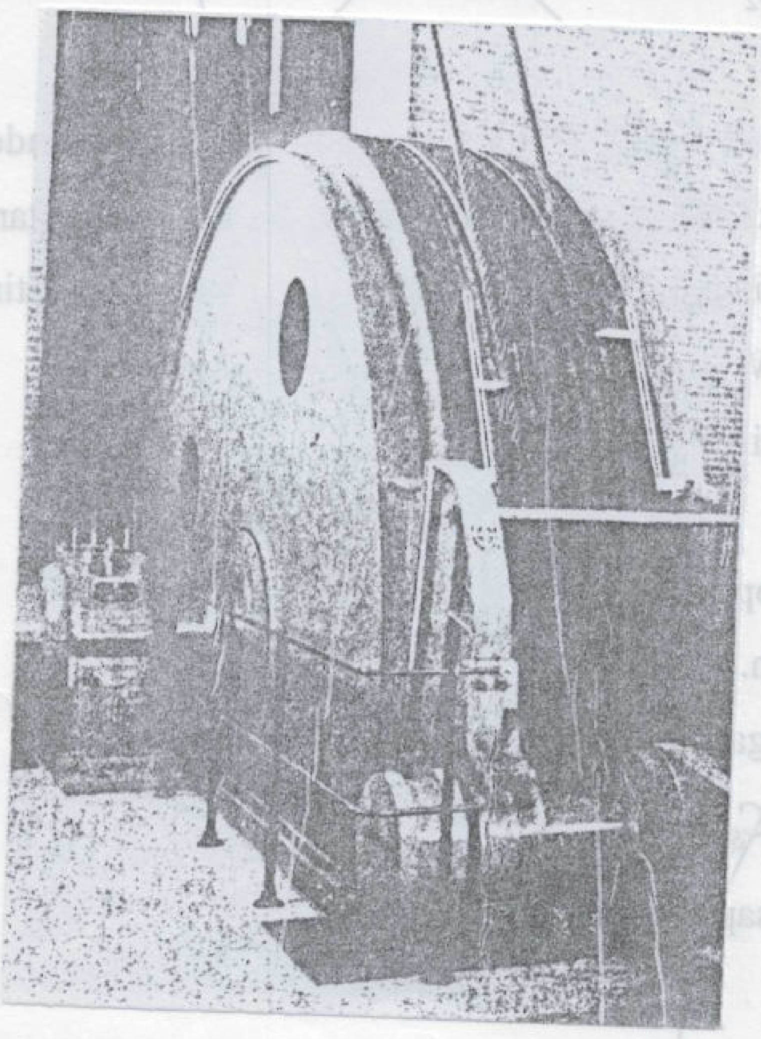
. Halatın, kafes-halat bağlantı parçasına bağlanması,
. İmalatta çıkabilecek zorluklar dolayısıyla maliyeti
. Değiştirilmesi

zorlukları ile karşılaşmak mümkündür. Bu zorluklar bir yerine birkaç halatın kullanılması ile giderilebilir (Şekil 32, 33 ve 34'e bakınız).

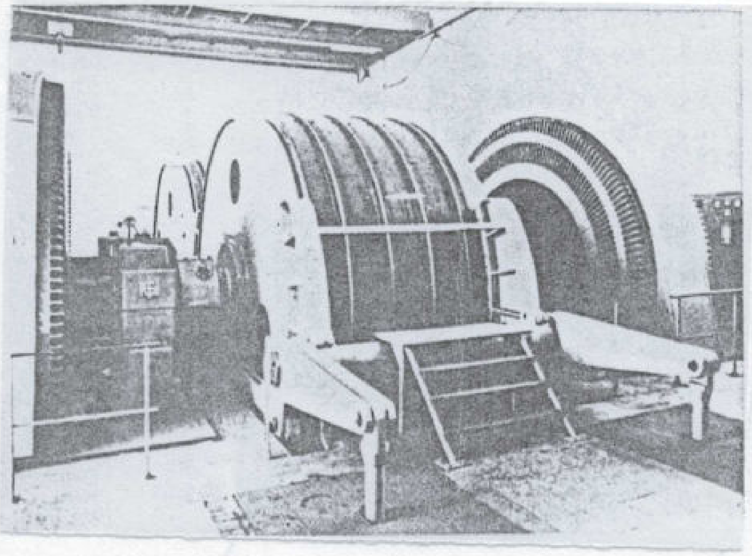
Bir örnek verelim, derinliği 1200 m olan bir kuyuda, 25, 18 ve 6 tonf faydalı yükün ihracı halinde kullanılacak olan halat sayıları ve çapları aşağıda gösterilmiştir :



Şekil 32 - ihraç kulesi üzerinde, tek halatlı Koepe ihraç sistemi



Şekil 33 - Yerüstünde, 2-halatlı Koepe ihraç sistemi



Şekil 34 - ihraç kulesi üzerinde, 4-halatlı Koepe ihraç sistemi

Faydalı yük [kgf]	:		25000			18000			6000	
Halat sayısı	:	1	2	4	1	2	4	1	2	4
Halat çapı [mm]	:	100	70	51	82	62	44	70	52	36

Eğilmeye çalışan halatlarda çap büyümesi bazı zorluklar çıkarabilir (Eğilme yük tekrarı gibi) onun için tek-halatlı sistem yerine çok-halatlı sistemin seçilmesi daha uygun olur.

Halat çapları kaba bir yaklaşımla;

- iki- halatlı sistemde :

$$d_2 \cong \sqrt{0,5}\,.\,d \qquad (59)$$

- Dört- halatlı sistemde :

$$d_4 \cong 0,5\,.\,d \qquad (60)$$

d – Tek-halatlı sistemde halat çapı [mm]

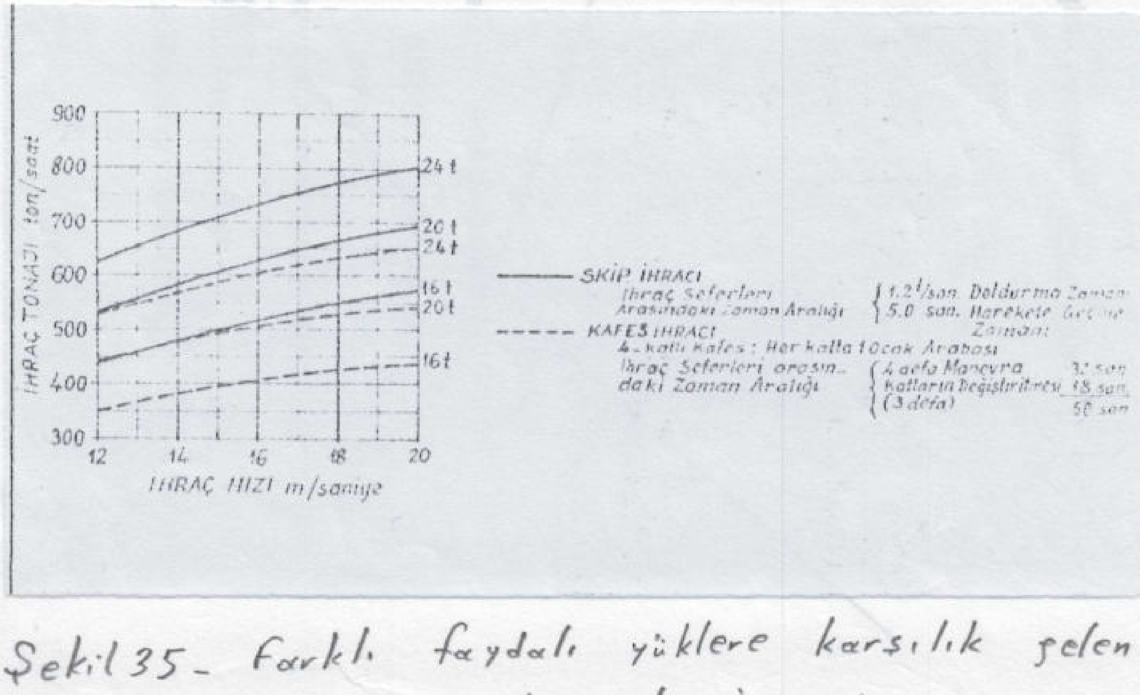
Çok halatlı sistemde Koepe ihraç tanburu çapının tespitinde,

$$\underbrace{D_{Koepe\,tan.}}_{\text{Tanbur çapı}} = (100 \ldots 120) . \underbrace{d_{çok.ha.}}_{\text{çok halatlı sistemde halat çapı}} \qquad (61)$$

ifadesi genel olarak geçerlidir.

8- Koepe ihraç hızı ;

Kafes/skip ihraç sistemlerinde, malzeme nakli için ihraç hızı max. 20 m/sn olarak belirlenmiştir (Maden yönetmeliklerine göre). Şekil 35 deki grafik, 1200 m derinlikteki bir kuyudan ihraç tonajını, ihraç hızının bir fonksiyonu olarak göstermektedir.



Şekil 35- Farklı faydalı yüklere karşılık gelen ihraç hızı - ihraç tonajı diyagramı.

16, 20 ve 24 tonf lik faydalı yüklerden :

16 tonf → 24 tonf'e arttırılabilmesi için ;
$\vartheta_{ihraç} = 20$ m/sn. ⟵ 12 m/sn ye düşürülmesi

yeterli olacaktır.

Malzeme ve insan ihracında kullanılan bir tesiste, ihraç sisteminin sahip olabileceği max. ihraç hızları aşağıda gösterildiği gibi maden yönetmeliklerince sınırlandırılmıştır.

	Elektrik tahrikli ihraç sistemleri
• Malzeme ihracı	20 m/sn.
• İnsan ihracı (I)	12 "
• İnsan ihracı (II)	8 "

(I)- Genel olarak, 6 m/sn yi aşan hızlarda sadece 200 m den daha az derinlikte olmayan ihraç kuyularında müsaade edilir.

(II)- 12 m/sn lik ihraç hızlarına kafes/skip te 10 dan fazla insan kuyudan indiriliyor ve aynı zamanda yükselen kafes boş ise müsaade edilir.

9- Koepe ihraç sisteminde halat emniyet faktörü,

Halat emniyet faktörü,

- Halatın gerçek kopma mukavemeti,
- Kafes-halat bağlantı mekanizması
- Asılı halatın toplam statik yükü ve
- Faydalı yük

gibi büyüklükleri göz önüne alır.

Çok halatlı sistemlerde, halatlara gelen yükün eşit olarak dağılmasından dolayı, tek-halatlı bir sisteme göre daha büyük bir emniyet beklemek akla daha yakındır. Çünkü tek-halatlı sistemlerde aşınma veya korozyon nedeniyle halat kopmalarının olabilirli_ ği düşünülmelidir.

Denge halatına sahip klasik tanburlarda, genel olarak statik emniyet faktörünün derinlik artışı ile azalacağı kabül edilmiştir. Diğer bir deyişle, kuyu derinliğinin artması, senelik ihraç sayısının az olmasına dolayısıyla aşınma ve yıpranmaların azalmasına karşılık gelir.

Koepe ihraç sisteminde denge halatlarının kullanılması bir şarttır. Statik emniyet faktörü bütün ihraç deva_ mınca sabittir.

İngilterede, genel olarak uygulanan statik emni_ yet faktörleri (Koepe ihraç sistemi için) aşağıdaki gibidir:

Halat sayısı	Ters yönde eğilmeye çalışan		Ters yönde eğilmeye çalışmayan	
	İnsan	Malzeme	İnsan	Malzeme
. Tek-halatlı sistem	9,50	7,50	9,00	7,25
. Üç- halatlı sisteme kadar	9,25	7,25	8,75	7,00
. Dört - veya daha fazla halatlı sistem	9,00	7,00	8,50	6,75

Yukardaki bütün değerlerde, (0,0005 . Derinlik) kadar azaltma yapılabilir. Örneğin; 1000 m derinliğe çalışan 4-halatlı bir sistemde ihraç halatı ters yönde bir eğilmeye maruz bırakılmasın. Malzeme ihracı için faydalı yük statik emniyet faktörü :

$$6,75 - (0,0005 . 1000) = 6,25 \text{ olacaktır.}$$

Alman maden talimatnamesi statik emniyet faktörü değerlerini aşağıdaki gibi vermiştir :

	Klasik sistem	Koepe ihraç sistemi
• Malzeme ihracı ----	6	7,2 - 0,0005 . T
• İnsan ihracı ----	8	9,5 - 0,0005 . T

T - ihraç tanburu ile kuyu dibine en yakın kafes arasındaki mesafedir [m]

Yani, statik emniyet faktörü, kuyu derinliğinin bir fonksiyonu olmuş olur.

10 - Koepe ihraç sisteminde halat kayması ;

"Halat kayması", ihraç halatının ihraç tanburu
yuvasındaki dolgu malzemesi üzerinde tam temas
uzunluğunca kayması olarak tarif edilir. Halat çek_
me kuvveti, artan ve azalan ivmelerin birer fonk_
siyonudur (S: 6). Artan ivme ile yükselen (yüklü)
halatın çekme kuvveti artar alçalan (yüksüz) halatın
ise azalır (S: 6). Azalan ivme halindede tam tersi
olur.

İhraç halatının ;

• Kayma şartı :

$$\frac{T_1}{T_2} \geq e^{\mu\theta}$$

• Kaymama şartı

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\theta} \quad (\text{Eşitlik } 1)$$

dır.

Yani,

$$T_1 \leq T_2 e^{\mu\theta}$$

$$(T_1 - T_2) < (T_2 e^{\mu\theta} - T_2)$$

$$\boxed{(T_1 - T_2) < T_2 (e^{\mu\theta} - 1)}$$

olduğu sürece halat, dolgu malzemesi üzerinde kaymaz.

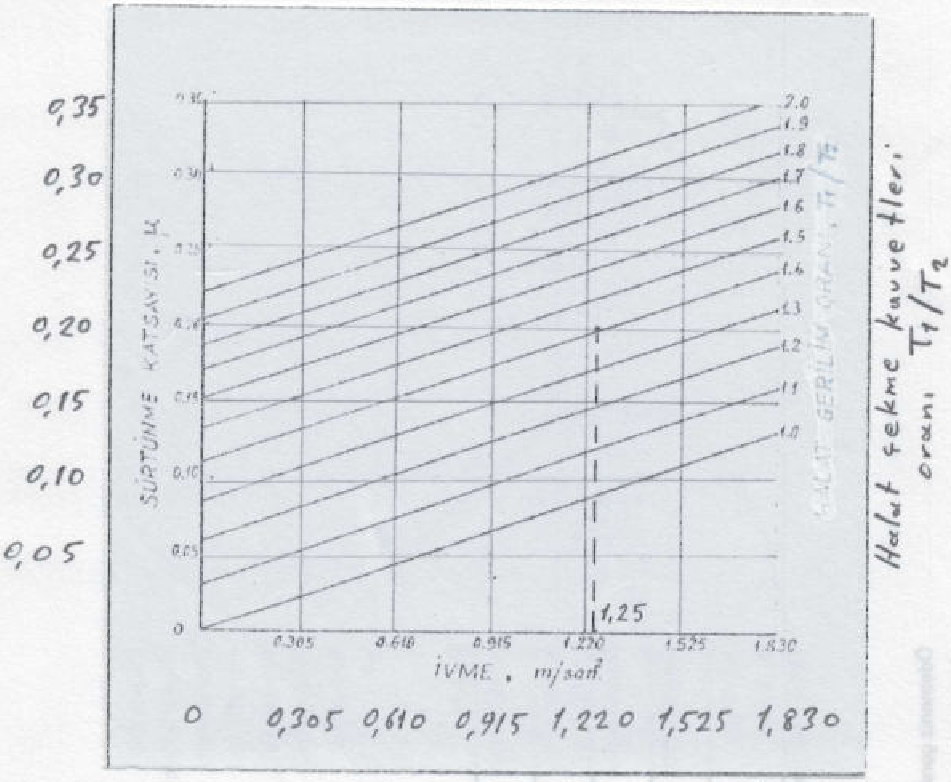
$\mu = 0,20$ ve $\theta = 180°$ ($= \pi$ radyan) için;

$$\frac{T_1}{T_2} < e^{0,20 \cdot \pi} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} < 1,875 \text{ olmalıdır}$$

Artan ve azalan ivmelerin T_1 ve T_2 çekme kuvvetleri üzerindeki kaymaya dönük etkileri de göz önüne alınırsa, artan ve azalan ivme değerleri 1,2 m/sn² sınırında tutulur. Şekil 36 da görüldüğü gibi,

$$\left.\begin{aligned} \frac{T_1}{T_2} (\text{statik}) &= 1,4 \\ \mu &= 0,2 \end{aligned}\right\}$$ max ivme = 1,25 m/sn² sınırında tutulursa kayma meydana gelmez.

Tamamen $e^{\mu\theta}$ tanbur karakteristiğine bağlı olan "Halat kayması", ihracın yalnız bir tarafa yüklenmesi ile daima meydana gelen ve halat elästikiyetine bağlı olan "Halat-uzama-kayması" ile hiç bir zaman karıştırılmamalıdır. Yüklü ve yüksüz halatlardaki T_1 ve T_2 çekme kuvvetlerinin birbirinden farklı olması, halatlarda da farklı elästiki uzamalara neden olurlar.



Şekil 36- Farklı, T_1/T_2 oranlarında, ihraç halatı kayması OLMAKSIZIN Max. ivme değerlerini veren diyagram.

Tambura giriş noktasında büyük T_1 kuvvetinin etkisiyle halat uzunluğundaki uzama, halatın ihraç tamburunu terkettiği noktaya ulaşması ile kısalır. Bu son durumda halat küçük T_2 kuvvetinin etkisi altındadır. Normal ihraç işleminde, her iki kafes/skip alternatif olarak yüklendiğinden halat uzama ve kısalmaları birbirlerini yok ederler.

11- Koepe ihraç sisteminde halat yuvası yüzey basıncı,

Daha önce, 20 ... 24 sayfalarında halat yuvası yüzey basıncı ile ilgili bazı bilgiler vermiştik bu bilgilere devam edelim.

ihraç halatlarının elastikiyeti nedeniyle Koepe ihraç tanburu üzerinde halatın devamlı kayması (T_2 ve T_1 kuvvetleri birbirinden farklıdır) halat yuvası dolgu malzemesinde aşınmaya neden olur. Yani aşınma;

- Dolgu malzemesi üzerindeki halat basıncı,
- Dolgu malzemesinin cinsi,
- Halat tipi,

gibi faktörlerinde etkisiyle oluşur.

Halat yuvası yüzey basıncı, tanbur çapının hesaplanmasındada göz önüne alınır ve Koepe ihraç tanburu "Çapı/Halat çapı" büyüklüğü ile ifade edilir.

12- Koepe ihraç sisteminde halat yuvası dolgu malzemesi;

- Sürtünme özellikleri iyi,
- Kullanımda dayanıklı,
- Yangına karşı (özellikle yeraltındaki Koepe sistemlerinde) korunmalı
- Rutubete (nem) karşı davranışı,
- Halat yağlanmasına etkisi

gibi faktörler, dolgu malzemelerinde önem taşır.

Dolgu malzemesi imal eden firmalar, Koepe ihraç tanburunun 100 000. devrinde mm olarak yuva malzemesinin ortalama aşınma ve eskime değerlerini verebilirler. Genellikle aşınma ve eskime, "faydalı ton-km başına mm" olarak ifade edilir.

Bir örnek verirsek,

Kullanılan dolgu malzemesinin toplam kalınlığı, 105 mm.
" " " " " aşınma ve eskimesi, 95 mm

Dolgu malzemesi seçiminde, tamburun 100 000. devrinde aşınma ve eskime değerinin 0,8 mm olması istenildiğine göre,

100 000 devir aşınma 0,8 mm
X aşınma 95 mm

$$X = \frac{95}{0{,}8} \cdot 100000 \cong 11900000 \text{ devir}$$

karşılığında dolgu malzemesi kullanılacaktır.

Koepe ihraç tamburu çapı : 6,5 m

Dolgu malzemesi, 30 sefer/saat ve günde 14 saat çalışsın ve kuyu derinliğinde 650 m olsun.

1 saatta alınan yol,

$$30 \text{ sefer/saat} \cdot 650 \text{ m}/1 \text{ sefer} = 19500 \text{ m/saat}$$

Halat hızı,

$$\frac{19500 \text{ m}}{3600 \text{ sn}} \cong 5{,}42 \text{ m/sn.}$$

Koepe ihraç tamburu devir sayısı,

$$v_{halat} = \frac{\pi \cdot D_{tanbur} \cdot n_{tanbur}}{60}$$

$$5,42 = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot n_{tam.}}{60} \rightarrow n_{tanbur} \cong 16 \ d/d.$$

Dolgu malzemesi için müsaade edilen tanbur devir sayısı 11900000 olduğuna göre,

Dolgu malzemesinin ömrü,

$$\frac{\begin{array}{ll} 1 \text{ dak.} & 16 \text{ devir} \\ x & 11900000 \text{ ''} \end{array}}{x = 743750 \text{ dak.}}$$

olur. 743750 dakikanın karşılığı,

$$\frac{743750 \text{ dak.}}{60 \ {}^{dak}/_{saat} \cdot 14 \ \frac{saat}{gün}} \cong 885 \text{ gün}$$

$$\frac{885 \text{ gün}}{365 \text{ gün/yıl}} \cong 2,5 \text{ Yıl}$$

olarak bulunur.

Kapalı tip ihraç halatları kullanıldığında, dolgu malzemesinin aşınma ve eskimesinin daha küçük değerler alacağı, dolayısıyla ömrünün daha uzun süreler alacağı olağandır.

13- Koepe ihraç sisteminde halat uzaması;

Bir örnekle hesaplayalım :

- Faydalı yük : $G_N = 6000$ kgf
- ihraç halatları : 4 x Kapalı halat
- Halat çapı : $d = \Phi 30$ mm.
- ihraç halat uzunluğu (Koepe ihraç tanburu ile kuyu dibine en yakın kafes/skip arası) : $L = 730$ m.

- Elästisite modülü : $E = 1,4 \cdot 10^6$ kgf/cm² (Bergbaumechanik S: 419)

Halat uzaması

$$\Delta L = \frac{G_N \cdot L}{z \cdot E \cdot A_S} \qquad (62)$$

ΔL	G_N	L	E	A_S
m	kgf	m	kgf/cm²	cm²

formulünden hesaplanabilir.

z - Halat sayısı

A_S - Halatın metalik kesit alanı (Halat tanıtım broşürlerinde ve örneğin: "Mining Mechanical Engineering S: 383", "Bergbaumechanik S: 672" gibi)

veya A_S,

$$\lambda_d = (\text{Halatın metalik kesit alanı}) / (\text{Halatın toplam kesit alanı})$$

tarifi ile hesaplanabilir.

λ_d - Halat dolgu faktörü ($\cong 0,8$)

Halatın toplam kesit alanı = Halatın dışına çizilen dairenin kesit alanı

Buna göre,

$$0,8 = \frac{A_S}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{A_S}{\pi \cdot \frac{3^2}{4}}$$

$$\| \; \underline{A_S \cong 5,65 \text{ cm}^2}$$

$$\Delta L = \frac{6000 \cdot 730}{4 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 5,65} = 0,138 \text{ m.}$$

$$\| \; \underline{\Delta L \cong 14 \text{ cm.}}$$

bulunur.

Şimdi, kuyu dibine doğru 10000 kgf taş indirelim; ihraç halatındaki kısalma,

$$\Delta L_{kısalma} = \frac{10000 \cdot 730}{4 \cdot 1{,}4 \cdot 10^6 \cdot 5{,}65} = 0{,}23 \text{ m}$$

$$\Delta L_{kısalma} = 23 \text{ cm}$$

olarak elde edilir.

14 - Koepe ihraç sisteminde, kafes-halat bağlantı elemanları ve yürek mekanizması;

Kafes ve halatlar birbirlerine, kafes-halat bağlantı elemanları ile bağlanırlar. Şekil 37 de iki-halatlı ve Şekil 38 de de dört-halatlı Koepe ihraç halatlarının bağlantı mekanizmaları görülmektedir.

Burada;

SK - Kendi kendine sıkışan halat bağlantı yüreği

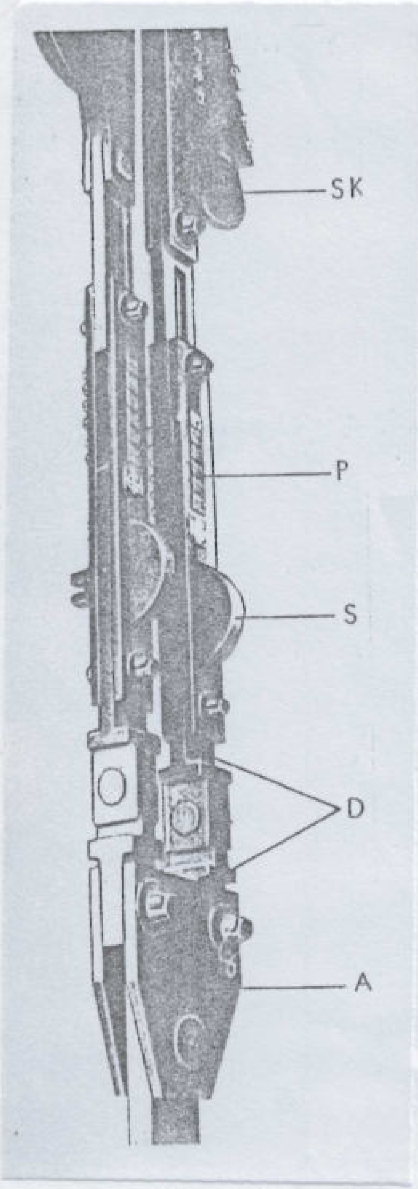
R - Halat uzunluk farklarının ayarlanmasında kullanılan iç içe geçme ayarlama parçaları

S - Halat kuvvetlerinin ölçülmesinde kullanılan dinamometreler

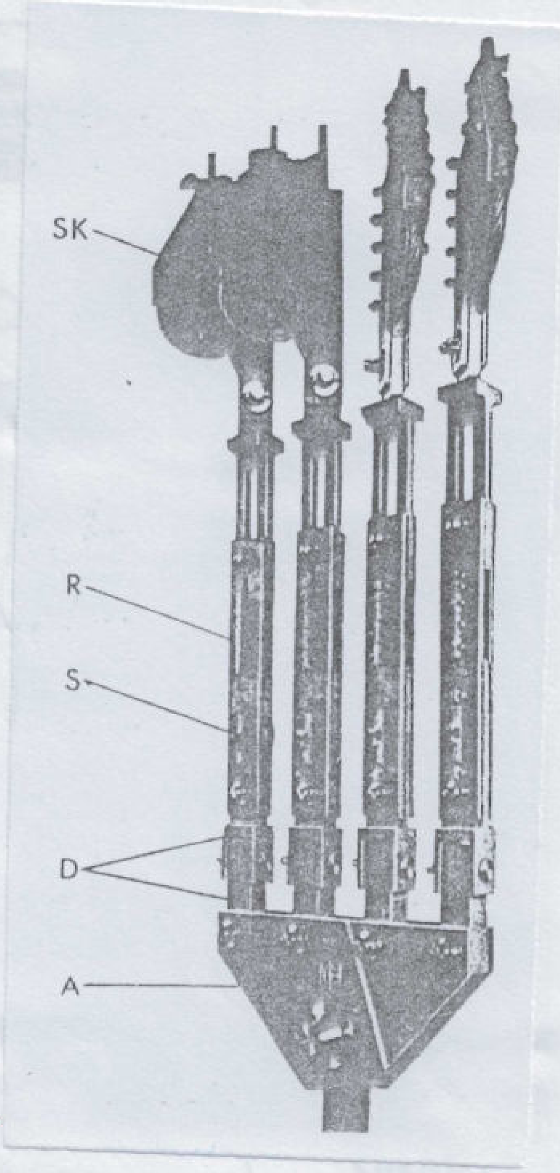
D - Çapraz bağlayıcılar

A - Kafes bağlantı levhası

İhraç halatlarının kafes/skip ile olan bağlantısı sürtünme veya kıskaç tipi halat bağlantı yürekleri ile sağlanır. Şekil 39 da, bağlantı yüreğinde oluşan sürtünme ve halat kuvvetleri, diyagram halinde gösterilmiştir. Halat kuvveti P, sürtünme kuvveti tarafından tamamen dengelenmiştir. Bu sürtünme



Şekil 37 - İki-halatlı Koepe ihraç sisteminde, kafes-halat bağlantı elemanları.



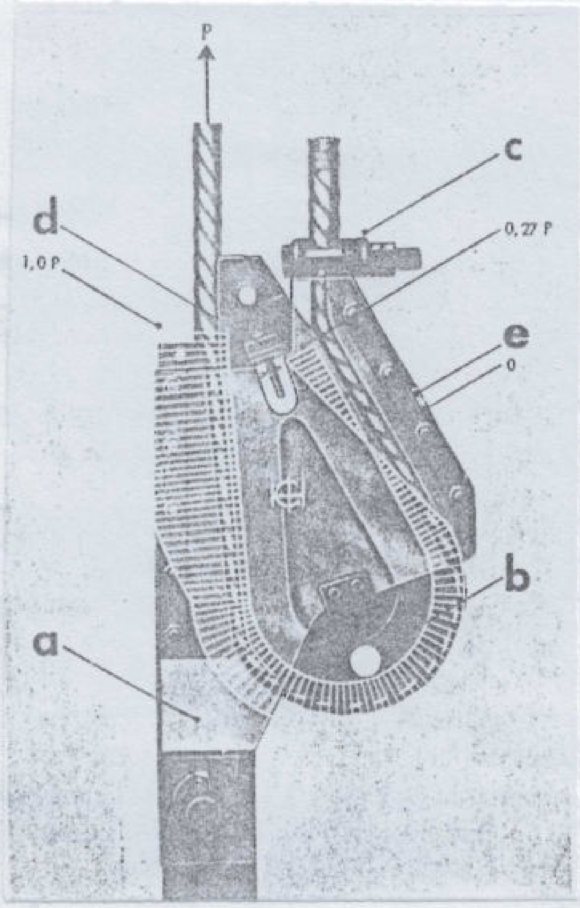
Şekil 38 - Dört-halatlı Koepe ihraç sisteminde, kafes-halat bağlantı elemanları.

kuvveti yaklaşık olarak 0,27 . P değerindedir.

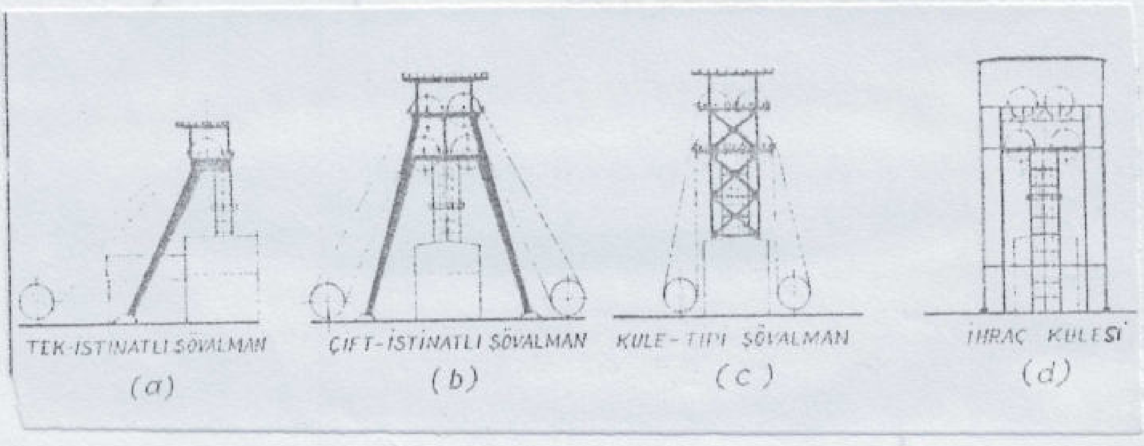
15- Koepe ihraç sisteminde şövalman tipleri;

Kuyu ihraç sistemlerinde bilinen şövalman tipleri, Şekil 40 ta verilmiştir. Burada:

- Moletleri yan yana çalışan tek-destekli şövalman (Şek. 40 a)
- Moletleri üst üste çalışan tek-destekli şövalman (Şek. 40 a)



Şekil 39 - Kafes - halat bağlantısı
(Yürek mekanizması)



Şekil 40 _ Koepe ihraç sisteminde şövalman tipleri

- Moletleri üst üste çalışan çift-destekli şövalman. (şek. 40 b)
- Kule tipi şövalman (şek. 40 c)
- ihraç kulesi (şek. 40 d)

şeklinde sıralanabilir.

16- Özet ;

Klasik ve Koepe sistemleri arasında yapılan mukayesede, ağırlık, maliyet, tesis sahası ve enerji sarfiyatı gibi avantajlar, Koepe sistemine çok üstün özellikler sağlamıştır. Yine, Koepe sisteminin tanıtımı açısından bazı bilgiler özet olarak aşağıda sıralanmıştır:

- Koepe ihraç sistemi,

  İhraç kuyusu içinde, kuyu başı- kuyu dibi arasında dengelenmiş bir sistemdir. Bu sistemde max. halat çekme kuvvetleri oranı $(T_1/T_2) = 1,4 \ldots 1,5$ sayısal değerlerine göre değişir.

- Faydalı yük,

  Genel olarak 11...15 tonf özel olarakta 18...25 tonf sınırları içindedir

- Kuyu derinliği,

  Genel olarak 800... 1000m derinliklere uygulanır. 250...300m. den küçük kuyularda pek kullanılmaz.

- Kafes /Skip seçimi,

  Bu seçimde, kuyunun kullanılma nedeni ön plâna çıkar. Yalnız malzeme ihracında skip, malzeme ve insan ihracında ise kafes tercih edilir.

- İhraç hızı,

  Max. hız 20m/sn. dir.

- Artan veya azalan ivme,

  Her türlü çalışma koşullarında, halat kayma riski yok edilmelidir. Bu bağlamda, sayısal değerler 0,6 ... 1,2 m/sn^2 olarak önerilir ve seçilen veya tespit edilen ivme, sürtünme katsayısı 0,2 olduğunda halat kaymasının meydana gelmemesine (oluşmamasına) karşılık gelir.

- Koepe ihraç tanburu;

  Çapı 3 .. 9 m. arasında değişir.

- Yuva dolgu malzemesi;

  Halat kayma riskinde çok önemli bir parametre olup, kullanılan malzemenin sürtünme katsayısı 0,2 ve yuva yüzey basıncı 20 kgf/cm^2 olmalıdır.

- Halat kayma riski,

  Sürtünme katsayısı ve kavrama açısını sabit kabul ederek faydalı yükün yüklü halattaki asılı toplam yüke oranı %30'u geçmemelidir.

- Halat ömrü;

  Halat uç kesimi Koepe ihraç sisteminde yapılmadığından, klasik sisteme göre halatlar daha sık değişir. Örneğin, İsveçte 4...5, İngilterede 3...5 yılda değiştirilen halatlar, Almanya'da ihraç sefer sayısı ve yüksek ihraç tonajı gözönüne alınarak ikinci yılın sonunda değiştirilir.

- Halat emniyet faktörü,

  İnsan naklinde 9,5 ve malzemede ise 7 olarak alınır (Genelde). Maden talimatnameleri bu değerleri belirlemişlerdir.

• Halat çapı ;

Çok-halatlı sistemlerin uygulanması ile halat çapı küçültülebilir. Tek-halatlı sistemlerde genel olarak, 75 mm ---- max. 90 mm kabul edilir. Çok-halatlı sistemlerde bu değerler 30...60 mm ye kadar düşebilir. Kabul edilen "ihraç tanburu/ihraç-halatı" çap oranları 100/1 dir

• Kafes-Halat bağlantı parçaları ;

Klasik sistemdeki kancanın yerini almıştır. Bağlantı için yürek mekanizmaları kullanılır.

• Frenler ;

Servis ve emniyet frenleri olmak üzere ikilidir. Özellikle insan naklinde kullanılan Koepe ihraç sistemini emniyet frenlerinin mevcut olmaları Maden Talimatnameleri ile belirlenmiştir.

• İhraç Kulesi ,

Maliyette yarattığı faydalar nedeniyle en çok tercih edilen şövalman tipidir. Diğer bir avantajıda, kapladığı alanın klasik sisteme göre daha az olmasıdır.

31-08-2010

Saat : 17.30

[signature]