

Motor Supap Kumanda Sistemlerinde Yay Hesabı

Hamza DİKEN *)

ÖZET

Bu makalede motorlarda karışımın pistonu girişini ve egzoz gazının dışarı atılmasını sağlayan supap kumanda sisteminde kullanılan yayın hesabı üzerinde durulmuş ve Pancar Motor firması tarafından imal edilen E89 tipi tek silindirli dizel motorunun yay hesabı bir misal olarak verilmiştir.

GİRİŞ

Motorların önemli bir bölümünü teşkil eden supap kumanda sistemlerinin vazifesi; silindirin içine belirli zaman aralığında taze karışımın yada havanın (dizel) emme supabı ile girişini ve egzoz gazının gene belirli bir zaman aralığında egzoz supabını açarak çıkışını sağlamaktır. Sistem bu vazifeyi birden fazla elemanla yerine getirir. Bunlar; krank milinin yarı devri ile dönen üzerinde emme ve egzoz kamları bulunan kam mili, tij, külbütör, supap, supap yayıdır (Şekil 1).

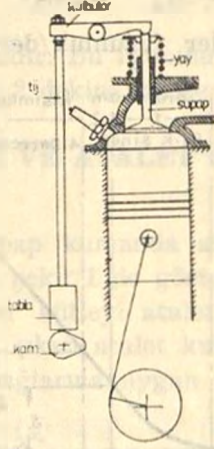
Motorlarda yüksek devir dolayısıyla bu hareketli parçalarda önemli miktarlarda atalet kuvvetleri ortaya çıkar. Bu kuvvetler tiji kamdan ayırırılır, dolayısıyla kam üzerine işlenmiş hareket eğrisi gerçekleşemez ve vuruşta meydana gelir. Bunları önlemek için supap tarafına bir yay takılır. Pozitif ivmeden negatif ivmeye geçiş ani olduğundan yayın, açılma anında supaba belirli bir kuvvet tatbik etmesi gerekir. Bunu sağlayabilmek için de belirli bir ön gerilme ile bağlanırlar. Pozitif ivme ile ortaya çıkan atalet kuvveti tijkama bastırıcı yönde tesir ettiğinden fazla önemli değildir. Negatif ivme tiji kamdan uzaklaştıracak yönde bir atalet kuvveti doğurduğu için bunun tesiri yay ile ortadan kaldırılmadığıdır. Yayın vereceği kuvvet negatif ivme ile ortaya çıkacak en büyük

*) Asist. Yükl. Müh. S.D.M.M.A. Adapazarı.

atalet kuvvetinden daha büyük olmalıdır, bu bakımdan sistem için ivme hesabı yapmaya ihtiyaç vardır.

İVMELERİN TAYİNİ

İvme hesabı kamdan başlar. Kamlar $y=f(\varphi)$ gibi bir fonksiyonu gerçekliyecek şekilde imal edilirler veya profilleri çember yaylarından



Şekil. 1.

teşkil edilir. Çember yaylarından teşekkül etmiş profile sahip kamlarda ivmede ani değişimler ortaya çıkar. Bundan kurtulmak için sürekli ivme eğrisi veren harmonik fonksiyonlar ve polinomlardan meydana gelmiş hareket eğrileri kullanılır. Meselâ φ_0 açısında sinüs eğrisinin $\frac{1}{2}$

periyotluk parçasından, φ_1 açısında eğik sinüs eğrisinin $\frac{1}{4}$ periyotluk

parçasından, φ_2 açısında eğik sinüs eğrisinin $\frac{1}{2}$ periyotluk parçasından,

φ_3 açısında 4. polinomdan teşekkül etmiş kamlar kullanılmaktadır [3, 4] (Şekil 2).

Bu şekilde analitik fonksiyonlarla verilen kamlarda ivme analitik olarak bulunabilir. Bazı hallerde hareket eğrisi açığa bağlı kalkma değerleri olarak verilebilir, bu halde hız ve ivme sonlu farklar metodu ile bulunabilir. Mesela açığa bağlı kalkma değerleri şu şekilde verilmiş olsun;

φ	φ_1	φ_2	φ_3	φ_{n-1}	φ_n	φ_{n+1}
y	y_1	y_2	y_3	y_{n-1}	y_n	y_{n+1}

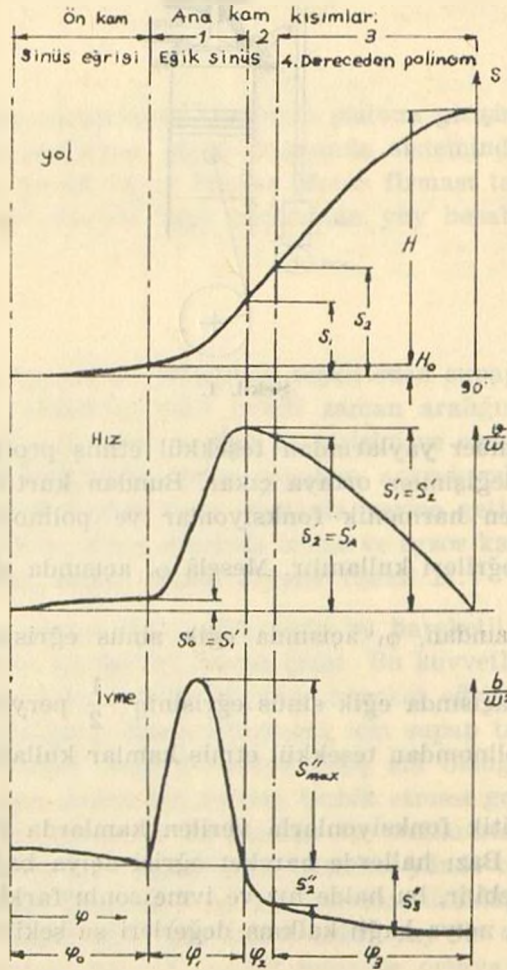
Birbirini takip eden φ_i ler arasında fark eşit ve $\Delta\varphi$ ise, hız;

$$\left(\frac{\Delta y}{\Delta\varphi}\right)_n = \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2\Delta\varphi} \quad (1)$$

ivme;

$$\left(\frac{\Delta^2 y}{\Delta\varphi^2}\right)_n = \frac{\Delta y_{n+1} - \Delta y_{n-1}}{2\Delta\varphi^2} \quad (2)$$

şeklinde bulunur. Bu değerler (uzunluk/derece) birimindedir. Aynı za-



Şekil. 2.

manda supaba külbütör kol oranı i ile intikal edeceğinden supapta ortaya çıkan hız ve ivme (m/sn) ve (m/sn^2) olarak şu şekilde elde edilir;

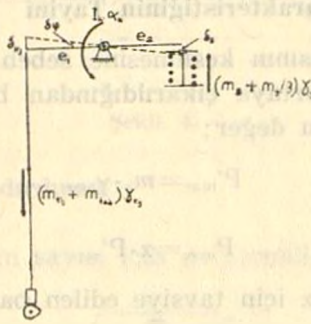
$$V = \frac{180 \cdot \omega \cdot i}{\pi \cdot 1000} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta \varphi} \quad \frac{\Delta y}{\Delta \varphi} = \left[\frac{mm}{.} \right] \quad (3)$$

$$a = \frac{180 \cdot \omega \cdot i}{\pi \cdot 1000} \cdot \frac{\Delta^2 y}{\Delta \varphi^2} \quad \frac{\Delta^2 y}{\Delta \varphi^2} = \left[\frac{mm}{.^2} \right] \quad (4)$$

ω burada kam mili açısal hızıdır. Bu işlemlerden bulunan sonuçlar bir grafikte gösterilebilir ve şekil 2 dekine benzer sonuçlar elde edilir.

KÜTLE İNDİRGENMESİ VE ATALET KUVVETLERİNİN HESABI

Motorlarda kullanılan supap kumanda sistemleri çeşitli şekillerde olabilir. En çok kullanılan tip şekil 1 de gösterilmiştir. Kütle supap tarafına indirgenmelidir. Eşdeğer kütle ve atalet kuvvetlerinin eşdeğerliği prensibi ile bulabiliriz. Ortaya çıkan atalet kuvvetleri ve momenti Şekil 3 de gösterilmiştir. Sisteme bağlarına uygun virtüel bir yer değiştirme



Şekil. 3.

verildiğinde atalet kuvvetlerinin yaptığı virtüel iş, supap tarafına konan eşdeğer kütlelerden dolayı ortaya çıkan atalet kuvvetinin yaptığı virtüel işe eşit olmalıdır, yani;

$$-(m_{t1j} + m_{t2b}) \gamma_{t1j} \cdot \delta_{t1j} - I_k \cdot \alpha_k \cdot \delta \varphi - \left(m_s + \frac{m_y}{3} \right) \cdot \gamma_{sup} \cdot \delta_{sup} = -m_e \cdot \gamma_{sup} \delta_{sup} \quad (5)$$

$$\frac{\gamma_{t1j}}{\gamma_{sup}} = \frac{\delta_{t1j}}{\delta_{sup}} = \frac{e_1}{e_2} \quad \frac{\alpha_k}{\gamma_{sup}} = \frac{\delta \varphi}{\delta_{sup}} = \frac{1}{e_2} \quad (6)$$

$$m_e = (m_{tij} + m_{lab}) \left(\frac{e_1}{e_2} \right)^2 + I_k \left(\frac{1}{e_2} \right)^2 + \frac{m_g}{3} + m_s \quad (7)$$

şeklinde supap tarafına indirgenmiş eşdeğer kütle bulunur. Yayın alt kısmı tabana oturduğu için hareket etmez bu bakımdan yay kütlelerinin 1/3 ü alınır. Formülde görülen I_k külbütör kütle atalet momenti hesaplanması için gerekli gelen bir değerdir. Bu çeşitli şekillerde yapılabilir. Bunlardan biri külbütörü geometrik parçalara ayırmak ve her parçanın kütle atalet momentini hesaplayıp dönme merkezine indirgemektir.

$$I = \sum (I + r_i^2 m_i) \quad (8)$$

Elimizde külbütör mevcutsa salınım metodu ile atalet momentini kolayca tayin etmekte mümkündür [5].

Eşdeğer kütle hesaplandıktan sonra, ivme de bilindiğine göre atalet kuvvetleri bulunur. Bundan sonra yapılacak iş yay hesabına geçmek olacaktır.

YAY HESABI

a) Gerekli Yay Karakteristiğinin Tayini

Tij ile kamın temasının kesilmesine sebep olan atalet kuvveti negatif ivme tarafından ortaya çıkarıldığından bunun maksimum değeri ölçü olarak ele alınır, bu değer;

$$P'_{max} = m_e \cdot \gamma_{max} \quad (9)$$

olsun, yay kuvveti;

$$P_{max} = \alpha \cdot P'_{max} \quad (10)$$

şeklinde ifade edilirse, α için tavsiye edilen bazı değerler aşağıdadır.

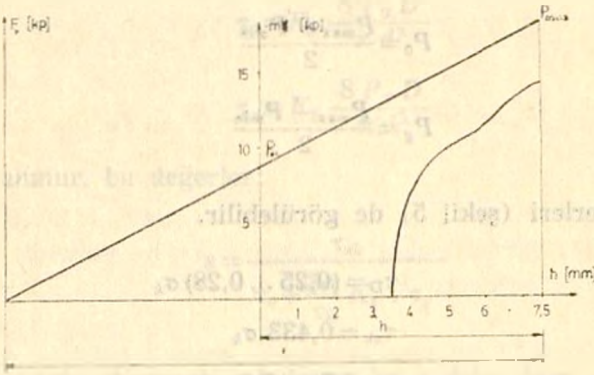
Yazar	α
BUSSIEN	1,2
PISCHINGER BENSINGER	1,3 ... 1,7*
ROTHBART	1,3 ... 1,5
E. W. HUBER	1,44 ... 1,69
NOURSE - DENNIS ve WOOD	> 1,325

* Pischinger P'_{max} yerine $P'_{max} + P_{gk}$ almıştır.

h stroku boyunca ortaya çıkan negatif atalet kuvvetlerinin değişimi bir diyagramda gösterilirse ve P_{max} verilen α değerlerinden biri seçilerek tespit edildiğine göre, çizilecek uygun bir yay karakteristik doğrusu ile P_{0n} bulunabilir (Şekil 4). Yayın serbest boyu f_{max} ve yay kat sayısı k

$$f_{max} = \frac{h}{1 - (P_{0n}/P_{max})}, \quad k = \frac{P_{max}}{f_{max}} \quad (11)$$

şeklinde verilebilir.



Şekil. 4.

b) Yayın Boyutlandırılması

d tel çapı ve i_f sarım sayısı için şu formüller verilebilir [7].

$$d \geq \sqrt{K_0 \frac{P_{max} \cdot 8 \cdot c}{\pi \cdot \tau_{em}}} \quad (12)$$

$$K_0 = \frac{4c-1}{3c-1} + \frac{0,615}{c} \quad c = \frac{D}{d} \quad (13)$$

K_0 değeri hesapla bulunabileceği gibi çizilmiş grafiklerden de alınabilir.

$$i_f = \frac{f_{max} \cdot G \cdot d^4}{8 P_{max} D^3} \quad (14)$$

Ağır çalışma şartlarında yani yük tekrar sayısının $N > 10^6$ olduğu

hallerde ki, motor kamlarında bu mümkündür, hesapları, «Değişken sonsuz ömür» ü esas alarak yapmak daha iyi sonuç verir. Bu halde tel çapı;

$$d \geq \sqrt{\frac{8 K_s c}{\pi} \frac{P_0 + (\tau_{sk}/\tau_D) K_c P_g}{\tau_{sk} s}} \quad (15)$$

formülü ile hesaplanır [7]. Burada;

$$K_s = 1 + \frac{0,615}{c} \quad (17)$$

$$P_0 = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} \quad (17)$$

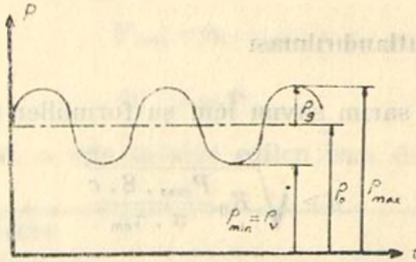
$$P_g = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} \quad (17)$$

P_g ve P_0 değerleri (şekil 5) de görülebilir.

$$\tau_D = (0,25 \dots 0,28) \sigma_k$$

$$\tau_{sk} = 0,433 \sigma_k \quad (18)$$

$$s = 1,5 \dots 2,5$$



Şekil. 5.

Burada $P_{\min} = P_{0n}$ yayın ön gerilme kuvvetidir, P_{\max} ise daha önce verilmiş olan $P_{\max} = z \cdot P'_{\max}$ den bulunur. Yay hesabına başlarken en uygun yol τ_{em} ve K_0 değerlerinin seçimidir. τ_{em} seçilen bir çapa göre tablodan alınan yay çeliğinin σ_k sına göre hesaplanacaktır. K_0 ise $c = D/d$ ye bağlıdır ve hesapla bulunur yada grafikten alınabilir (sınırlayıcı şartlar olmadığı takdirde $c = 8 \dots 10$ ($c = 8$ en uygun değerdir.) arasında alı-

nabilir). Bulunan bu τ_{em} ve K_0 değerleri formül (12) de yerine konarak d tel çapı bulunur. Bu çapa göre tablodan σ_k tespit edilir ve τ_{em} hesaplanır. Bu τ_{em} ile daha önceki τ_{em} karşılaştırılır, yeni bulunan τ_{em} ilk seçilene eşit yada ondan büyük olmalıdır. Birkaç tekrar ile en iyi sonuca yaklaşmak mümkündür. Değişken sonsuz ömür esas alınarak hesap yapıldığı zaman (15) formülü kullanılmalıdır. Malzeme seçildikten sonra σ_k dan τ_D ve τ_{ak} değerleri bulunur, c ve s değerleri seçilir K_k bulunur $K_c=K_s/K_k$ çentik faktörü tayin edilir. Formülden bulunan d değerine göre tablodan yeni σ_k alınır ve τ_{ak} hesaplanır daha sonra:

$$\tau_D = K_s \frac{8 P_0 D}{\pi d^3} \quad (19)$$

$$\tau_s = K_s \frac{8 P_g D}{\pi d^3} \quad (20)$$

değerleri bulunur, bu değerler;

$$s = \frac{\tau_{ak}}{\tau_D + \frac{\tau_{ak}}{\tau_D} K_c \cdot \tau_g} \quad (21)$$

formülünde yerine konarak s bulunur bu s daha önce seçtiğimiz emniyet değeri s ye eşit yada ondan büyük olmalıdır. Bu hesaplar bir kaç kere tekrarlanarak doğru sonuca gidilmelidir.

MISAL

Yay hesabına misal olarak Pancar Motor E89 tipi 9BG'nde tek silindirli dizel motorunun emme supabı yayı hesabı yapılmış ve kullanılmakta olan yay ile mukayese edilmiştir.

Fabrikadan supap kumanda sistemine ait parçalar ve kamın 0,5 lik açılarda yükselme değerlerini veren bir tablo alınmıştır. Atalet kuvveti hesabı kısmında bahsedildiği gibi formül (4) yardımıyla ivme bulunmuştur. Negatif ivme en büyük değerini kamın tepe noktasında almaktadır ve değeri en yüksek motor devri $n=2500$ d/d için $\gamma=-595,5$ m/sn² dir. Supap tarafına indirgenmiş eşdeğer kütle formül (7) yardımıyla hesaplanmıştır, değeri $m_c=0,0241$ kp sn²/m dir. Atalet kuvveti :

$$P'_{max} = 14,35 \text{ kp}$$

$$P_{max} = 1,5 P'_{max} = 1,5 \cdot 14,35 = 21,52 \text{ kp}$$

$d=4$ mm seçildi $D=30$ mm (Kullanılan yayın değeri alındı)

Tablodan VD tipi çelikler için $\sigma_k=143$ kp/mm² değeri alınarak [7]

$$\sigma_D=0,36 \cdot 143=37,18 \text{ kp/mm}^2$$

$$\tau_{ak}=0,433 \cdot 143=61,9 \text{ kp/mm}^2 \text{ değerleri hesaplandı.}$$

$$c=D/d=30/4=7,5 \quad K_0=1,19 \text{ (grafikten)}$$

$$K_s=1+(0,615/1,19)=1,082$$

$$K_d=K_0/K_s=1,1$$

$$P_0 = \frac{P_{\max} + P_{\min}}{2} = \frac{21,52 + 11,95}{2} = 16,73 \text{ kp}$$

$$P_g = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2} = \frac{21,52 - 11,95}{2} = 4,78 \text{ kp}$$

Formül (14) den d tel çapı 4,12 mm bulundu (11) formülünden $f_{\max}=16,9$ mm (14) formülünden $i_1=7$ sarım sayısı bulundu ($G=75 \cdot 10^4$ kp/cm² alındı) yay katsayısı k ise;

$$k = \frac{G d}{8 c^3 i_1} \text{ den } k=2,17 \text{ kp/mm olarak bulundu.}$$

Gerçek yayda $d=4$ mm $D=30$ mm $i_1=6$ sarım ve $k=2,4$ kp/mm dir. Hesapların verdiği yay ile kullanılan yay hemen hemen aynıdır, sadece sarım sayısı biraz fazladır.

NETİCE

Supap kumanda sistemlerinde yüksek hız sebebiyle ortaya çıkan atalet kuvvetlerinin önemli değerlere çıkması hatta tij ve kam temasını ortadan kalkabilmesi yay kullanmayı zorunlu kılmaktadır, bu bakımdan itina ile hesaplanmış yaylara ihtiyaç vardır. Motorların seri üretimi dolayısıyla çok miktarda yay kullanımı, hesapların hassas yapılmasına bizi daha da mecbur etmektedir. Biraz sert yayların yüzey basıncını artıracığı ve aşınmayı kolaylaştıracağı, biraz yumuşak yayların ise yüksek devirlerde temassızlığa sebep olacağı için gürültü ortaya çıkacağını göz önünde tutmak lazımdır. Bütün bunların yanında yay hesabında kullanılan birçokdeğerin seçime bağlı olması hesabı biraz daha güçleştirmektedir. Hesaplarda tekrarlama lazım geldiği gibi doğru seçim yapabilmek için de tecrübeli konstrüktöre ihtiyaç olduğu açıktır.

R E F E R A N S L A R

- 1 — KRAMER Otto, Getriebelehre, Braun Karlsruhe, 1975.
- 2 — KÖSEOĞLU Mustafa, Mekanizma Tekniği Ders Notları, (Basılmadı).
- 3 — BENSINGER Wolf Dieter, Motor Konstrüksiyonu, Mesut Yalçınkaya çev. Ankara, 1974.
- 4 — Makina Mühendisliği El Kitabı, MMOB - MMO, Cilt 3, Ankara, 1977.
- 5 — GUNDERMAN Wilhelm, M.A.N. Forschungsheft Nr. 12/1965.
- 6 — DIKEN Hamza, Motor Kamularının Dizayn ve Dinamiği, M.M.L.S. Tezi, 1980.
- 7 — AKKURT Mustafa, KENT Malik, Makina Elemanları, Cilt 1, 1975.