



Bilyalı tip santrifüj kavramanın matematiksel ve deneysel incelenmesi

İsmail Türkbay *

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Kavrama iç ve yan yüzeylerinin ilettiği momentler
- Bilya çapı değişiminin kavrama momentine etkisi
- Kavramada iletilen momentin matematiksel modellenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 17.02.2015

Kabul: 04.10.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.278442

Anahtar Kelimeler:

Santrifüj kavrama,
bilyalı tip santrifüj kavrama,
porozite,
moment

ÖZET

Bu çalışmada bilyalı tip santrifüj kavrama matematiksel ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak bilya çapı değişimine bağlı olarak; boşluk faktörü ve devir sayısı değişimlerinde iletilen momentler ölçülmüştür. Bilyalı tip santrifüj kavramanın ilettiği moment iç yüzey ile iki yan yüzeyin ilettiği momentlerin toplamına eşittir. Küçük çaplı bilyaların daha fazla moment ilettiği görülmüştür. Bilyalı tip santrifüj kavrama elektrik motorunun yük altında harekete başlaması istenilen yerlerde kullanılmaktadır. İlk harekete başlama esnasında enerji tasarrufu sağlanmakta ve aşırı yüklemelerde kayarak bir emniyet kavraması gibi görev yapmaktadır. İletilebileceği maksimum moment muhafaza içindeki bilya kütlesi değiştirilerek ayarlanabilir.

Mathematical and experimental investigation of the ball type centrifugal clutch

H I G H L I G H T S

- Transmitted torque by inner and side surfaces of clutch
- The effect of ball diameter change on the clutch torque
- Mathematical modeling of transmitted torque by clutch

Article Info

Received: 17.02.2015

Accepted: 04.10.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.278442

Keywords:

Centrifugal clutch,
ball type centrifugal clutch,
porosity,
torque

ABSTRACT

In this study, the ball type centrifugal clutch was examined mathematically and experimentally. In the experiments, depending on the ball diameter variations; the transmitted torques were measured for various gap factor and spindle speed levels. The torque transmitted by the ball type centrifugal clutch is equal to the total of torques transmitted at the inner and two side surfaces. The smaller the ball diameter, the greater torque was transmitted. The ball type centrifugal clutch is used the areas where the running operation of the electric motor is required under the load. The clutch saves energy during the initial operation, and it behaves like a safety clutch at the over loading levels by sliding. The maximum transmittable torque can be adjusted by changing the mass of the ball in the housing.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: iturkbay@firat.edu.tr / Tel: +90 424 237 0000 - 4364

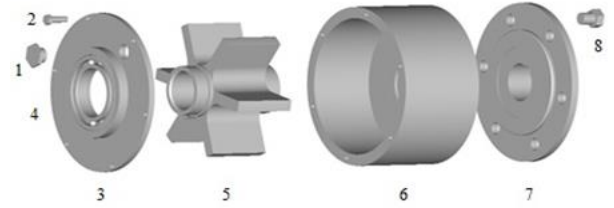
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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 muhafaza, santrifüj parçalar tarafından sürtünme kuvveti ile hareket ettirilir. Çıkış mili doğrudan yüke veya bir kayış kasnak mekanizmasına bağlıdır. Santrifüj kavramaların en yaygın olanı pabuçlu santrifüj kavramadır [1]. Tüm kaplin ve kavramaların genel bir sınıflandırılması; şekilleri, açıklayıcı bilgileri ve kullanıldığı yerler literatürde verilmiştir [2]. Makine işletimlerinde kullanılan kavramaların seçiminde; yük atalet momenti, kavrama çeşitlerinin özellikleri ve motor seçimi konuları incelenmiştir [3]. Yüksek enerji maliyetleri ile mücadelede; santrifüj kavramalarda enerji tasarrufunun nasıl elde edildiği gösterilmiştir [1]. Santrifüj kavramaların devreye girmesi ve çalışma esnasında ani aşırı yük momentlerinde kayarak donanımı korumasından bahsedilmiştir [4]. Santrifüj kavramaların avantajları ve bir rijit kavramalı bağlantı ile bir santrifüj kavramalı bağlantılı işletimin karşılaştırılması yapılmıştır [5]. Geleneksel kavrama ve kaplin çeşitleri, şekilleri, açıklamaları ve formülleri literatürde verilmiştir [6-9]. FOA santrifüj kavrama deneysel ve matematiksel olarak incelenmiştir. Santrifüj elemanı papuç olan kavramada, papuç üzerindeki agresif ve agresif olmayan temas yüzeyleri vasıtasıyla yüksek tork iletimi amaçlanmıştır [10]. Papuçlu geleneksel santrifüj kavrama ve FOA santrifüj kavramanın tasarım formülleri analitik olarak hesaplanmıştır [11]. Bilyalı tip santrifüj kavrama matematiksel ve deneysel olarak araştırılmıştır [12]. İçi bilyalarla dolu farklı geometrideki kaplarda bilya dolularının porozitesi araştırılmış ayrıca bilyaların altı farklı dizilişi incelenmiş ve poroziteleri hesaplanmıştır [13]. Bilyalı tip santrifüj kavramada bilyalar ve muhafaza yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünme aşınmasının incelenmesi önem arz etmektedir. Malzemelerde tribolojik davranışların incelenmesi literatürde verilmiştir [14-16].

1.1. Bilyalı Tip Santrifüj Kavrama (The Ball Type Centrifugal Clutch)

Şekil 1'de görüldüğü gibi 1 şarj civatası, 2, 8 bağlama civataları, 3 kapak, 4 sabit bilyalı yataklar, 5 kanatlı çark, 6 muhafaza, 7 flanş ve kanatlı çark bölmelerine doldurulan çelik bilyalar bilyalı tip santrifüj kavramanın elemanlarıdır [2, 9]. Bu çalışmada kullanılan bilyalı santrifüj kavrama muhafazası iç yarıçapı $R=90$ mm ve iç genişliği $b=80$ mm'dir. Döndüren mil kanatlı çarka ve flanş da döndürülen mile bir kama ile bağlanmıştır. Kanatlı çark muhafazaya sabit bilyalı yataklarla bağlanmıştır. Kapak ve flanş muhafazaya civatalarla bağlanmıştır. Döndüren mile bir kama ile bağlı olan kanatlı çark muhafaza içini eşit hacimli bölmelere böler. Bu bölmeler ihtiyaç duyulan kavrama

gücüne bağlı olarak çelik bilyalarla tamamen veya kısmen eşit miktarlarda doldurulur ve aşınmayı azaltmak için dişli kutusu yağı ile yağlanır. Döndüren mil döndürüldüğü zaman kanatlı çark bölmeleri içindeki çelik bilyalar bir çember içinde hareket edecektir. Sonuçta santrifüj kuvvet muhafazaya karşı bir basınç üretecektir. Döndürülen makinanın harekete başlaması esnasında muhafaza ve çelik bilyalar arasında yuvarlanma sürtünmesi ile birlikte kayma meydana gelir. Bilyalı tip santrifüj kavramanın harekete başlaması süresinde meydana gelen sürtünme ısı, muhafaza iç yüzeyini az bir miktar ısıtırken, bilya dolgu maddesini oldukça fazla ısıtmaktadır. Bilyalı santrifüj kavramanın harekete başlama süresi sonunda, herhangi bir kayma olmaksızın statik sürtünme vasıtasıyla hareket devam eder. Durma anında kanatlı çark ve muhafaza biri birine izafi hareket edebilir [2, 9, 12].



Şekil 1. Bilyalı tip santrifüj kavrama elemanları
(Ball type centrifugal clutch elements)

2. TEORİK METOT (TEORICAL METHOD)

2.1. Silindirik Halkası Dolu Porozitesinin Deneysel Araştırılması

(The Experimental Investigations of the Fillings Porosity in the Cylinder Ring)

Porozite (P_o), gözenek hacminin (V_g), dolgu hacmine (V) oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür [13]. Bir kap içine doldurulan bilyaların toplam hacmi (V_b) ve dolgu hacmi $V=V_g+V_b$ olduğundan, gözeneklilik oranı porozite (P_o), bulunur.

$$P_o = \frac{V_g}{V} = \frac{V_g}{V_g + V_b} = 1 - \frac{V_b}{V} \quad (1)$$

Bilyaların toplam kütlesi (m), bilya yoğunluğu $\rho_b = \rho_{Fe}$ ve dolgu yoğunluğu (ρ) olduğundan,

$$m = \rho_{Fe} V_b = \rho V \quad (2)$$

bu bağıntıdan

$$\frac{V_b}{V} = \frac{\rho}{\rho_{Fe}} \quad (3)$$

yazılır. V_b/V oranı yerine ρ/ρ_{Fe} oranı Eş. 1'de yerine yazılırsa (P_o),

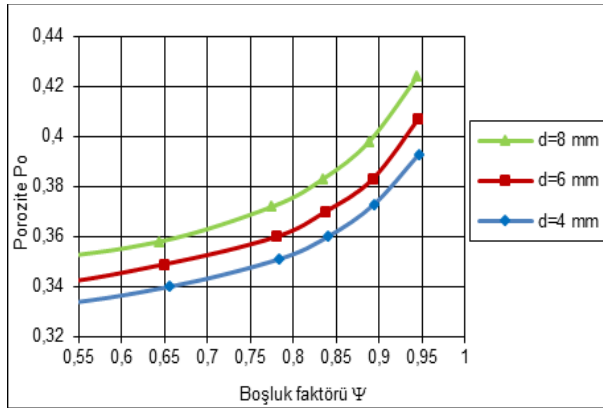
$$P_o = 1 - \frac{V_b}{V} = 1 - \frac{\rho}{\rho_{Fe}} \quad (4)$$

ve

$$\rho = \rho_{Fe}(1 - P_o) \quad (5)$$

yazılır.

Deneylerde kullanılan bilyalı tip santrifüj kavrama muhafazası içine doldurulan bilya dolununun porozitesini ölçmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama Şekil 1 ve Şekil 3 muhafaza iç yarıçapı $R=90$ mm ve iç genişliği $b=80$ mm dir. Muhafaza merkezine yarıçapları r_1, r_2, r_3, r_4 ve r_5 olan içi dolu silindirik parçalar yerleştirilerek elde edilen boş hacimlere sırayla $\phi=4$ mm, $\phi=6$ mm ve $\phi=8$ mm bilyalar doldurularak bilyaların kütleleri tartılmıştır. Silindir halkası hacimleri $V=\pi(R^2-r^2)b$ hesaplandıktan sonra, boşluk faktörleri $\Psi=r/R$ eşitliğinden, toplam bilya hacmi $V_b=m/\rho_{Fe}$ eşitliğinden ve poroziteler $P_o=1-(V_b/V)$ Eş. 1'den hesaplanmıştır. Şekil 2'de farklı çaplardaki bilya dolunları için porozitenin (P_o), boşluk faktörü (Ψ) ile değişimi grafiği görülmektedir. Küçük çaplı bilya dolunlarının porozitesi daha az ve büyük çaplı bilya dolunlarının porozitesi daha fazladır.

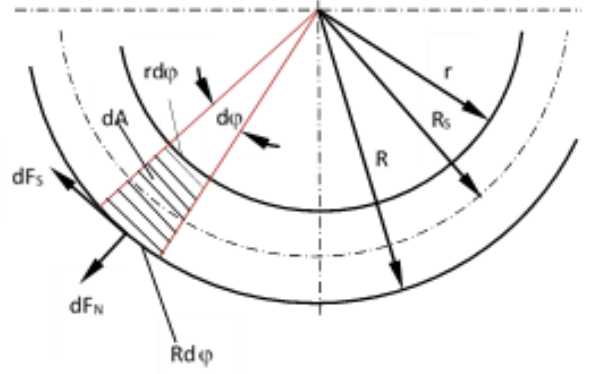


Şekil 2. Bilya dolunlarında boşluk faktörü ve porozite değişimleri
(The changes of gap factor and porosity in the ball filings)

2.2. Bilyalı Tip Santrifüj Kavrama İç Yüzeyinin İlettiği Moment

(The Torque Transmitted by the Inner Surface in Ball Type Centrifugal Clutch)

Bilyalı tip santrifüj kavramanın ilettiği toplam moment (M_T): bilyaların muhafaza iç yüzeyine karşı uyguladığı kuvvete bağlı olarak meydana gelen sürtünme kuvveti ile aktarılan moment (M_1) ve bilyaların muhafazanın iki yan yüzeyine uyguladığı kuvvete bağlı olarak meydana gelen sürtünme kuvvetleri ile aktarılan moment (M_2) in toplamıdır. Kanatlı çarkın kanat sayısı ve kanat kalınlığı hesaplamalara katılmamıştır. Çünkü bu parametreler bilya dolunu ağırlık merkezi ölçüsünü (R_s) az bir miktar artırmakta ve iletilen moment miktarını da çok az bir miktar artırmaktadır.



Şekil 3. Bilyalı tip santrifüj kavramada iç yüzey kuvvetleri
(The inner surface forces at the ball type centrifugal clutch)

Bilyalı tip santrifüj kavrama Şekil 3, sonsuz küçük çapta ve sonsuz sayıda bilya ile (r) yarıçapına kadar doldurulduğu zaman muhafaza iç yüzeyinin ileteceği moment: dA elemanın alanı,

$$dA = rd\phi dr \quad (6)$$

b genişliğinde dA elemanın hacmi,

$$dV = bdA \quad (7)$$

R dış, r iç yarıçapında ve b genişliğindeki silindir halkasının kütlesi:

$$dm = \rho dV \quad (8)$$

R_s silindir halkasının ağırlık merkezidir. Silindir halkası kütlesi sabit ω hızıyla döndüğünde normal kuvvet:

$$dF_N = dm\omega^2 R_s \quad (9)$$

olacaktır. Bu durumda sürtünme kuvveti:

$$dF_s = dF_N \mu = dm\omega^2 R_s \mu \quad (10)$$

R silindir halkasının dış yarıçapıdır. İletilen moment:

$$dM_1 = dF_s R = dm\omega^2 R_s \mu R \quad (11)$$

Silindir halkasının m kütlesi.

$$m = \rho b \int_0^{2\pi} \int_r^R rd\phi dr \quad (12)$$

$$m = \rho b 2\pi \left[\frac{R^2 - r^2}{2} \right] = \rho b \pi (R^2 - r^2) \quad (13)$$

Silindir halkasının ağırlık merkezi R_s 'dir. Kanatlı çarkın kanat kalınlığı, (R_s) mesafesini çok az bir miktarda

azalttığından hesaplamalara katılmamıştır. Silindirik halkasının (R_s) ağırlık merkezi aşağıda hesaplanmıştır.

$$R_s A = \int_A r dA \quad (14)$$

$$R_s = \frac{1}{A} \int_A r dA = \frac{1}{A} \int_A r r d\phi dr \quad (15)$$

$$R_s = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)} \int_0^{2\pi} \int_r^R r^2 d\phi dr$$

$$R_s = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)} 2\pi \int_r^R r^2 dr \quad (16)$$

$$R_s = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)} 2\pi \left[\frac{R^3 - r^3}{3} \right] \quad (17)$$

$$R_s = \frac{2}{3} \left[\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right] \quad (18)$$

Böylece bilyalı tip santrifüj kavrama muhafaza iç yüzeyinin ileteceği moment, Eş. 11'e Eş. 13 ve Eş. 18 yerleştirildiğinde,

$$M_1 = \rho b \pi (R^2 - r^2) \omega^2 \frac{2}{3} \left[\frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right] \mu R \quad (19)$$

$$M_1 = \rho b \pi \omega^2 \frac{2}{3} (R^3 - r^3) \mu R \quad (20)$$

Eşitliğin her iki tarafı R^3 e bölünürse,

$$M_1 = \frac{2}{3} \pi R^4 b \rho \omega^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (21)$$

Boşluk faktörü $\Psi = r/R$, bilyalı tip santrifüj kavrama geometrisi faktörü $\phi = b/R$ olarak tanımlanır ve $n = dev/dak$ kabul edilerek açısal hız yerine, $\omega = \pi n/30$ yazılırsa:

$$M_1 = \frac{2}{3} \pi R^5 \frac{b}{R} \rho \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \mu [1 - \Psi^3] \quad (22)$$

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \phi \rho n^2 \mu [1 - \Psi^3] \quad (23)$$

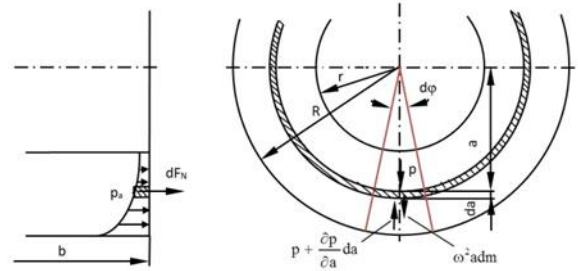
Sabit devir sayısında iletilen maksimum moment boşluk faktörü Ψ ile değişmektedir. Dolu yoğunluğu $\rho = \rho_{Fe}(1 - P_o)$ Eş. 23'de yerine yazılırsa, bilyalı tip santrifüj kavrama iç yüzeyinin ilettiği moment elde edilir.

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \phi \rho_{Fe} (1 - P_o) n^2 \mu [1 - \Psi^3] \quad (24)$$

2.3. Bilyalı Tip Santrifüj Kavrama Yan Yüzeylerin İlettiği Moment

(The Torque Transmitted by the Side Surfaces in Ball Type Centrifugal Clutch)

Bilyalı tip santrifüj kavrama iki yan yüzeyinin ilettiği moment: Kanatlı çark dönmeye başladığında, kanatlı çark bölmeleri içindeki bilyalar santrifüj kuvvet etkisi ile muhafazanın silindirik iç yüzeyine ve yan yüzeylerine karşı bir baskı kuvveti uygularlar. Bilyalı tip santrifüj kavrama sonsuz küçük çapta ve sonsuz sayıda bilya ile (r) yarıçapına kadar doldurulduğu durumda Şekil 4, bilyalı tip santrifüj kavrama yan yüzeylerinin ileteceği moment (M_2) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4. Bilyalı tip santrifüj kavramada yan yüzey kuvvetleri

(The side surfaces forces at the ball type centrifugal clutch)

$$p = p_a \text{ ise } dF_N = p_a dA = p_a a d\phi da \quad (25)$$

verilebilir. Bu durumda toplam yan moment:

$$M_2 = a dF_s = \mu \int a dF_N = \mu \int a p_a a d\phi da$$

$$M_2 = \mu \int_0^{2\pi} \int_r^R p_a a^2 d\phi da \quad (26)$$

şeklinde olacaktır. Basınç dağılımı:

$$p_a dA + \omega^2 adm - dA \left(p_a + \frac{\partial p}{\partial a} da \right) = 0 \quad (27)$$

$$p_a dA + \omega^2 ap da - dA \left(p_a + \frac{\partial p}{\partial a} da \right) = 0 \quad (28)$$

$$p_a + \omega^2 ap da - p_a - \frac{\partial p}{\partial a} da = 0 \quad (29)$$

$$\frac{\partial p}{\partial a} da = \rho \omega^2 a da \quad (30)$$

$$\frac{dp}{da} da = \rho \omega^2 a da \quad (31)$$

$$dp = \rho \omega^2 a da \quad (32)$$

$$\int dp = \int \rho \omega^2 a da \quad (33)$$

$$p = \rho \omega^2 \frac{a^2}{2} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 a^2 \quad (34)$$

Eş. 34, Eş. 26'da yerine yazılırsa ve bilyalı tip santrifüj kavramının iki yan yüzeyi olduğundan:

$$M_2 = 2\mu \int_0^R \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{2} \rho \omega^2 a^2 \right) a^2 d\phi da \quad (35)$$

$$M_2 = \mu \rho \omega^2 \int_0^R \int_0^{2\pi} a^4 d\phi da$$

$$M_2 = \mu \rho \omega^2 2\pi \frac{R^5 - r^5}{5}$$

$$M_2 = \mu \rho \omega^2 2\pi \frac{1}{5} R^5 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^5 \right] \quad (36)$$

Boşluk faktörü $\Psi = r/R$, dolun yoğunluğu $\rho = \rho_{Fe} (1 - P_o)$ ve $\omega = \frac{\pi n}{30}$ yazılırsa:

$$M_2 = \rho_{Fe} (1 - P_o) \left[\frac{\pi n}{30} \right]^2 2\pi \mu \frac{1}{5} R^5 (1 - \Psi^5) \quad (37)$$

$$M_2 = \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 (1 - \Psi^5) \quad (38)$$

Bilyalı tip santrifüj kavramının iki yan yüzeyinin ilettiği moment eşitliği elde edilir.

Bilyalı tip santrifüj kavrama iç yüzeyinin ilettiği moment Eş. 24 ve yan yüzeylerin ilettiği moment Eş. 38 toplandığında kavramanın ilettiği toplam teorik moment (M_T) eşitliği bulunur.

$$M_T = M_1 + M_2 \quad (39)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{1350} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu \rho R^5 (1 - \Psi^3) + \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 (1 - \Psi^5) \quad (40)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 \left[\frac{1}{3} \phi (1 - \Psi^3) + \frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \right] \quad (41)$$

Bu eşitlikte aşağıdaki notasyonlar yapılarak,

$$C = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 \quad (42)$$

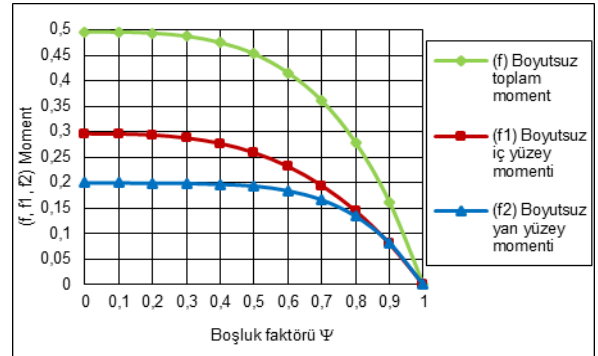
$$f = f_1 + f_2 = \left[\frac{1}{3} \phi (1 - \Psi^3) \right] + \left[\frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \right] \quad (43)$$

$$M_T = Cf = C(f_1 + f_2) \quad (44)$$

Toplam moment elde edilir. Eşitlikte görüldüğü gibi sabit devir sayısında iletilen toplam moment, (f) ile değişmektedir. Burada C'nin birimi

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

Şekil 5'de boyutsuz iç yüzey, yan yüzey ve toplam moment eğrileri çizilmiştir. Bilyalı tip santrifüj kavrama geometri faktörü $\phi = b/R$ ve boşluk faktörü $\Psi = r/R$ değerleri ile tanımlanmıştır. Bilyalı tip santrifüj kavrama genişliği (b) muhafaza iç yüzeyinin ileteceği momenti (M_1) doğrudan etkiler, fakat iki yan yüzeyin ilettiği momenti (M_2) etkilemez. Eş. 38'de görüldüğü gibi iki yan yüzeyin moment iletimi kavrama genişliğine bağlı değildir. Muhafaza yarıçapı (R), boşluk faktörü (Ψ) ve geometri faktörü (ϕ) değerlerini değiştiren bir parametredir. Muhafaza yarıçapı (R) iç ve yan yüzeylerin ilettiği momentleri doğrudan değiştirmektedir.

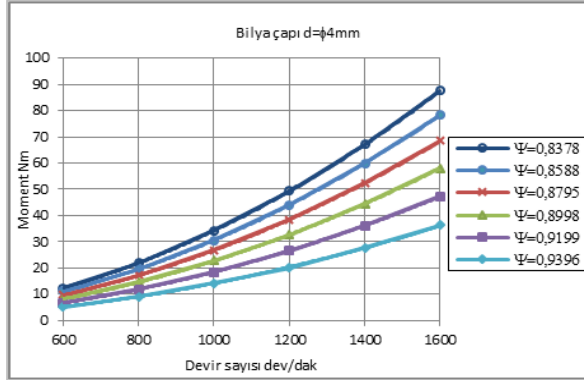


Şekil 5. Sabit devir sayısında boşluk faktörü ve boyutsuz moment eğrileri

(The gap factor and dimensionless torque curves at the fixed spindle speeds)

Bilyalı tip santrifüj kavramının ilettiği moment, devir sayısı ve boşluk faktörüne bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 6'da $d = \phi 4$ mm çaplı bilya dolununun farklı boşluk faktörlerindeki (Ψ), farklı devir sayısı (n) için hesaplanan (M_T) moment değişim eğrileri verilmiştir. Bilyalı tip santrifüj kavramının giriş mili devir sayısı artırıldığında, tüm boşluk faktörlerinde iletebileceği momentin de arttığı

görülmüştür. Boşluk faktörleri azaldığında yani muhafaza içindeki bilya kütlesi artırıldığında iletilen momentin de arttığı görülmüştür.

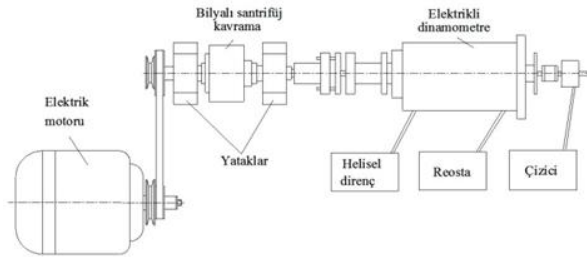


Şekil 6. Devir sayısı ve moment eğrileri
(Spindle speeds and torque curves)

3. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Deneysel Seti (Experimental Setup)

Şekil 7’de bilyalı tip santrifüj kavrama deney setinin üstten görünüşü verilmiştir. Üç fazlı elektrik motoru mili ile bilyalı tip santrifüj kavrama döndüren mili arasındaki güç iletimi iki kademeli V kayış-kasnak mekanizması ile sağlanmıştır. Ölçümler esnasında bilyalı tip santrifüj kavrama giriş miline ve elektrik motoru miline sıra ile bağlanan, beş adet iki kademeli V kayış kasnağı kullanılmıştır. Her bir kademeli kasnaktan iki ve toplam on farklı devir sayısı elde edilmiştir. Bilyalı tip santrifüj kavramanın giriş mili kanatlı çarka, çıkış mili flanşa bağlanmıştır. Giriş ve çıkış milleri üzerine yerleştirilen oynak rulmanlı yataklar, dik yatak yuvalarına yerleştirilerek bağlanmıştır. Bilyalı tip santrifüj kavrama çıkış mili ile elektrikli dinamometre arasına bir oynak lastikli kavrama yerleştirilmiştir.



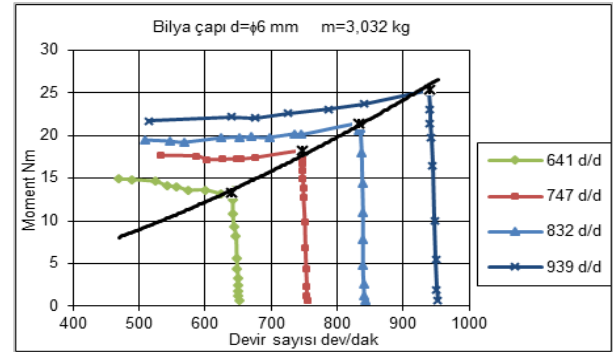
Şekil 7. Deneysel seti (Experimental setup)

Elektrik dinamometresinin sağ tarafındaki çıkış miline bir takogeneratör bağlanmıştır. Takogeneratörün döndürülmesi ile elde edilen gerilim, kablo bağlantısı ile plotere gönderilmektedir. Böylece bilyalı tip santrifüj kavrama çıkış milinin döndürülmeye başlanmasıyla, tam kavrama gerçekleşinceye kadar süre arasındaki zaman ile devir sayısı değişimi grafikleri çizdirilmiştir. Deneyler sırasında elektrikli dinamometreyi yükleyerek, bilyalı tip santrifüj

kavrama çıkış milini frenlemek için bir sürgülü reosta kullanılmıştır. Bilyalı tip santrifüj kavrama çıkış mili tarafından döndürülen elektrikli dinamometre, elektrik enerjisi üretmektedir. Bu elektrik enerjisi, sisteme eklenen bir helisel direnç vasıtasıyla ısıya dönüştürülerek sistemden atılmaktadır.

3.2. Deneylerin Yapılması (The Performance of Experiments)

Bilyalı tip santrifüj kavrama kanatlı çark bölmelerinin her birine eşit miktarda $d=\phi 6$ mm çaplı çelik bilyalardan toplam $m=3,032$ kg bilya doldurulmuştur. Devreye girme süresinde meydana gelen aşınmaları azaltmak için kavrama muhafazası içine az miktarda dişli yağı ilave edilmiştir. Sürgülü reosta sıfır konumunda olduğunda yük direnci sıfırdır. Elektrik motoru çalıştırılmış, V kayış kasnak mekanizması vasıtasıyla bilyalı tip santrifüj kavrama harekete başlamış ve bir süre sonra $n=843$ dev/dak sabit devir sayısına ulaşmıştır. Bu Şekil 8’deki üçüncü eğrinin en altındaki noktadır. Bilyalı tip santrifüj kavrama yük momentini artırmak için sürgülü reostanın sürgüsü hareket ettirilerek devreye giren direnç miktarı artırılmış ve yukarıda yapılan işlemler tekrar edilmiştir. Giriş devir sayısı ile çıkış devir sayısı arasında bir farkın meydana geldiği nokta, bilyalı tip santrifüj kavramanın ileteceği nominal momentidir. Bu Şekil 8’de ($M=21,5$ Nm, $n=832$ dev/dak) maksimum moment eğrisinin geçtiği yerdir. Kayma başlangıç noktasından sonra Şekil 8, bilyalı tip santrifüj kavrama yük momentini sürgülü reosta vasıtasıyla artırılarak deneylere devam edilmiştir.



Şekil 8. Sabit bilya kütlesinde devir sayısı ve maksimum moment eğrisi

(The spindle speed and maximum torque curve at the fixed ball mass)

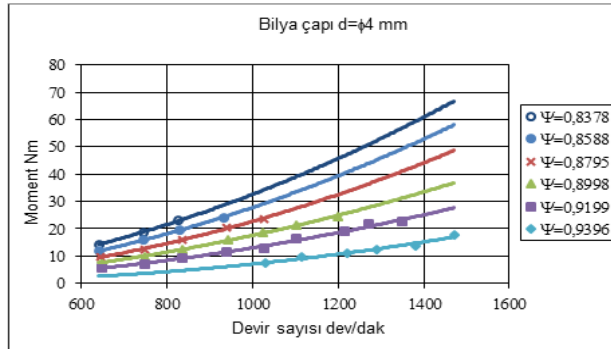
Kaymanın başladığı noktaya kadar, yük momentinin artırılması ile birlikte elektrik motoru devir sayısının bir miktar düştüğü görülmüştür. Ayrıca, yük momentinin artırılması ile beraber bilyalı tip santrifüj kavramanın devreye girme süresinin uzadığı görülmüştür. Kaymanın başladığı noktadan sonra, yük momentinin artırılması ile birlikte bilyalı tip santrifüj kavramada sürekli bir kayma meydana gelmiş ve giriş devir sayısı sabit kaldığı halde, çıkış devir sayısının yük momentinin artırılması ile birlikte sürekli azaldığı görülmüştür. Bilyalı tip santrifüj kavrama giriş mili devir sayısının moment iletimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, giriş miline bağlı kasnak değiştirilip farklı giriş devirlerindeki momentler ölçülerek deneylere

devam edilmiştir. Şekil 8’de dört farklı çıkış devir sayısında deneylerden elde edilen momentler ve maksimum moment eğrisinin geçtiği noktalar görülmektedir. Bilya çapı parametresinin, bilyalı tip santrifüj kavrama moment iletim karakteristiği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla $\phi 4$, $\phi 6$ ve $\phi 8$ mm çaplı bilyalar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde her bir çaptaki bilya için altı dolun yapılmıştır. Tablo 1’de verildiği gibi farklı çaptaki bilya dolunlarının, aynı bilya dolun sıra numaralarındaki kütleleri (m) eşittir ve boşluk faktörleri (Ψ) farklıdır.

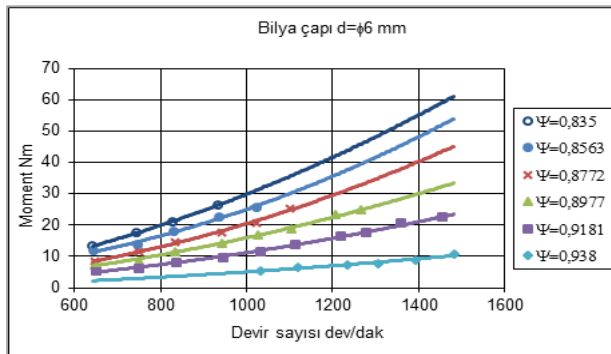
Tablo 1. Dolun bilya kütlesi verileri
(The data of filings ball mass)

Bilya dolun sıra	Dolun bilya kütlesi
I	1,137
II	1,516
III	1,895
IV	2,274
V	2,653
VI	3,032

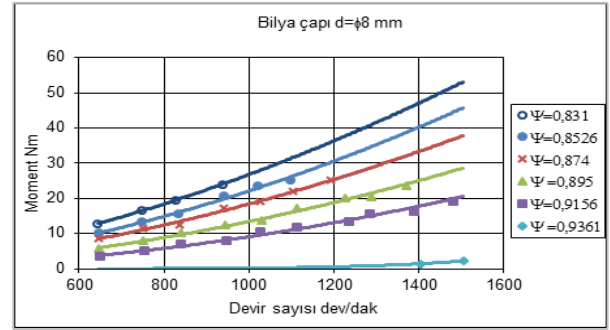
$\phi 4$, $\phi 6$ ve $\phi 8$ mm çaplı bilya dolunları için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’deki grafiklerde verilmiştir. Boşluk faktörü değerleri grafiklerin sağ tarafındaki göstergelerinde verilmiştir. Küçük çaplı bilya dolunlarının daha fazla moment ilettiği görülmektedir.



Şekil 9. Sabit bilya kütlelerinde devir sayısı - maksimum moment eğrileri
(The curves of spindle speed - maximum torque at the fixed ball masses)



Şekil 10. Sabit bilya kütlelerinde devir sayısı - maksimum moment eğrileri
(The curves of spindle speed - maximum torque at the fixed ball masses)



Şekil 11. Sabit bilya kütlelerinde devir sayısı - maksimum moment eğrileri
(The curves of spindle speed - maximum torque at the fixed ball masses)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu kısımda bilyalı tip santrifüj kavramanın moment iletim karakteristiklerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan deney sonuçları tartışılmış ve matematiksel modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Üretimi yapılan bilyalı tip santrifüj kavramanın moment iletim büyüklüğü ve karakteristik özelliklerini tespit etmek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde bilya çapı, boşluk faktörü ve devir sayısı gibi işletme şartları değiştirilerek bunların bilyalı tip santrifüj kavrama performansına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bilya çapının, bilyalı tip santrifüj kavramanın moment iletim karakteristiği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 3 farklı çapta ($\phi 4$, $\phi 6$ ve $\phi 8$ mm) bilya kullanılmıştır. Bu bilyalar ile bilyalı tip santrifüj kavrama ayrı ayrı doldurularak deneyler yapılmıştır. Yukarıda anılan grafiklere bakıldığında Şekil 9, 10 ve 11’de farklı çaptaki bilyalar ve aynı kütle dolunları için bilya çapı küçüldükçe aynı devir sayılarında bilyalı tip santrifüj kavramanın ilettiği momentin arttığı görülmektedir. Muhafaza çevresine dizilmiş en dış sıradaki iç yüzey ile temas halindeki bilyaların kavrama yan yüzeylerine basınç etkileri yoktur, sadece tambur iç yüzeyine bir baskı kuvveti uygularlar. İkinci ve daha sonraki sıradaki bilyalar vasıtasıyla yan yüzeylerde bir sürtünme etkisi meydana gelmektedir. Aynı kütle ($m=1,137$ kg) dolun miktarında tambur çevresinde yaklaşık olarak: $\phi 8$ mm çaplı bilyalardan bir sıra, $\phi 6$ mm çaplı bilyalardan iki sıra ve $\phi 4$ mm çaplı bilyalardan üç sıranın meydana geldiği hesaplanmıştır. Bunun sonucu olarak eşit kütle dolunlarında bilyalı tip santrifüj kavramanın yan yüzeylerine etki eden sürtünme kuvvetleri bilya sıra sayıları ile artmaktadır. Şekil 9, 10 ve 11’de en alttaki eğriler, en az bilya kütlelerinin olduğu dolunlar incelendiğinde bu açıkça görülmektedir. Aynı işletim şartlarında bilya çapı küçüldükçe bilyalı tip santrifüj kavramanın ilettiği momentin arttığı görülmüştür. Bu nedenden dolayı bilya çapı küçüldükçe yan yüzey sürtünmesinin moment iletim kapasitesine olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir. Az bilya dolunlarında matematiksel grafikte deneysel grafiğe göre daha fazla moment iletildiği görülmektedir. Bu fark bilya dolunlarının artmasıyla azalmaktadır. Bu ilk dış sıradaki bilyaların yan yüzey moment iletimine bir etkisinin olmadığı sonucudur. $\phi 4$ mm çaplı bilya dolunları için çizilen matematiksel

model eşitliklerinden elde edilen grafik Şekil 6 ve deneylerden elde edilen grafik Şekil 9'da eğrilerin aynı karakteristikte olduğu görülmektedir. Aynı kütle miktarlarındaki dolumlarda bilya çapı küçüldükçe porozite azalmaktadır. Bilya dolumun ağırlık merkezi Eş. 18'den hesaplanmaktadır. Küçük çaplı bilyaların dolum porozitesi daha küçük olduğundan, dolumun iç yarıçapı (r) daha büyük ve dolayısıyla kütle ağırlık merkezi yarıçapı (R_s) mesafesi daha büyük olmaktadır. Küçük çaplı bilya dolumlarında (R_s)'nin az da olsa artması, bilyalı tip santrifüj kavramanın moment iletim büyüklüğünü çok az artırdığı söylenebilir. Matematiksel model hesaplamalarında kanatlı çarkın kanat kalınlığı ölçüsü hesaba katılmamıştır. Bu (R_s) mesafesini biraz artırarak bir miktar daha fazla moment iletimine neden olmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Goodling E.C., Fighting High Energy Costs with Centrifugal Clutches, *Machine Design*, 46 (23), 119-124, 1974.
2. Schalitz A., *Kupplungs-Atlas*, AGT Verlag Georg Thum, 1968.
3. Proctor J., Selecting Clutches for Mechanical Drives, *Product Engineering*, 32 (25), 43-58, 1961.
4. St. John R.C., Centrifugal Clutch Has Gentle Touch, *Power Transmission Design*, 17 (3), 40-42, 1975.
5. St. John R.C., Centrifugal Clutch Basics, *Power Transmission Design*, 21 (3), 52-55, 1979.
6. Beach K., Try These Formulas for Centrifugal Clutch Design, *Product Engineering*, 33 (14), 56-57, 1962.
7. Town H. C., Clutches for Machine Control, *Power International*, 34 (401), 247-249, 1988.
8. Goodling E.C., Trailing Shoe Type Centrifugal Clutch-Design Principles and Characteristics, *American Society of Mechanical Engineers*, 77 (126), 1977.
9. Dittrich D., Schunmann O., *Anwendungen der Antriebstechnik Band II: Kupplungen, Krauskopf-Taschebücher Antriebstechnik TB/ant.*, 1974.
10. Carne N.B., Howell L.L., Weight B.L., Magleby S.P., Compliant Floating-Opposing-Arm (FOA) Centrifugal Clutch, *Journal of Mechanical Design*, 126 (1), 169-177, 2004.
11. Patel N.R., Dalwadi S., Thakor B., Bamaniya M., Design of Centrifugal Clutch by Alternative Approaches Used in Different Applications, *Ijrest*, 1 (4), 1234-1242, 2013.
12. Türkbay İ., İki Fazlı Aktarıcılı Kavramaların Karakteristiklerinin Matematiksel ve Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
13. Graton L.C., Fraser H.J., Systematic Packing of Spheres: With Particular Relation to Porosity and Permeability, *The Journal of Geology*, 43 (8), 785-903, 1935.
14. Gençer M.G., Owsalou R.G., Karadeniz S., Determination of abrasive wear resistances of Fe-based hardfacing coated wear plates that were used as grinders in cement production in cases where clinker and farin were used as abrasives, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 511-520, 2016.
15. Yetgin S. H., Ünal H., The Investigation of Tribological Performance of Polyamide 6 Polymer and Polyamide 6/Wax Blend Against Themselves *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 457-463, 2016.
16. Gülcan O., Uslan İ., Usta Y., Çoğun C., Effect of Use of Cu-Cr P/M Electrodes on Machining Performance of Electric Discharge Machining, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 381-394, 2015.