

BİLYALI SANTRİFÜJ KAVRAMADA İLETİLEN MOMENTİN TEORİK ANALİZİ

İsmail TÜRK BAY, Nazif DİNÇER
Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü
23119, ELAZIĞ

ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda tahrik makinası ile iş makinası birbirine bir kavrama ile bağlanır. Bu çalışmada, bir bilyalı santrifüj kavramada iletilen momentin teorik analizi yapılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyi ve tambur yan yüzeylerinin ilettikleri momentler ayrı ayrı hesaplanarak, toplam moment bulunmuştur. Sabit devir sayısında, boşluk faktörü ile teorik boyutsuz momentin değişimi grafiklerde verilmiştir. Sabit boşluk faktörleri, sabit devirler ve sabit momentlerdeki değişimler eğrilerle verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bilyalı santrifüj kavrama, teorik moment, boşluk faktörü, porozite.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE TRANSMITTED TORQUE IN A BALL CENTRIFUGAL CLUTCH

ABSTRACT

In industrial applications, driving system is connected to the machine with a clutches. In this study, theoretical analysis of the torque transmitted by a ball-centrifugal clutches was performed. Total torque was determined by calculating the torques transmitted by the inner and side surfaces of the drum. The variation of the theoretical torque with gap factor was given in graphics for the constant speed. The variations in constant gap factors, constant speeds and constant torques were also given in graphics.

Key words: Ball-centrifugal clutches, theoretical torque, gap factor, porosity.

1.GİRİŞ

Santrifüj kavramalar, belirli bir devir sayısında kendiliğinden devreye giren ve sürtünme kuvvet bağı ile moment ileten kavramalardır. Tüm santrifüj kavramalar temel olarak giriş, santrifüj ve çıkış elemanı olarak üç kısımdan ibarettir. Giriş elemanı veya döndüren kavrama yarısı, motor veya motor milinden hareket alır. Santrifüj elemanlar, giriş elemanı tarafından ivmelenerek dışa doğru savrulur. Çıkış elemanı veya tambur, santrifüj parçalar tarafından sürtünme kuvveti ile hareket ettirilir. Çıkış mili doğrudan yüke veya bir kayış kasnak mekanizmasına bağlıdır. Santrifüj kavramaların en yaygın olanı pabuçlu kavramadır (1).

Santrifüj kavramalar elektrik motoru ile çalıştırılan yük altındaki makinaları hareket ettirmede; yük atalet kuvvetlerinin momentlerini yenmek için kullanılır. Santrifüj kavramalar yükün etkisini normal zaman içinde geciktirerek, yük altında çalıştırılan elektrik motorunun devir sayısını kazanmasına müsaade eder. Böylece harekete başlama esnasında gerekli yüksek akım da azaltılmış olur. Eğer döndürülen makine çalışmaz veya işlemez hale gelirse santrifüj kavrama kaymaya başlar, böylece makine veya işletme birimlerinin zarara

uğraması önlenir. Santrifüj kavramalar düşük devir sayısı uygulamaları için nadiren tatbik edilir. Yüklerin çok çabuk değişebildiği işletmelerde, donanımı korumak için santrifüj kavramalar kullanılır (2). Santrifüj kavramalı işletimlerde motor gücü, harekete başlama gücünden ziyade işletme gücü için hesap edilir.

Santrifüj kavramalı işletimin, rijit kavramalı düz işleme göre temel avantajları: Düzgün harekete başlama, azaltılmış motor boyutları ve azaltılmış güç ihtiyaçlarıdır. Rijit kavramalı işleme göre; santrifüj kavramalı işletimin devreye girme süresi yarı zaman içinde biter, rijit kavramalı işletimde devreye girme süresi santrifüj kavramaya göre daha uzundur

Bir santrifüj kavramalı işletimde devreye girme süresinde çekilen akım büyük ölçüde çabucak düşer, arta kalan az miktardaki akım düşüşü; santrifüj kavrama devir sayısı, motor devir sayısı seviyesine gelinceye kadar devam eder. Bir rijit kavramalı bağlamada akımın, makul kabul edilebilecek seviyeye düşmesi daha uzun süre alır (3).

Santrifüj kavramaların sürtünen parçaları şekillerine göre; santrifüj parçalı ve dolgu malzemeli olmak üzere iki gruba ayrılır. Santrifüj parçalı

kavramalar, değişen yük ve hızlara ayarlanma kabiliyeti bakımından sınırlıdır. Her bir kavrama özel bir moment ve hız ihtiyacı için tasarlanır. Dolgu malzemeli kavramalar, ihtiyaç duyulan momente göre dolgu malzemeleri ile kısmen veya tamamen doldurulur. Dolgu malzemeleri bilya, masura ve çelik tozları şeklindedir.

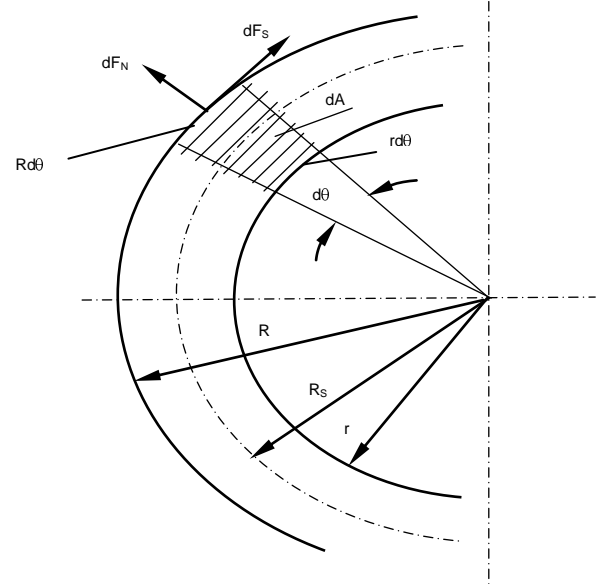
2. BİLYALI SANTRİFÜJ KAVRAMA

Şekil 1 de görüldüğü gibi bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark, tambur, flanş, kapak ve sabit bilyalı yataklardan meydana gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yarıçapı $R=90$ mm ve genişliği $b=80$ mm'dir. Kanatlı çark motor miline kama ile bağlanmıştır ve bilyalı santrifüj kavrama tamburu kanatlı çark üzerine sabit bilyalı yataklarla döner yataklanmıştır (4). Kanatlı çark bölmeleri içerisinde çelik bilyalar sıvı veya toz biçimindeki maddelerle yağlanmaktadır. Motor harekete başladığında bilyalar, santrifüj kuvvetin etkisiyle tambur iç yüzeyine karşı bir basınç uygular. Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girmesi süresinde bilyalarda yuvarlanma sürtünmesi ile birlikte kayma meydana gelir. Bilyalı santrifüj kavramanın harekete başlama süresi sonunda, herhangi bir kayma olmaksızın statik sürtünme vasıtasıyla hareket devam eder. Kaymasız bir kuvvet bağı ile moment iletimini sürdürürler (5).

Bilyalı santrifüj kavramanın harekete başlaması süresinde meydana gelen sürtünme ısı, dış kısımları az bir miktar ısıtırken, dolgu maddesini oldukça fazla ısıtmaktadır. Döndüren mile sabit bağlı olan kanatlı çark, tambur içini eşit hacimli

bölmelere ayrılır. Bu bölmeler ihtiyaç duyulan kavrama gücüne bağlı olarak çelik bilyalarla tamamen veya kısmen doldurulur. Döndüren mil döndüğü zaman, çelik bilyalar tambur içinde bir çember şeklini alır. Yüklenmiş veya kilitlenmiş döndürülen makina için bile yüksüz motor hareketi sağlarlar. Ağır hizmet makineleri ve en ağır kütleleri sarsarak serbest ivmelenmesini sağlarlar. Sınırlanan bir emniyet momenti tarafından aşırı yüklerle karşı döndürülen birimi, makine ve motoru korur ve kazaları önlemeye yardım ederler. Aktarılabilen moment, dolgu maddesi miktarına, devir sayısına, tambur yarıçapına ve dolgu maddesinin kütle ağırlık merkezinin bilyalı santrifüj kavrama dönme eksenine mesafesine bağlıdır. Gerektiğinde emniyet kavraması olarak da görev yaparak motoru ve iş makinasını korurlar (6).

3. MATERYAL VE YÖNTEM



Şekil 2. Diferansiyel alana etki eden kuvvetler

Bilyalı santrifüj kavrama momenti; hareket esnasında bilyaların tambur iç yüzeyine karşı uyguladığı kuvvete bağlı olarak meydana gelen sürtünme kuvveti ile aktarılan moment (M_1) ve bilyaların kavrama yan yüzeylerine uyguladığı kuvvete bağlı olarak meydana gelen sürtünme kuvvetleri ile aktarılan moment (M_2) in toplamıdır.

Bilyalı santrifüj kavrama sonsuz küçük çapta ve sonsuz sayıda bilya ile (r) yarıçapına kadar doldurulduğu durumda tambur iç yüzeyinin ileteceği moment:

b enindeki dA elemanı hacmi, ortalama bir alt yüzeyli dikdörtgen kabulüyle;

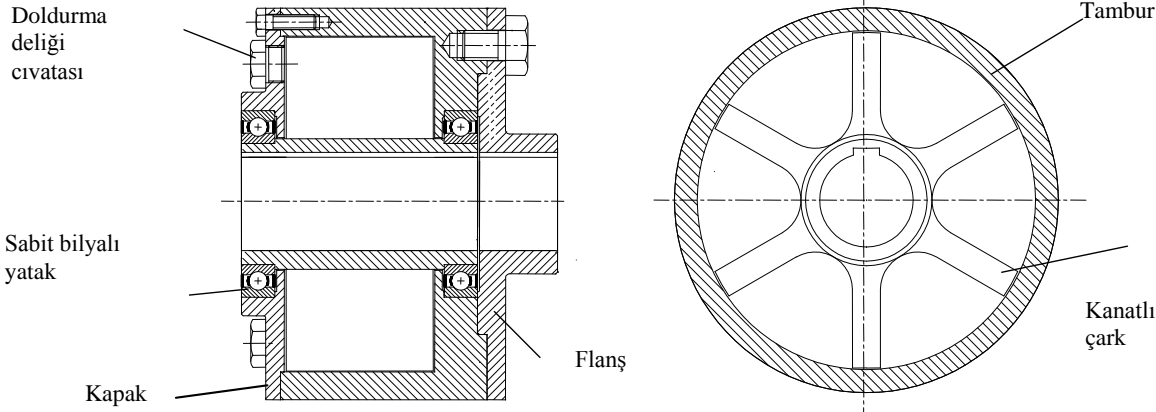
$$dM_1 = dF_s R = dm \omega^2 R_s \mu R \quad (5)$$

Silindir halkasının ağırlık merkezi R_s 'dir. Kanatlı çarkın kanat genişlikleri, (R_s) mesafesini çok az bir miktarda azalttığından hesaplamalara katılmamıştır. Şekil 2 üzerindeki üçgenlerden faydalanılarak silindir halkasının (R_s) ağırlık merkezi aşağıda hesaplanmıştır.

$$\int (R^2 - r^2) R_s d\theta = \frac{2}{3} \int (R^3 - r^3) d\theta \quad (6)$$

$$R_s = \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} = \frac{2}{3} \frac{R^2 + Rr + r^2}{R + r} \quad (7)$$

Böylece, bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyinin ileteceği moment, denklem 5'e denklem 2 ve denklem 7 yerleştirilerek,



Şekil 1. Bilyalı santrifüj kavrama elemanları

$$dV = (R - r) \left(\frac{R + r}{2} \right) b d\theta = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) b d\theta \quad (1)$$

Silindir halkasının kütlesi:

$$dm = \rho dV = \rho \frac{1}{2} (R^2 - r^2) b d\theta \quad (2)$$

Kütlenin sabit ω hızıyla döndüğü varsayılarak normal kuvvet:

$$dF_N = dm \omega^2 R_s \quad (3)$$

olacaktır. Bu durumda sürtünme kuvveti sürtünme kuvveti:

$$dF_s = dF_N \mu = dm \omega^2 R_s \mu \quad (4)$$

İletilen moment:

$$dM_1 = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) b \rho \omega^2 \mu R \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} d\theta \quad (8)$$

$$dM_1 = \frac{1}{3} b \rho \omega^2 \mu R (R^3 - r^3) d\theta \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem 9 (0 ile 2π) arasında integre edilirse;

$$M_1 = \frac{2}{3} \pi R^4 b \rho \omega^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (10)$$

Boşluk faktörü $\Psi = \frac{r}{R}$, kavrama geometrisi fak-

törü $\phi = \frac{b}{R}$ olarak tanımlanır ve açısal hız

yerine, $n = \text{dev/dak}$ kabul edilerek yazılırsa:

$$M_1 = \frac{2}{3} \pi R^5 \frac{b}{R} \rho \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \mu \left[-\Psi^3 \right] \quad (11)$$

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \phi \rho n^2 \mu \left[-\Psi^3 \right] \quad (12)$$

Böylece sabit devir sayısında iletilebilen maksimum moment boşluk faktörü Ψ ile değişmektedir.

Porozite; gözenek hacmin V_g , dolum hacmine V oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür.

$$P_o = \frac{V_g}{V} \quad (13)$$

Bilyalı santrifüj kavrama tamburu içine doldurulan bilyaların dolum yoğunlukları, bilya yoğunluğuna göre daha azdır. Teorik formülde kullanılan bilya dolum ağırlık merkezinin (R_s) hesaplanması için porozitenin bilinmesi gereklidir (7). Dolumun yoğunluğu ρ , bilya yoğunluğu ρ_{Fe} ve porozite P_o olduğuna göre,

$$\rho = \rho_{Fe} (1 - P_o) \quad (14)$$

yazılır.

Bilyalı santrifüj kavrama tamburu içine doldurulan bilyaların dolum yoğunluğu $\rho = \rho_{Fe} (1 - P_o)$ 12 nolu denklemde yerine yazılırsa (4),

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \phi \rho_{Fe} (1 - P_o)^2 \mu \left[-\Psi^3 \right] \quad (15)$$

kavrama iç yüzeyinin iletlediği moment elde edilir.

Bilyalı santrifüj kavrama yan yüzeylerinin iletlediği moment: Kanatlı çark dönmeye başladığında, bölmeler içindeki bilyalar santrifüj kuvvet tesiri ile tamburun silindirik iç yüzeyine ve yan yüzeylerine karşı bir baskı kuvveti uygularlar. Bilyalı santrifüj kavrama sonsuz küçük çapta ve sonsuz sayıda bilya ile r yarıçapına kadar doldurulduğu durumda kavrama yan yüzeylerinin iletlediği momenti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$p = p_a$ ise $dF_N = p_a dA = p_a a d\theta da$ (16) verilebilir. Bu durumda toplam yanal moment:

$$M_2 = \mu \int a dF_N = \mu \int p_a a d\theta da = \mu \int_0^{2\pi} \int_r^R p_a a^2 d\theta da \quad (17)$$

şeklinde olacaktır. Basınç dağılımı:

$$p_a dA + \omega^2 adm - dA \left(p_a + \frac{\partial p}{\partial a} da \right) = 0 \quad (18)$$

$$p_a dA + \omega^2 ap da - dA \left(p_a + \frac{\partial p}{\partial a} da \right) = 0 \quad (19)$$

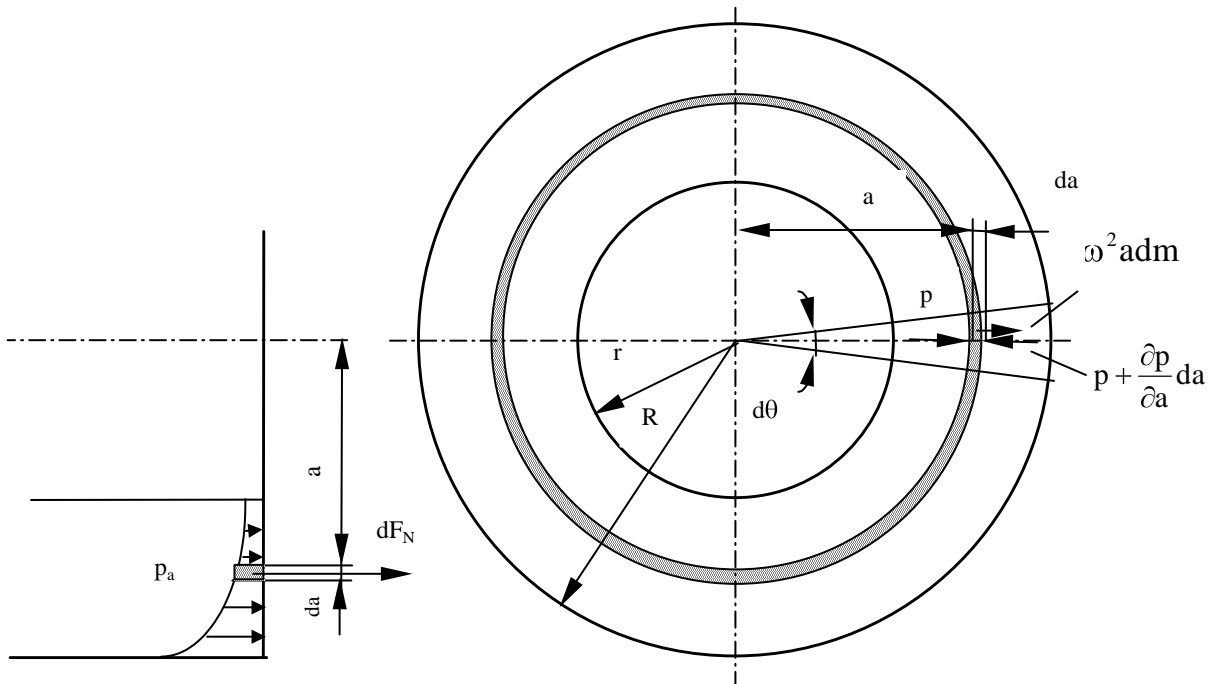
$$p_a + \omega^2 ap da - p_a - \frac{\partial p}{\partial a} da = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial p}{\partial a} da = \rho \omega^2 ada \quad (21)$$

$$\frac{dp}{da} da = \rho \omega^2 ada \quad (22)$$

$$dp = \rho \omega^2 ada \quad (23)$$

$$\int dp = \int \rho \omega^2 ada \quad (24)$$



Şekil 3. Kavrama yan yüzeyinde basınç dağılımı ve yanal moment

$$p = \rho \omega^2 \frac{a^2}{2} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 a^2 \quad (25)$$

Denklem 25, denklem 17 de yerine yazılırsa ve kavramanın iki yan yüzeyi olduğundan:

$$M_2 = 2\mu \int_0^{2\pi} \int_r^R \left(\frac{1}{2} \rho \omega^2 a^2 \right) a^2 d\theta da = \mu \rho \omega^2 \int_0^{2\pi} \int_r^R a^4 d\theta da \quad (26)$$

$$M_2 = \mu \rho \omega^2 2\pi \frac{(R^5 - r^5)}{5} = \mu \rho \omega^2 2\pi \frac{1}{5} R^5 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^5 \right] \quad (27)$$

Boşluk faktörü $\Psi = \frac{r}{R}$, dolun yoğunluğu,

$\rho = \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right)$ ve $\omega = \frac{\pi n}{30}$ yazılırsa:

$$M_2 = \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \left[\frac{\pi n}{30} \right]^2 2\pi \mu \frac{1}{5} R^5 \left(1 - \Psi^5 \right) \quad (28)$$

$$M_2 = \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \mu R^5 \left(1 - \Psi^5 \right) \quad (29)$$

Kavramanın iki yan yüzeyinin ilettiği moment denklemi elde edilir.

Bilyalı santrifüj kavrama iç yüzeyinin ilettiği moment (denklem (15)) ve yan yüzeylerin ilettiği moment (denklem (29)) toplandığında kavramanın ilettiği toplam teorik moment denklemi bulunur.

$$M_T = M_1 + M_2 \quad (30)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{1350} n^2 \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \mu R^5 \left(1 - \Psi^3 \right) + \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \mu R^5 \left(1 - \Psi^5 \right) \quad (31)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \mu R^5 \left[\frac{1}{3} \left(1 - \Psi^3 \right) + \frac{1}{5} \left(1 - \Psi^5 \right) \right] \quad (32)$$

Bu denklemde aşağıdaki notasyonlar yapılarak,

$$C = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} \left(1 - P_o \right) \mu R^5 \quad (33)$$

$$f = f_1 + f_2 = \left[\frac{1}{3} \left(1 - \Psi^3 \right) \right] + \left[\frac{1}{5} \left(1 - \Psi^5 \right) \right] \quad (34)$$

Toplam moment:

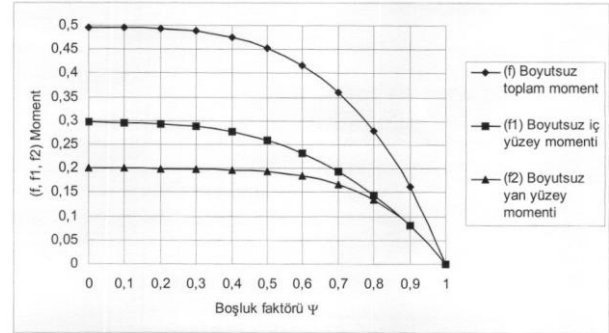
$$M_T = C f = C \left(f_1 + f_2 \right) \quad (35)$$

elde edilir. Denklemde görüldüğü gibi sabit devir sayısında iletilen toplam moment, f ile değişmektedir.

Burada C'nin birimi

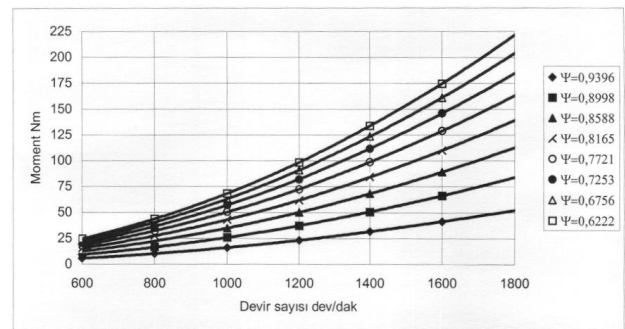
$$C = \left[\frac{1}{\text{san}^2} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{m}^5 \right] = \text{Nm} \text{ 'dir.}$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA



Şekil 4. Sabit devir sayısında boşluk faktörü, teorik boyutsuz moment eğrileri

$R=90$ mm ve $b=80$ mm ölçülerindeki bir bilyalı santrifüj kavramanın sabit devir sayısındaki boşluk faktörü, teorik boyutsuz moment eğrileri Şekil 4 de verilmiştir. Bilyalı santrifüj kavrama geometri faktörü $\phi = b/R$ ve boşluk faktörü $\Psi = r/R$ değerleri ile tanımlanmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama genişliği b tambur iç yüzeyinin ileteceği momenti doğrudan etkiler, fakat yan yüzeylerin ilettiği momentleri değiştirmez. Denklem (32) de görüldüğü gibi yan yüzeylerin moment iletimi kavrama genişliğine bağlı değildir. Tambur yarıçapı R , boşluk faktörü Ψ ve geometri faktörü ϕ değiştiren bir parametredir. Tambur yarıçapı R iç ve yan yüzeylerin ilettiği momentleri doğrudan değiştirmektedir.



Şekil 5. Devir sayısı moment eğrileri

Şekil 5 de farklı boşluk faktörlerindeki devir sayısı moment değişim eğrileri verilmiştir. Sabit devir sayısında boşluk faktörü azaldıkça iletilen moment yükselmektedir; diğer bir deyişle kavramanın bilya dolun kütle miktarı arttıkça ilettiği moment yükselmektedir. Bilyalı santrifüj kavramada aynı boşluk faktörlerinde artan devir sayısı ile moment iletim miktarının arttığı görülmektedir. Bu, kavramanın ilettiği momentin

açısız hızın karesi ile arttığı gerçeğine uygun gelmektedir. Düşük devirlerde boşluk faktörünün daha etkili olduğu, devir sayısı arttıkça boşluk faktörü etkisinin giderek azaldığı, devir sayısı etkisinin hızlı bir şekilde arttığı sonucuna varılmıştır.

SEMBOLLER

ω : Açısız hız (rad/san)
 ϕ : Bilyalı santrifüj kavrama geometri faktörü
 ρ : Dolum yoğunluğu (kg/m^3)
 μ : Sürtünme katsayısı
 Ψ : Boşluk faktörü
 ρ_{Fe} : Bilya yoğunluğu (kg/m^3)
 b : Bilyalı santrifüj kavrama genişliği (m)
 f : Boyutsuz toplam moment
 f_1 : Boyutsuz iç yüzey momenti
 f_2 : Boyutsuz yan yüzey momenti
 F_N : Normal kuvvet (N)
 F_S : Sürtünme kuvveti (N)
 g : Yerçekimi ivmesi (m/san^2)
 m : Kütle (kg)
 M_1 : Bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyinin ilettiği moment (Nm)
 M_2 : Bilyalı santrifüj kavrama yan yüzeylerinin ilettiği moment (Nm)
 M_T : Toplam moment (Nm)
 n : Devir sayısı (dev/dak)
 P : Güç (W)

P : Basınç (N/m^2)
 P_0 : Porozite
 R : Tambur iç yarıçapı (m)
 R : Dolumun iç yarıçapı (m)
 R_S : Bilya sektörünün ağırlık merkezinin dönme eksenine mesafesi (m)
 V : Dolum hacmi (m^3)
 V_g : Gözeneklerin toplam hacmi (m^3)

KAYNAKLAR

1. SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R., Standart Handbook of Machine Design. McGraw-Hill, Inc. New York 1986.
2. JOHN, St., RICHARD, C., Centrifugal Clutch Has Gentle Touch. Power Transmission Design. 17, 40-42, 1975.
3. GOODLING, E.C., Fighting High Energy Costs With Centrifugal Clutches. Machine Design. 46, 119-124, 1974.
4. TÜRK BAY, İ., İki Fazlı Aktarıcılı Kavramaların Karakteristiklerinin Matematiksel ve Deneysel Araştırılması. Doktora Tezi, F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
5. SCHAILTZ, A., Kupplung Atlas. A. G. T. Verlag Georg Thum. Württ 1968.
6. DITTRICH, D., SCHUNMANN, O., Anwendungen der Antriebstechnik Band II: Kupplungen. Graphischer Betrieb. Mainz 1974.
7. SAYDAM, T., Akışkanların Gözenekli Ortamdaki Akışı. Çağlayan Basımevi. İstanbul 1973.