

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ FAZLI AKTARICILI KAVRAMALARIN
KARAKTERİSTİKLERİNİN MATEMATİKSEL VE
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

İSMAİL TÜRK BAY

114341

DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

114341

ELAZIĞ

2001

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEKNOLOJİ VE ARAŞTIRMA MERKEZİ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ FAZLI AKTARICILI KAVRAMALARIN
KARAKTERİSTİKLERİNİN MATEMATİKSEL VE DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

İSMAİL TÜRK BAY

DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 16/03/ 2001 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği İle Başarılı Olarak Değerlendirilmiştir.

Danışman	Üye	Üye
Prof. Dr. Nazif DİNÇER	Prof. Dr. Aydın TURGUT	Yrd. Doç. Dr. Orhan ÇAKIR

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../.....
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET
DOKTORA TEZİ

İKİ FAZLI AKTARICILI KAVRAMALARIN KARAKTERİSTİKLERİNİN
MATEMATİKSEL VE DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

İsmail TÜRKBAY

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Eğitimi Anabilim Dalı

2001, Sayfa: 101

Santrifüj kavramalar merkezkaç ve sürtünme kuvvetleri olmak üzere, iki temel kuvvet etkisi altında çalışırlar. Sürtünme kuvveti ve moment, devir sayısı ile orantılı olarak artar. Santrifüj kavramalar motorun işletme devir sayısına gelmesini aşırı bir momente maruz kalmadan sağlar. Santrifüj kavramalar karşı momenti yumuşatır ve aşırı yüklerde bir emniyet kavraması gibi görev yaparlar.

Santrifüj kavramalar devir sayısına bağlı olarak moment üretirler. Moment iletimi esnasında sürtünme parçaları iş görür. Santrifüj kavramalarda sürtünme parçaları ya plaka ve segman biçiminde ya da bilya, metal tozları veya masura şeklinde olmaktadır. Santrifüj kavramaların iletebilecekleri maksimum moment büyüklüğü, kavrama içindeki sürtünme parçalarının kütleleri değiştirilerek ayarlanabilir.

Santrifüj kavramaların en önemli dezavantajlarından biri; kavramanın harekete başlamasında ve herhangi bir nedenle çalıştırdığı makinanın kilitlenmesi durumunda, kavrama devreden çıkmadığından sürtünme parçaları ile tambur iç yüzeyi arasında sürekli bir sürtünme aşınmasının meydana gelmesidir. Bu dezavantaj santrifüj kavrama ve sürtünme parçalarının işletim ömrünü azaltmaktadır.

Yapılan çalışmada elektrik motoru, V kayış kasnakları ve elektrikli dinamometre (bremze) tezgahı kullanılmıştır. Kavrama, dinamometrenin sürgülü reostası ile

yüklenmiştir. Ölçmede takometre, takogeneretör, ploter gibi ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada kavramanın tasarımı yapılarak Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi atelyelerinde imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu santrifüj kavramada sürtünme elemanı olarak piyasadan temin edilen farklı çaplardaki (4, 6 ve 8 mm) bilyalar kullanılmıştır.

Deneylerde kavramanın bilya boşluk faktörü ve devir sayısının moment iletimine etkileri araştırılmıştır. Bilya çapı ve boşluk faktörü değiştirilerek belirli devirlerde kavramanın ilettiği maksimum moment ölçülmüştür. Moment iletiminin, boşluk faktörü ve devir sayısı ile arttığı görülmüştür. Aynı boşluk faktörü için bilya çapı küçüldükçe kavramanın ilettiği momentin arttığı görülmüştür. Farklı çaptaki bilyaların silindir halkası dolumundaki poroziteleri ölçülmüş, aynı boşluk faktörlerinde porozitenin küçülen bilya çapı ile azaldığı bulunmuştur. Kavramanın tambur iç ve yan yüzeylerinin ilettiği momentler teorik olarak hesaplanmış ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçların çok fazla sapmadığı görülmüştür.

Bilyalı kavramada bilyalara, az miktarda dişli yağı da ilave edilerek iki fazlı moment aktarıcısı elde edilmiştir. Dişli yağının ilave edilmesiyle; sürtünme sonucu oluşan sıcaklığın düştüğü ve devreye girme süresinin uzadığı görülmüştür. Ancak bu uygulama ile maksimum moment iletiminin bir miktarda düştüğü görülmüştür.

ABSTRACT

PhD: Thesis

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE
CHARACTERISTICS OF TWO PHASE TRANSMISSION CLUTCHES**

İsmail TÜRKBAY

Firat University

Institute of Science and Technology

Mechanical Education Department

2001,Page:101

Centrifugal clutches run with two principle: either centrifugal forces or frictional forces. Friction force and torque increase in proportion to the rotation speed. In another word centrifugal clutches allow motor to run without subjecting to initial loading and large torques. Centrifugal clutches, additonally, make the counter torque or load smoother and works as a safety clutches in excessive loading conditions.

A centrifugal clutches runs depending on rotation speed. During torque transmission the frictioning parts work. The frictioning parts are in the form of ring, ball, particule or roll. The magnitude of the torque can be adjusted by changing the mass of the frictioning parts.

One of the common disadvantages of the centrifugal clutches is the friction wear between the friction elements and the drum in case of starting made or break down, due to continuous running. This cause a decrease in the life of friction elements, or the whole centrifugal clutche.

In this study, an electric motor, a V belt-pulley mechanism, a ball-centrifugal clutches and a dynamometer were used to perform the experiments. Ball-centrifugal clutches was loaded by breaking the dynamometer, with a slide rheostat and helezonic resistance. The measurement were done with tachogenerator, plotter and tachometer etc.

In the study a new type ball-centrifugal clutch was designed and produced in Technical Education Faculty of Firat University. The balls in different diameters (4,6 and 8 mm) were used as friction element.

In the experiment, the effect of ball-centrifugal clutches emptiness factor, porosity and rotation speed on the torque transfer were determined. For this aim the torque transmitted by the ball-centrifugal clutch was measured by changing emptiness factor and ball diameter for different rotation speeds. The torque transmitted increased with the emptiness factor, the speed and the decrease in ball diameter for the same speed. With constant emptiness factors, porosity was determined to decrease with the smaller ball-diameter. The torque transmitted by the inner and side surfaces of the drum were calculated theoretically and compared with the experimental ones. It was seen that there were not big differences in the results.

As a last experiment gear oil was added to the ball-centrifugal clutches as a second phase load transmitter. Consequently it was determined that frictional wear and temperature decreased considerably and starting period longed. But the torque-transmission capacity decreased slightly.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarında beni teşvik eden, çalışmalarında her zaman yardımını gördüğüm, bu çalışmayı öneren ve yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Nazif DİNÇER'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Deney setinin kurulmasında ve her aşamada tecrübe ve değerli bilgilerinden yararlandığım Otomotiv ABD Başkanı Yrd. Doç. Dr. Cengiz ÖNER'e teşekkür ederim.

Deney setinin kurulmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Fikret ATA'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarda benden yardımlarını esirgemeyen Talaşlı Üretim ve Otomotiv atelyesi Teknisyenlerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
Özet	III
Abstract	V
Teşekkür	VII
İçindekiler	VIII
Şekiller	XI
Resimler	XIII
Tablolar	XIV
Simgeler	XV
 1. GİRİŞ	 1
 2. SANTRİFÜJ KAVRAMALAR	 7
2.1. Santrifüj Kavramaların Tanıtılması	7
2.2. Santrifüj Kavramaların Özellikleri	8
2.3. Santrifüj Kavramaların Kullanılma Nedenleri	9
2.4. Santrifüj Kavrama Seçimi	11
2.5. Santrifüj Kavramalarda Isı	15
 3. SANTRİFÜJ KAVRAMA ÇEŞİTLERİ	 16
3.1. Serbest Pabuçlu Santrifüj Kavrama	16
3.2. Yay Kontrollü Pabuçlu Santrifüj Kavrama	17
3.3. Pabuçları Mafsallı Santrifüj Kavrama	18
3.4. Çelik Bantlı Santrifüj Kavrama	19
3.5. Cıvalı Santrifüj Kavrama	20
3.6. Hidrolik Kontrollü Santrifüj Kavrama	21
3.7. Bilyalı Konik Santrifüj Kavrama	22
3.8. Bilyalı Santrifüj Kavrama	23
3.9. Serbest Bilyalı Santrifüj Kavrama	24
3.10. Tozlu Santrifüj Kavrama	25
3.11. Masuralı Santrifüj Kavrama	26

4. TEORİK İNCELEME	28
4.1. Motor Seçimi İçin Güç Hesabı	28
4.2. Porozite	30
4.3. Bilya Merkezleri Arasındaki Mesafenin Hesaplanması	31
4.4. Dikdörtgen Prizma Dolumunun Porozitesi	33
4.5. İçerisi Bilya İle Doldurulmuş Silindir Halkanın Porozitesinin Araştırılması	37
4.6. Bilyalı Santrifüj Kavramanın İleteceği Momentin Kuramsal Olarak Hesaplanması	42
4.6.1. Bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyinin ilettiği moment	42
4.6.2. Bilyalı santrifüj kavrama yan yüzeylerinin ilettiği moment	45
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
5.1. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması	49
5.1.1. Elektrikli dinamometre	49
5.1.2. Bilyalı santrifüj kavrama	52
5.1.3. V kayış-kasnak mekanizması	53
5.1.4. Elektrik motoru	54
5.1.5. Takogeneratör	55
5.2. Deney Seti Montajı	55
5.3. Ölçümler ve Kontrol Teknikleri	58
5.3.1. Bilyalı santrifüj kavrama giriş ve çıkış devir sayılarının ölçülmesi	58
5.3.2. Bilyalı santrifüj kavramanın bilya ile doldurulması	59
5.3.3. Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinin ölçülmesi	60
5.4. Deneylerin Yapılması	63
5.5. Bilyalı Santrifüj Kavramanın Moment İletim Kapasitesini Etkileyen Faktörler	75
5.5.1. Bilyalı santrifüj kavrama boyutlarının etkisi	75
5.5.1.1. Bilyalı santrifüj kavramanın döndürülen kütlelerinin etkisi	75
5.5.1.2. Bilyalı santrifüj kavrama döndüren kısmının etkisi	77
5.5.1.3. Bilyalı santrifüj kavrama geometrisi faktörü	78
5.5.2. İşletme şartlarının etkisi	78
5.5.2.1. Boşluk faktörünün etkisi	78

5.5.2.2. Devir sayısının etkisi	79
5.5.2.3. Dişli yağının etkisi	79
5.5.2.4. Bilya çapının ve dolumun ağırlık merkezinin etkisi.....	80
5.5.3. İletilen momentin teorik olarak hesaplanması	81
6. SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR	89
EKLER	91
EK 1. Döndüren mil	91
EK 2. Çark	92
EK 3. Kapak	93
EK 4. Tambur	94
EK 5. Flanş	95
EK 6. Döndürülen mil	96
EK 7. Bilyalı santrifüj kavrama	97
EK 8. Ploterde çizdirilen devir sayısı kayma momenti eğrileri	98
EK 9. Ploterde çizdirilen devir sayısı kayma momenti eğrileri	99
EK 10. Ploterde çizdirilen devir sayısı kayma momenti eğrileri	100
EK 11. Ploterde çizdirilen devir sayısı kayma momenti eğrileri	101

ŞEKİLLER İSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Santrifüj kavrama elemanları	7
Şekil 2.2. Santrifüj kavramalı iletim karakteristiği	9
Şekil 2.3. Santrifüj kavramasız iletim karakteristiği	10
Şekil 2.4. Elektrik motoru akım diyagramı.	10
Şekil 2.5. Elektrik motoru moment diyagramı	11
Şekil 3.1. Serbest pabuçlu santrifüj kavrama	16
Şekil 3.2. Yay kontrollü pabuçlu santrifüj kavrama	17
Şekil 3.3. Pabuçları mafsallı santrifüj kavrama	19
Şekil 3.4. Çelik bantlı santrifüj kavrama	20
Şekil 3.5. Cıvalı santrifüj kavrama	20
Şekil 3.6. Hidrolik kontrollü santrifüj kavrama	21
Şekil 3.7. Bilyalı konik santrifüj kavrama	22
Şekil 3.8. Bilyalı santrifüj kavrama	23
Şekil 3.9. Serbest bilyalı santrifüj kavrama	24
Şekil 3.10. Tozlu santrifüj kavrama	25
Şekil 3.11. Masuralı santrifüj kavrama	27
Şekil 4.1. m kütlesine tesir eden kuvvetler	28
Şekil 4.2. İki sıra halinde dizilmiş bilyaların önden ve üstten görünüşleri	32
Şekil 4.3. Küp içindeki bilya	33
Şekil 4.4. Dikdörtgen prizma içindeki tek sıra bilyalar	33
Şekil 4.5. Dikdörtgen prizma içindeki iki sıra bilyalar	34
Şekil 4.6. Dikdörtgen prizma içindeki çok sıralı bilyalar	35
Şekil 4.7. Dikdörtgen prizmada porozitenin bilya sayısı ile değişimi	37
Şekil 4.8. Silindir halkası dolumunda porozitenin boşluk faktörü ile değişimi	38
Şekil 4.9. Silindir halkası dolumunda porozitenin bilya kütlesi ile değişimi	39
Şekil 4.10. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolumlarında porozitenin bilya sayısı ile değişimi	40
Şekil 4.11. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolumlarında porozitenin bilya kütlesi ile değişimi	41
Şekil 4.12. dA elemanına etki eden kuvvetler	42

Şekil 4.13. Kavrama yan yüzeyinde basınç dağılımı ve yanıl moment	45
Şekil 4.14. Sabit devir sayısında boşluk faktörü teorik boyutsuz moment eğrileri	48
Şekil 5.1. Elektrikli dinamometre yükleme bağlantı şeması	50
Şekil 5.2. Elektrikli dinamometre kalibre diyagramı	52
Şekil 5.3. Bilyalı santrifüj kavrama elemanları	53
Şekil 5.4. Deney seti	57
Şekil 5.5. Deney mili ve içi boş kilitli bilyalı santrifüj kavramanın yüksüz devreye girme süreleri	61
Şekil 5.6. Bilyalı santrifüj kavramanın kayma momentinden önce ve sonra ilettiği momentler	66
Şekil 5.7. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı kayma momenti eğrileri	68
Şekil 5.8. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı kayma momenti eğrileri	69
Şekil 5.9. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı kayma momenti eğrileri	70
Şekil 5.10. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı kayma momenti eğrileri	71
Şekil 5.11. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri	72
Şekil 5.12. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri	72
Şekil 5.13. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri	73
Şekil 5.14. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri	73
Şekil 5.15. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri.....	74
Şekil 5.16. Farklı bilya çaplarında devir sayısı kayma momenti eğrileri	74
Şekil 5.17. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	82
Şekil 5.18. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	82
Şekil 5.19. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	83
Şekil 5.20. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	83
Şekil 5.21. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	84
Şekil 5.22. Farklı bilya çaplarında deneysel ve teorik momentler	84
Şekil 5.23. Teorik devir sayısı kayma momenti eğrileri	85
Şekil 5.24. Teorik boşluk faktörü kayma momenti eğrileri	85
Şekil 5.25. Teorik devir sayısı boşluk faktörü eğrileri	86

RESİMLER LİSTESİ**Sayfa**

Resim 5.1. Helisel direnç	50
Resim 5.2. Sürgülü reosta	51
Resim 5.3. Deney seti	56
Resim 5.4. Dijital takometre	58
Resim 5.5. Elektronik terazi	59
Resim 5.6. Ploter	60
Resim 5.7. Bilyalı santrifüj kavrama	75



TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. İşletme faktörü tablosu	12
Tablo 2.2. Santrifüj kavrama seçimi	14
Tablo 4.1. Bilya sayısı porozite verileri	34
Tablo 4.2. Dikdörtgen prizmada porozite bilya sayısı değişim verileri	37
Tablo 4.3. Silindir halkası dolumunda porozite boşluk faktörü değişim verileri ...	38
Tablo 4.4. Silindir halkası dolumunda porozite bilya kütlesi değişim verileri	39
Tablo 4.5. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolumlarında porozite bilya sayısı değişim verileri	40
Tablo 4.6. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolumlarında porozite bilya kütlesi değişim verileri	41
Tablo 5.1. 4 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri	64
Tablo 5.2. 6 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri	64
Tablo 5.3. 8 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri	64
Tablo 5.4. 4 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri	68
Tablo 5.5. 6 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri	69
Tablo 5.6. 8 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri	70
Tablo 5.7. (Karışım) bilyalarda moment devir sayısı verileri	71

SEMBOLLER LİSTESİ

- ω : Açısal hız (rad/san)
 α : Açısal ivme (rad/san²)
 ϕ : Bilyalı santrifüj kavrama geometri faktörü
 ρ : Dolum yoğunluğu (kg/m³)
 μ : Sürtünme katsayısı
 Ψ : Boşluk faktörü
 ρ_b : Bilya yoğunluğu (kg/m³)
 a_n : Normal ivme (m/san²)
 a_t : Teğetsel ivme (m/san²)
 b : Bilyalı santrifüj kavrama genişliği (m)
 d : Bilya çapı (m)
 D : X eksen yönünde, toplam bilya sıra sayısı
 E : Y eksen yönünde, her bir sıradaki toplam bilya sayısı
 F : Z eksen yönünde, toplam bilya sıra sayısı
 F_N : Normal kuvvet (N)
 F_s : Sürtünme kuvveti (N)
 g : Yerçekimi ivmesi (m/san²)
 h : Z eksen yönünde, bilya merkezleri arası mesafesi (m)
 k : X eksen yönünde, bilya merkezleri arası mesafesi (m)
 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_D : Deneysel moment (Nm)
 M_K : Bilyalı santrifüj kavrama momenti (Nm)
 M_T : Teorik moment (Nm)
 n : Devir sayısı (dev/dak)
 P : Güç (W)
 p : Basınç (N/m²)
 P_o : Porozite
 R : Tambur iç yarıçapı (m)

- r: Dolumun iç yarıçapı (m)
R_s: Bilya sektörünün ağırlık merkezinin dönme eksenine mesafesi (m)
u: Çevresel hız (m/san)
V: Dolum hacmi (m³)
V_b: Bilyaların toplam hacmi (m³)
V_g: Gözeneklerin toplam hacmi (m³)



1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda tahrik makinası ile iş makinası birbirine bir kavrama ile bağlanır. Kavramalar devrin en yüksek olduğu yere konur. Kavramalar kaymalı ve kaymasız olmak üzere iki gruba ayrılır. Kaymasız kavramalarda güç iletilirken, motorun devri döndürülen elemana aynen aktarılır. Kaymalı kavramalarda ise kavrama giriş ve çıkış devirleri arasında bir devir farkı vardır. Kavramalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır (Schalitz, 1968).

A. Kaymasız kavramalar.

I. Devreye girmeyen kavramalar.

1. Rijit kavramalar
2. Esnek kavramalar
 - a. Mekanizma hareketli kavramalar
 - b. Elastik kavramalar

II. Devreye giren kavramalar

1. Otomatik kavramalar
 - a. Santrifüj kavramalar
 - b. Emniyet kavramaları
 - c. Tek yönlü kavramalar
2. Dışarıdan kumanda edilerek devreye giren kumandalar
 - a. Şekil bağlantılı kavramalar
 - b. Sürtünmeli kavramalar
 - c. Elektro mekanik kavramalar
 - d. Basınç kumandalı sürtünmeli kavramalar
 - Hidrolik kumandalı sürtünmeli kavramalar
 - Pnömatik kumandalı sürtünmeli kavramalar

B. Kaymalı kavramalar

- I. Hidrolik kavramalar
- II Elektromanyetik alanlı kavramalar

Devreye girmeyen kavramalar: Güç döndüren milden döndürülen mile doğrudan aktarılır. Rijit olan bu kavramalar iki mili tek bir parçadan yapılmış gibi birleştirir. Döndürme momenti şekil kuvvet bağlantısı ile iletilir. Yük ve kuvvet darbeleri ile titreşimler kavramadan aynen geçer. Rijit kavramalar daha çok basit tahriklerde ve iletim millerinin birleştirilmesinde kullanılır. İki milin aynı ekseninde olması gerekir, yoksa miller zorlanır, yataklar kasılır ve bozulur. Zarflı kavrama, flaşlı kavrama en çok kullanılan uygulamalarıdır (Ulukan,1971).

Mekanizma hareketli kavramalar: Mil eksenleri arasındaki açılar veya radyal düzgünsüzlükleri, yataklarda büyük tepki kuvvetleri meydana getirmeden karşılamak üzere kullanılır. Uygulamada kardan kavraması ve oldham kavraması olarak bilinirler.

Elastik kavramalar: Şekil ve tip bakımından büyük çeşitlilik gösterirler. Bu kavramalar madensel yay elemanlı, lastik yay elemanlı olarak iki gruba ayrılır. Momenti düzgün olmayan bir iş makinasının darbe ve titreşimlerini sönmölemek ve geometrik düzgünsüzlükleri karşılamak imkanlarına sahiptir. Uygulamaları helisel yaylı kavrama, elastik manşonlu kavramalardır.

Devreye giren (çözölebilen) kavramalar: En geniş anlamda iki mil sistemini çeşitli çalışma şartlarında istenildiği zaman ayıran ve istenildiği zaman bağlayan veya her iki mil sistemini aynı hıza getiren elemanlardır (Akkurt,1990). En genel isteğe cevap verebilen kavramalar, ancak kuvvet bağı kavramalar olabilir. Özel haller için şekil bağı kavramalar da kullanılır. Kuvvet bağı kavramalarda bağlamayı sağlayan; sürtünme kuvveti, hidrodinamik veya hidrostatik akım devresi veya bir elektriksel alan olabilir (Ulukan, 1971).

Santrifüj kavramalar: Belirli bir devir sayısına kadar yüksüz olarak devreye giren, kayma yapabilen, devir sayısına bağı olarak ilettiği moment artan, sürtünme kuvveti ile moment ileten kavramalardır. Santrifüj kavramalarda moment aktarma elemanı olarak sürtünme parçaları veya dolgu elemanları kullanılır. Yüklerin çok çabuk değişebildiği işletmelerde, donanımı korumak için santrifüj kavramalar kullanılır (John ve Richard, 1975).

Emniyet kavramaları: Fazla zorlamalara maruz veya çok hassas olan işletmelerde, hareket mekanizmalarının hassas kısımlarını darbelerden ve aşırı yüklerden korumak için emniyet kavramaları kullanılır. Emniyet kavramalarının

kullanılması ile momentin ani veya daha uzun süreli yükselmesi sonucunda kayarak, işletmenin korunması amaçlanmıştır. Bütün sürtünmeli kavramalar bu tipe girerler.

Tek yönlü kavramalar: Bu kavramalarda döndüren ve dönen parçalar bir ara parçanın elastik gerilmesiyle, belirli şartlar altında bağlanır. Döndüren milin devri dönen milin devrini geçtiği zaman kavrama devreye girer, bununla birlikte bu oran ters çevrildiği zaman kavrama çözülür, bu nedenle moment sadece bir yönde iletilir. Yuvarlanmalı kavramalarda iç bilezik üzerindeki kam yuvalarındaki bilya veya silindirler kavramanın sadece bir yön içinde moment iletmesine izin verirler. Bisiklet göbeklerindeki kavramalar gibidir. Takozlu kavramalarda iç bilezik ile dış bilezik arasına yerleştirilen takozların kamalanma etkisi vasıtasıyla moment sadece bir yönde iletilir, aksi yönde serbest dönme gerçekleşir (Rusnack ve Tyson, 1982).

Dışarıdan kumanda edilerek devreye giren kavramalar: Kavramanın sürtünme yüzeylerinde istenilen kavrama momentini meydana getirebilmek için gerekli basma kuvveti manivela, elektro manyetik, hidrolik veya pnömatik sistemlerle sağlanabilir.

Şekil bağlantılı kavramalar: Genel olarak ucuzdur, komplike değildir, sağlamdır. Kütle ve boyutlarına göre yüksek moment kapasitelerinden dolayı tercih edilir. Uygulamalarda kare çeneli kavramalar maksimum 60 dev/dak da, özel sertleştirilmiş dişli kavramalar 300 dev/dak da iki kavrama yarısı birleştirilerek moment iletilir. Yük dikkate değer bir şokla uygulanır. Moment iletiminde darbenin hızını kesecek herhangi bir eleman yoktur. Bu kavramalarda kayma yoktur ve ısı üretmezler.

Sürtünmeli kavramalar: Sürtünmeli kavramalar, döndürülen yük kısmının düzgün ivmelenmesini temin etmek için kullanılır. Genellikle sürtünmeli kavramaların verimi, kayma süresinde yapılan işe bağlıdır. Yapılan iş ve sürtünme ile iletilen moment, döndüren ve döndürülen kütlelerin açısal hızına ve kayma süresine bağlıdır. Kayma süreleri ortalama 1-3 san arasındadır (Sharipov ve Kolomiets, 1987). Geleneksel sürtünmeli kavramalar, kavrama çeşitlerinin en kullanışlılarından biridir ve çoğu değişik hallere sokulmuştur. Sürtünen yüzeyleri, yüksek sürtünme katsayılı malzemelerle kaplanır. Kavrama devreye girinceye kadar, kavrama yarıları temas yüzeyleri arasında bir kayma meydana gelir. Kavrama devreye girdikten sonra kayma son bulur ve her iki mil de aynı devirde döner. Eksenel olanları, mile dikey bir düzlemde çalışır.

Kavramanın moment iletim kapasitesi disk sayısı çoğaltılarak artırılabilir. Çok diskli kavramalar aşırı ısınmaya meyillidir, ısıyı tamamen dışarı atmak zordur. Çok diskli kavramalarda aşırı ısınmayı önlemek için yağlı ortamda çalıştırılırlar veya yüksek moment gerektiren uygulamalarda düşük devir sayıları tercih edilir. Radyal tipi (Airflex kavraması), mil ile ortak bir eksen üzerinde çalışır. Sürtünme yüzeyleri silindriktir ve karşı mekanizmaya doğru dairesel temas içinde hareket eder. Bu çeşit kavramalar sıkça makaralar ve volanlar içine doğrudan yerleştirilirler. Konik kavramaların sürtünme yüzeyleri eksen yönünde itilerek devreye girerler, hafif bir aksenal kuvvetle yüksek güç iletimine müsaade ederler; fakat yüzeyleri ayırmada da bir direnç gösterirler (Proctor 1961).

Elektromekanik kavramalar: Bu kavramalar, sadece kavrama parçalarını birleştirmek için kullanılan manyetik kuvvet çeşitlerini içerir. Elektromekanik kavramalar çok çabuk devreye girme özelliğine sahiptir. Sürtünme yoluyla moment aktarırlar.

Basınç kumandalı sürtünmeli kavramalar: Basınçlı hava veya sıvı ile devreye giren kavramalardır. Basınçlı hava ile devreye giren ve çalışan kavramada, şişebilen bir lastik kesesine bağlı sürtünme plakaları vasıtasıyla sürtünme bağı meydana getirilmektedir. Radyal ve aksenal çalışan çeşitleri mevcuttur. Dönüş yönünde büyük bir elastikliğe sahiptir. Darbeleri sönmüleme bakımından etkilidir. Basınçlı hava ile çalışanlara örnek olarak airflex kavraması verilebilir.

Hidrolik kavrama: Kavrama, pompa çarkı, türbin çarkı ve kapaktan ibarettir. Pompa çarkı ile birlikte kapak motora bağlanmıştır, türbin çarkı döndürülen kısımdır. Hidrolik kavramanın içi hidrolik sıvı ile doldurulur. Hidrolik kavrama içindeki yağ miktarı sabit olanlar, ilk hareket ve emniyet kavraması olarak kullanılırlar. Hidrolik kavrama içindeki yağ miktarı çalışma sırasında ayarlanabilenler, devir sayısı ayarlamalarında kullanılırlar (Oktay, 1979). Normal olarak bir hidrolik kavrama dolu yükte çalıştığı zaman döndüren ve döndürülen arasında % 3-5 arasında bir kayma vardır ve ısı üretimi kaymaya bağlıdır. Yüksek atalet yüklerini hareket ettirmede çok sık kullanılır (Shigley, 1963). Burulma titreşimlerinin yağ tarafından absorbe edilmesi önemli bir avantajdır. Aşırı yüklemelerde yağ filmi koparak motoru korur.

Elektromanyetik alanlı kavramalar: İndüksiyon kavraması rotor ve statordan ibarettir. Rotorda bir bobin bulunmaktadır. Rotorun dışında ise belirli sayıda kutup mevcuttur. Statorda ise eş sayıda kutup olup, bunların arası iletken çubuklarla doldurulmuştur. Bileziklerden kutuplara akım verilince magnetik bir alan meydana gelir. Moment, rotor ve stator biri birine nazaran izafi harekete başlayınca, yani belirli bir hızlanmadan sonra kendini gösterir. Stator kutuplarındaki magnetik alanın değişmesi; stator kutuplarıyla rotor kutuplarının biri birine göre çeşitli konumlar almasından ileri gelir. Manyetik bir alan dahilinde dönen iletkenlerde, izafi hızla artan bir akım indüklenir. Bu akım ikinci bir manyetik alan meydana getirir. Bu alan rotoru döndüren bir moment meydana getirir. Kutuplar arasındaki kayma ne kadar büyük olursa, dönme momenti de o kadar daha büyük olur. İndüksiyon kavramalarda ayarlanabilen bir kayma daima mevcuttur. İkaz akımını ayarlamak suretiyle, belirli bir momentin aşılması önlenabilir. Bu kavramalar emniyet kavraması görevini de görür. İndüksiyon kavramalarında sürtünme olmadığı için pratik olarak aşınma da yoktur (Ulukan, 1971).

Devreye giren (çözülebilen) kavramalar devreye girme veya kumanda metoduna göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Shigley ve Mischke, 1986).

1. Mekanik 2. Pnömatik 3. Hidrolik 4. Elektrikli 5. Otomatik

Kumanda mekanizması, dış mekanizma ve iç mekanizma olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Kavramanın dış devreye sokma sistemi yani dış mekanizması; el, ayak, manivela, hidrolik ve pnömatik olabilir. Kavramanın sürtünme yüzeylerinde istenen kavrama momentini meydana getirmek için, gerekli basma kuvveti iç mekanizmalarla sağlanır.

Mekanik kontrol: Genel olarak özel yağlama ve bakım gerektirir. Kontrol mekanizması onun çalıştırdığı kavramadan daha çok yer tutar. Örnek lamelli kavramalar.

Pnömatik kontrol: Birçok hava kumandalı kavrama basit olarak, bir mekanik bağlantı sistemi içinde pnömatik pistonlar vasıtasıyla kontrol edilir. Devreye girme kuvvetini elde etmede, gerekli basıncı sağlamak için bez veya şişirilebilen tüp kullanılır ve devreye girme sürtünme kuvvet bağı ile gerçekleştirilir. Radyal ve eksenel çeşitlerinin her ikisi de kullanışlıdır. Burulma titreşimlerini sönümler ve küçük eksenel

kaçıklıkları dengeler ve bir elastik kavrama gibi şokları sönümler. Bu kavramalarda, hava basıncı bir valfle boşaltılarak kavrama devreden çıkarılır (Airflex kavraması).

Hidrolik kumanda: Pnömatik kumandalı kavramalarla aynı ilkeye göre çalışmaktadır fakat hava yerine basınçlı yağ kullanılmaktadır. Yağ basıncını meydana getirmek üzere dişli yağ pompası kullanılır.

Elektrikli kumanda: Bazı kavramalarda elektriksiz kontrol tercih edilir ve mıknatıs bir kayma mekanizması işletimi olmadan hizmet verir. Bu kavramalar bilhassa çok çabuk devreye girme özelliğine sahiptir. Elektrik kuvvetiyle devreye girer, yayla çözülürler.

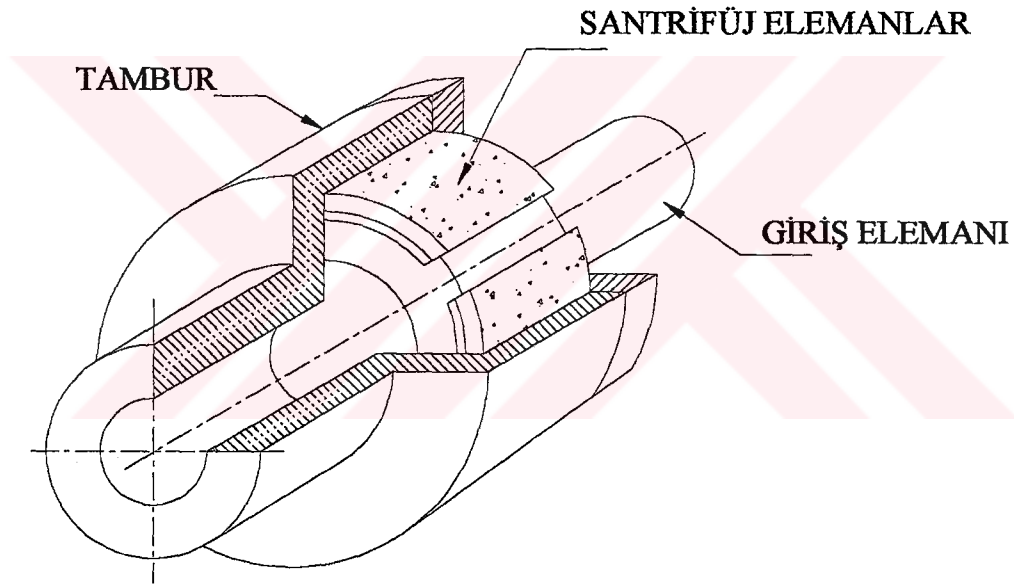
Otomatik kontrol: Dış kontrole doğrudan cevap vermek yerine, önceden tayin edilen reflekslere tepki gösterirler, devreye girer veya devreden çıkarlar.



2. SANTRİFÜJ KAVRAMALAR

2.1. Santrifüj Kavramaların Tanıtılması

Santrifüj kavramalar karşı momentin büyüklüğüne göre, belirli bir devir sayısında kendiliğinden devreye giren ve sürtünme ile moment ileten kavramalardır. Tüm santrifüj kavramalar temel olarak üç elemandan ibarettir (Şekil 2.1). 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 ile hareket ettirilir. Çıkış mili doğrudan yüke veya bir kayış kasnak mekanizmasına bağlıdır.



Şekil 2.1. Santrifüj kavrama elemanları (Shigley ve Mischke, 1986).

Santrifüj kavramaların en yaygın olanı pabuçlu kavramadır. Bunlar yuvalar içine yerleştirilen pabuçları ihtiva ederler. Pabuçlar üzerindeki sürtünme balataları merkezkaç kuvvet etkisi ile tambur veya dış parçaya karşı dayanır. İşletme devrine gelindiğinde tambur ile pabuç arasındaki kayma durur ve kavrama rijit hale geçer. Muhtelif devirlerde iletilen moment her bir pabuç kütlesine, pabuç sayısına, tambur çapına ve pabuçlara bağlı geri çekme yay sistemlerine bağlıdır.

2.2. Santrifüj Kavramaların Özellikleri

Santrifüj kavramalar ilk olarak endüstriye girip kullanıldığı zaman “starterler” olarak adlandırıldı. Starterler; elektrik motoru ile çalıştırılan makinaları hareket ettirmede atalet kuvvetlerinin momentlerini yenmek için kullanıldı. Santrifüj kavrama etkisini normal zaman içinde geciktirerek, yük yüklenmeden önce motorun devir sayısını kazanmasına müsaade etmektedir; böylece harekete başlama esnasında gerekli yüksek akım da azaltılmış olur. Motor gücü, harekete başlama yükünden ziyade işletme yükü için hesap edilir. Santrifüj kavramaların tipik uygulamaları fanlar, santrifüj makinaları, kompresörler, deliciler ve volanlı preslerdir.

Santrifüj kavrama tekstil makinaları, bükme ve eğrime makinaları ve seramik veya fırın konveyörleri gibi hassas yükler için yumuşak harekete başlangıç sağlarlar. Çakıl ve kum konveyörlerinde, sabit olan işletim devrine ulaşınca kadar ağır yüklerin ataletinden dolayı, konveyör bantlarının yırtılmadan hızlanmasına imkan verir.

Devreye girmesi merkezkaç kuvvete bağlı olduğundan, kavrama nominal momentinden daha fazlasını iletemez. Eğer döndürülen makina çalışmaz veya işlemez hale gelirse kavrama kaymaya başlar, böylece makina veya işletme birimlerinin zarara uğraması önlenir. Motorun otomatik olarak durması, motor akım devresi içine termik kesicilerin bağlanması veya santrifüj kavrama tamburuna bir termik devre kesici tesisatı eklenerek sağlanabilir. Tipik uygulamalar kırma makinası, ufalayıcı değirmen, çekiçli kırıcı, konveyör ve karıştırıcıları içerir.

Bir santrifüj kavramanın karakteristiği avantaj ve dezavantajlarının bileşimidir. Devir sayısı yükseldiği zaman devreye girer, düştüğü zaman devreden çıkarlar. Santrifüj kavrama pabuçlarının çeşitli yükler ve devir sayıları için ayar edilebilme imkanları sınırlıdır. Santrifüj kavramaların her biri tek başına özel moment ve gerekli nominal devri içindir.

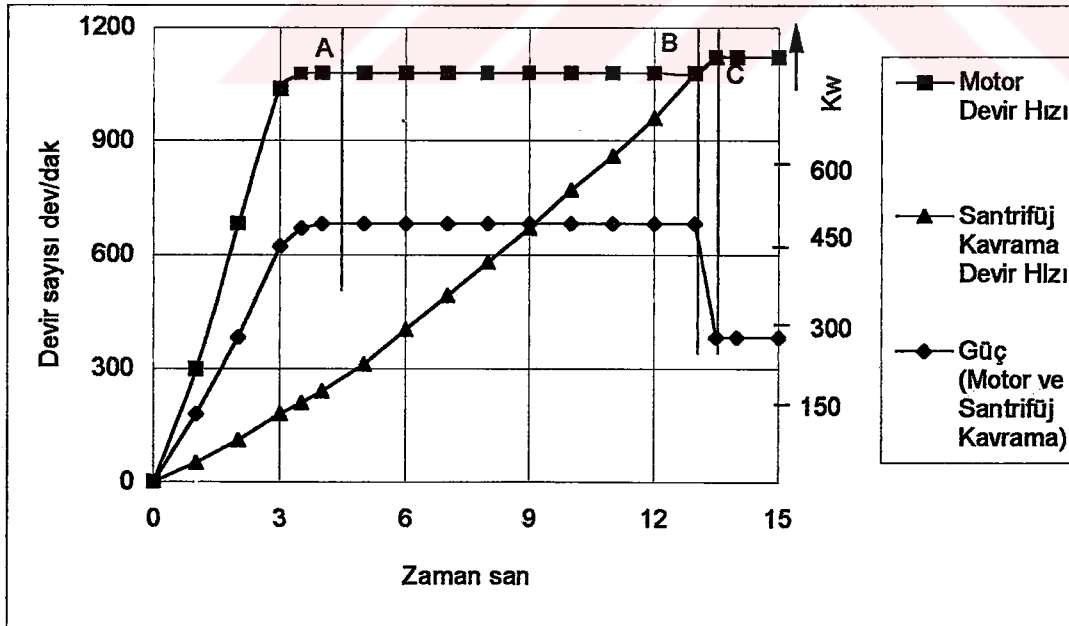
Santrifüj kavramalar, çeşitli devirlerdeki işletmelerde randımanlı olarak çalıştırılmaz. Bunların çıkış gücü devir sayısının küpü ile değişir. Santrifüj kavramalar düşük devir sayısı uygulamaları için nadiren tatbik edilir. Düşük devir sayılarında, yeterli merkezkaç kuvvetin kazanılabilmesi için büyük çaplar gerekir ve fiyat çap ile çabucak yükselmektedir.

2.3. Santrifüj Kavramaların Kullanılma Nedenleri

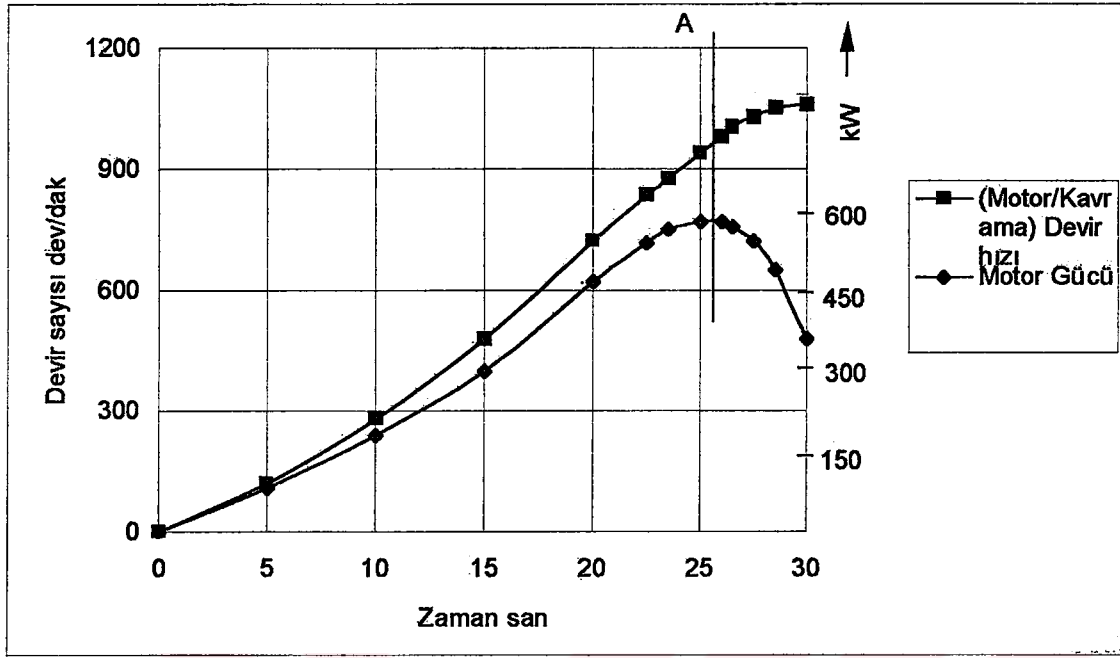
Santrifüj kavramalı işletiminin, rijit kavramalı düz işleme göre temel avantajları: Düzgün harekete başlama, azaltılmış motor boyutları ve azaltılmış güç ihtiyaçlarıdır. Azaltılan harekete başlama zamanı; aynı motor tarafından işletilen santrifüj kavramalı ve kavramasız (motor doğrudan yüke bağlı) bağlantıları karşılaştıran iletim karakteristiği diyagramları Şekil 2.2. ve Şekil 2.3. de görülmektedir.

Düz işleme göre; santrifüj kavramalı bağlamada devreye girme süresi yarı zaman içinde biter; gerçekten santrifüj kavramasız harekete geçme zamanı uzundur, bu nedenle kavrama işletme hızına erişmeden önce termik kesiciler harekete geçebilirler.

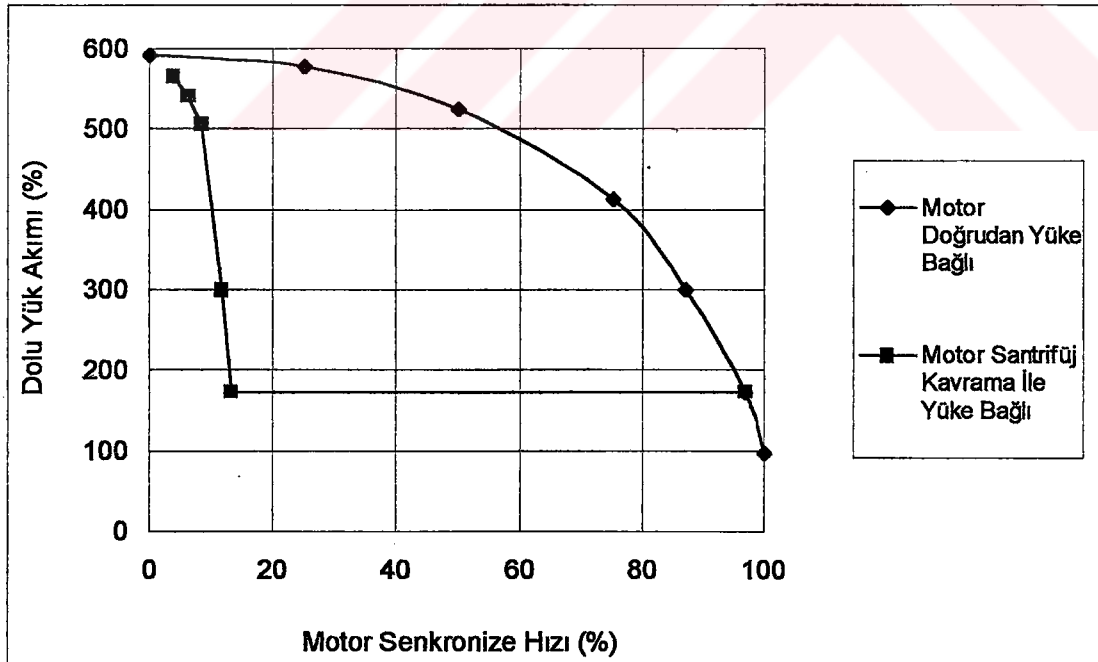
Çekilen gücün etkisi Şekil 2.4. elektrik motoru akım diyagramlarında görülmektedir. Bir santrifüj kavrama ile çekilen akım, büyük ölçüde çabucak düşer, arta kalan az miktardaki akım düşüşü; santrifüj kavrama devir sayısı, motor devir sayısı seviyesine gelinceye kadar devam eder. Bir santrifüj kavramasız bağlantıda akımın, makul kabul edilebilecek seviyeye düşmesi daha uzun süre alır.



Şekil 2.2. Santrifüj kavramalı iletim karakteristiği (Goodling, 1974)

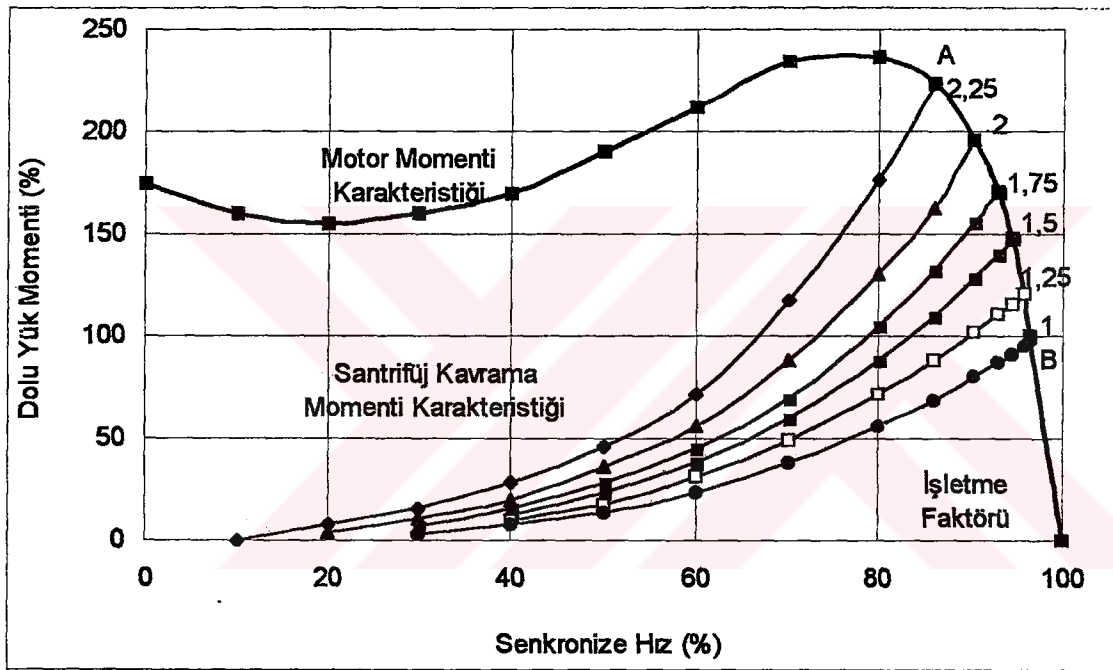


Şekil 2.3. Santrifüj kavramasız iletim karakteristiği. (Goodling, 1974)



Şekil 2.4. Elektrik motoru akım diyagramı (Goodling, 1974).

Santrifüj kavramalı bir elektrik motoru sistem karakteristiği, hareketin başlangıcında motor kendini hızlandırmada (yükü değil) momentinin hemen hemen tümünü kullanır. Sadece yüksek devirde (ve düşük akımlar) motor yükü hızlandırır. Santrifüj kavrama ile motor çabucak A noktasına hızlanır Şekil 2.5, bu noktada motor moment eğrisi ile kavrama moment eğrisi kesişir. Motor ve santrifüj kavrama A noktasında çalıştığında, yük devri, motor devrine erişinceye kadar santrifüj kavrama kayar. Kayma durduğu zaman; motor, santrifüj kavrama ve yük işletme yükü yerini tutan B noktasına birlikte hızlanır.



Şekil 2.5. Elektrik motoru moment diyagramı (Goodling, 1974).

2.4. Santrifüj Kavrama Seçimi

Santrifüj kavrama seçiminin temelini teşkil eden faktör, santrifüj kavrama çıkış gücünün işletme devrinin küpüyle orantılı olmasıdır. Merkezkaç kuvvet motor devir sayısının karesiyle orantılıdır; moment merkezkaç kuvvetle doğrudan orantılıdır, böylece o da devrinin karesi ile değişir. Güç ise devrin küpü ile değişir. Bu yüzden santrifüj kavrama döndürenin en hızlı parçasına yerleştirilir, genel olarak doğrudan motora bağlanır.

Tablo 2.1. İşletme faktörü tablosu (Goodling, 1974)

İşletme Çeşidi	Çeşitli Uygulamalar	İşletme Faktörü
Hafif yavaş harekete başlama donanımı ile, nominal yükün düşük yüzdesi ile sınırlanan aşırı yük.	İpek çilesi sarıcısı, bükme ve eğirme makinası, hafif tekstil donanımı, şişeleme makinası, ağır yük asansörü, porselen ve seramik konveyörleri, çok hafif makinalar.	1,00 - 1,25
Genel endüstriyel donanım, oldukça sert harekete başlama, yarı sert atalet yükleri ile sınırlandırılmış orta yükler.	Konveyörler, fanlar, santrifüj makinaları, kompresörler, makaslar, zimbalar, fanlar, üfleyiciler, bilyalı değirmenler, frenleme tamburları, sarsaklar, kimyasal donanımlar, kömür kırıcıları.	1,25 - 1,75
Güç harekete başlamada ağır donanım ile ara sıra meydana gelen yüksek azami zorlama.	Vida açma makinaları, kömür ayırıcıları, çekiçli değirmenler, pülverizatörler, ağır tekstil donanımları, hadde makinaları, harmanlayıcılar, ağır fanlar, kurutma fırınları, eziciler.	1,75 - 2,25
Tamamen güç harekete başlama, savrulma yükleri ile ara sıra meydana gelen yüksek azami zorlama.	Hamur karıştırıcıları, vakum kazanları, yüksek viskoziteli malzemeler, taşıma pompaları.	2,00 - 2,75

Seçme işleminde birinci adım olarak; ihtiyaç duyulan temel verilerin tümü gösterilmelidir. Özel bir uygulama için bağlamanın özellikleri belirlenmelidir. Gerekli veriler motorun devrinin gücünü içerir (içten yanmalı motorlar için rölanti hızı), ayrıca döndürülen makinanın çeşidi, ataleti ve devir sayısı bilinmelidir.

İşletme faktörü tablosundaki (Tablo 2.1) uygulamalar için işletme faktörünün 1,00 seçilmesi halinde; yavaş harekete başlamada, büyük miktarda ısı üretimi ve sürtünme yüzeyinde yüksek aşınma ile sonuçlanacağından, düşüktür. İşletme faktörü 2,25 seçildiğinde; hızlı harekete başlamada, döndürülen yüke zarar vermesi ihtimali olduğundan yüksektir.

Seçilen bir işletme faktörü, normal harekete başlama için kayma zamanı ile kontrol edilebilir. Birçok uygulamalar için kayma zamanı 10 ve 20 saniye arasında düzenlenmektedir. Eğer hesaplanan kayma zamanı 15 saniye ve makinanın hızlanması için 30 saniye gerekiyorsa, bu bir erken uyarıdır.

Kayma zamanı, nominal santrifüj kavrama gücüne ve döndürülen makinanın ataletine bağlıdır. Genel olarak döndürülen makinanın kütsel atalet momenti üreticilerden alınabilir.

Sonraki adım, güç ihtiyaçları ve devamlı olarak başarılı uygulamalara temel olacak santrifüj kavrama çeşidini seçmektir. Santrifüj kavramaların çoğu, çeşitli uygulamalar için de iyi çalışır, tüm mili-mile bağlamalarda veya V kayış işletmelerinde ve makaralarda uygulanabilir. Santrifüj kavramaların başlıca çeşitleri, bir çok ortak uygulamaları ve genel güçleri Tablo 2.2’de listelenmiştir.

Santrifüj kavramalar için üretici katalogları kontrol edildiğinde, istenilen güç ihtiyaçlarında çalışabilecek iki veya üç kavrama çapı genellikle açıklanmıştır. Genel olarak daha küçük çaplı santrifüj kavrama daha düşük fiyatlıdır, fakat bir karar verilmeden önce işletme devri ve sıcaklık yükselmesi nazara alınmalıdır.

Küçük çaplı santrifüj kavramalar çok yüksek işletme hızları için genellikle seçilebilir. Bu sebeple, büyük çaplar yüksek devir sayılarında santrifüj kavramayı dinamik dengesizliklere karşı çok hassas yapar. Bu faktör 1750 dev/dak ve civarı devir sayılarında tesirlidir. Alt devir sayılarında muhtemelen ısı da çok önemlidir.

Tablo 2.2. Santrifüj kavrama seçimi (Goodling, 1974)

Özel Uygulamalar	Güç Aralığı kW	Tercih edilen santrifüj kavrama çeşidi
Genel makinacılık, elektrik motoru işletimlerinde.	7 - 1500	Çelik bantlı
Genel makinacılık, elektrik motoru işletimlerinde, içten yanmalı motorlar için geciktirilmiş devreye girme karakteristiği.	1 - 1500	Pabuçları mafsallı
Genel makinacılık, elektrik motoru işletimlerinde, içten yanmalı motorlar için geciktirilmiş devreye girme karakteristiği.	0,4 - 3000	Yay kontrollü pabuçlu
Orta hafif makina uygulamalarında, elektrik ve içten yanmalı motor işletimlerinde.	55 Sürtünmeli	Cıvalı
Genel makinacılık, elektrik motoru işletimlerinde, yük ivmelendirilmesini kontrol eden ayarlanabilir devreye girme işletimlerinde.	1 - 270	Hidrolik kontrollü
Genel makinacılık, elektrik motor işletimlerinde, ayarlanabilir nominal güç işletimlerinde.	1300 - 6650	Bilyalı konik
Genel makinacılık, elektrik motor işletimlerinde, özel teçhizatlı devre kesicili termik motorlar.	0,2 - 300	Serbest bilyalı

2.5. Santrifüj Kavramalarda Isı

Tambur sıcaklığı yükselmesi, yavaş harekete başlama ve yüksek atalet yükleri için çok kritiktir. Santrifüj kavrama harekete başlama esnasında daha az verimle çalıştığında sıcaklık yükselir. Yani döndürülen makinenin milinde bulunandan daha çok güç, motor tarafından kavramaya verilmektedir (güç; moment ve mil devir sayısı ile doğrudan orantılıdır). Kaybolan güç, santrifüj kavrama tamburunun sıcaklığını yükselten ısı olarak söz konusu kayma kayıplarıdır. Döndürülen makina işletme devir sayısına geldiği zaman kayma sona erer. Bu durumda santrifüj kavrama %100 randımanla çalışır ve ısı şeklinde güç kaybı olmaz.

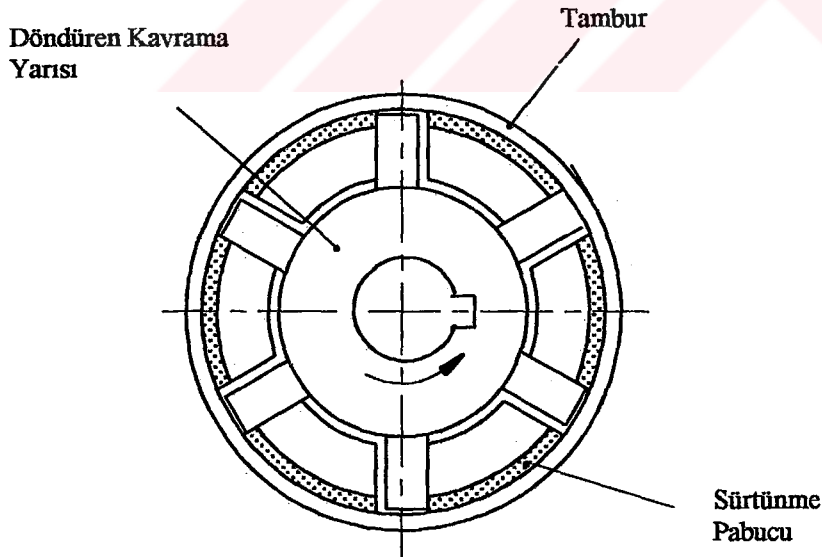
Sıcaklık ortalama uygulamalar için en fazla 120 - 150 °C'ye kadar yükselir. Bununla birlikte nadiren 260 °C'ye kadar sıcaklık yükselmelerine de izin verilebilir (Goodling, 1974).

3. SANTRİFÜJ KAVRAMA ÇEŞİTLERİ

Santrifüj kavramalar; döndüren milinden aldıkları etki ile devir sayısına bağlı olarak devreye giren kavramalardır. Devir sayısına bağlı çalışan santrifüj kavramalarda, aktarma elemanı olarak sürtünme parçaları görev yapar. Bu parçalar santrifüj kuvvete bağımlı olup, santrifüj kavramanın dönen ve döndürülen kısımlarında sürtünme kuvveti bağı oluştururlar. Bu bakımdan santrifüj kavramalar, momenti döndüren kısımdan döndürülen kısma aktarabilmektedir. Santrifüj kavramaların sürtünen parçaları şekillerine göre, santrifüj parçalı ve dolgu malzemeli olmak üzere iki gruba ayrılır.

Santrifüj parçalı kavramaların sürtünme parçaları plaka veya segman biçimindedir. Dolgu malzemeli kavramaların sürtünme parçaları metal tozu, bilya veya masura biçimindedir.

3.1 Serbest Pabuçlu Santrifüj Kavrama

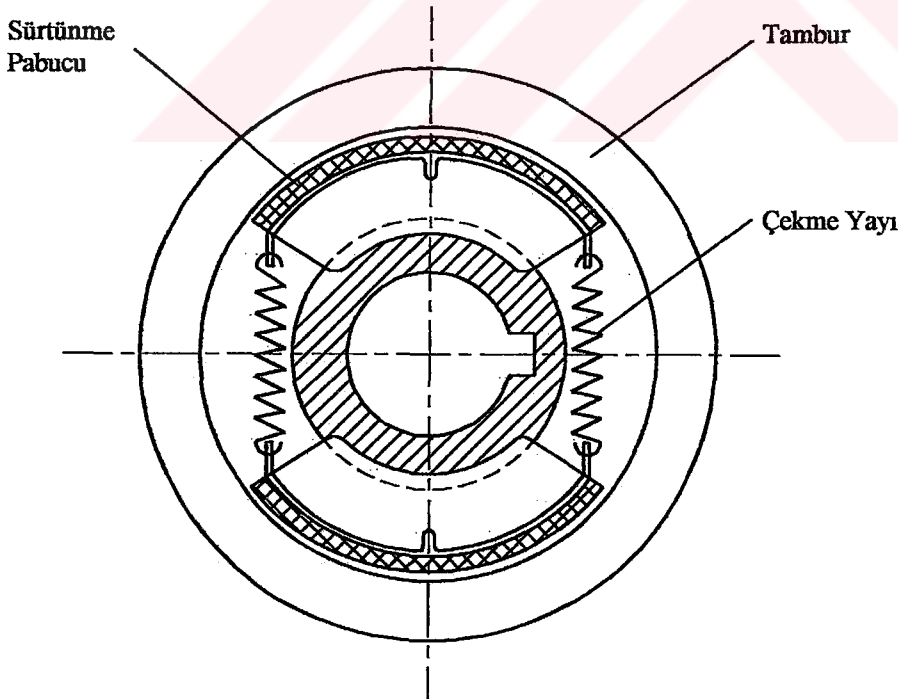


Şekil 3.1. Serbest pabuçlu santrifüj kavrama

Serbest pabuçlu santrifüj kavrama (Şekil 3.1), motorun çalıştırılmasıyla giriş elemanı ve dolayısıyla pabuçlar da dönmeye başlar. Döndüren kısım hızlandığında, kanatlı çark yuvaları içindeki pabuçlar merkezkaç kuvvet tesiriyle tambura doğru savrulurlar. Pabuçlar üzerindeki sürtünme malzemesi kaplaması ve tambur arasındaki kayma, santrifüj kavrama çıkış momenti döndüren kısmın momentine eşit oluncaya kadar devam edecektir. Tam yük hızında, pabuç tambura kilitlenir ve kayma sona erer. Verilen bir motor devir sayısı için bir serbest pabuçlu santrifüj kavramanın nominal gücü tambur iç yüzeyi ve pabuç kaplaması arasındaki sürtünme katsayısı, pabuç kütlesi ve pabuç kütlesinin ağırlık merkezinin, santrifüj kavrama dönme eksenine uzaklığının bir fonksiyonudur (Goodling, 1977).

Serbest pabuçlu santrifüj kavrama her iki yönde de moment iletebilir. Pabuçların değiştirilmesi kolaydır ve pabuçlarının sayısının değiştirilmesi veya farklı kütledeki pabuçların kullanılmasıyla moment kapasitesi değiştirilebilir (Goodling, 1974).

3.2. Yay Kontrollü Pabuçlu Santrifüj Kavrama



Şekil 3.2. Yay kontrollü pabuçlu santrifüj kavrama (Dittrich, Schunman, 1974)

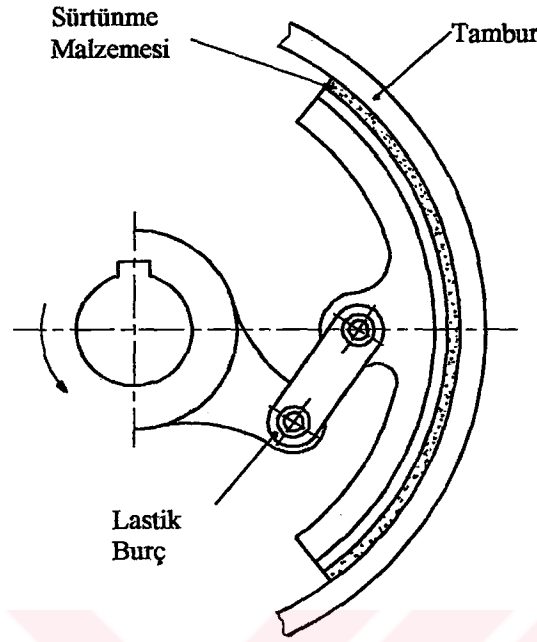
Pabuçların dışa doğru hareketi helisel çekme yayları tarafından kontrol edilir, böylece önceden belirlenen bir devir sayısında devreye girme gerçekleşir. Yay kontrollü pabuçlu santrifüj kavramanın çalışma prensibi Şekil 3.2’de görülmektedir. Pabuçlar döndüren mil üzerindeki kavrama yarısına bağlanmıştır. Pabuçların dış yüzeyi sürtünme malzemesi ile kaplanmıştır. Döndüren mil dönmeye başladığında, pabuçlar merkezkaç kuvvetten dolayı dışa doğru hareket ederler ve döndürülen mile bağlı olan tambur iç yüzeyine karşı bastırırlar. Moment, pabuç dış yüzeyine kaplanmış sürtünme malzemesi vasıtasıyla tambur iç yüzeyine ve döndüren mile iletilir. Pabuçların dışa doğru hareketi, bir veya daha çok çekme yayı vasıtasıyla kontrol edilir. Döndürülen makinanın tahrik edilmeden önce ısınması gereken içten yanmalı motorların uygulamalarında, yay kontrollü pabuçlu santrifüj kavramalar kullanılır. Yay kontrollü pabuçlu santrifüj kavramanın devreye girme devir sayısı, motor rölanti hızından daha yüksek hızda olacaktır (Sharma ve Aggarwal, 1976).

Elektrik motorlarını önceden belirlenen bir devir sayısına yüksüz olarak ivmelendirmede, sürtünme pabuçlarının geri çekilmesini sağlamada çok tabakalı yaprak yayların kullanıldığı santrifüj kavramalar da kullanılmaktadır (Town, 1988). İletilen momentin kapasitesini artırmak için yay kontrollü ve kam itici tertibatlı santrifüj kavramalar da kullanılmaktadır (Beach, 1962).

3.3. Pabuçları Mafsallı Santrifüj Kavrama

Pabuçları mafsallı santrifüj kavrama (Şekil 3.3); döndüren kavrama yarısı, lastik burç, çelik bağlantı, döndüren kavrama yarısına bağlanan pabuçlar ve tamburdan ibarettir. Çelik muhafazalı lastik burç mümkün olduğunca şokları ve gürültüyü azaltmak, esnekliği temin etmek için mafsalların her ikisine de yerleştirilir. Pabuçlar tambura tesir ettiği zaman, pabuç ve tambur arasındaki sürtünme kuvveti iletilen momenti çabucak yükseltir. Burcun yay etkisi paralellik, açısallık ve eksenel paralellik bozukluğunu denkleştirmeye yardım eder. Belirli işletim şartları altında $1,5^\circ$ açısallık paralellik bozukluğuna tam güçlerde müsaade edebilir (Goodling, 1974).

Düşük devir sayılarında pabuçların tambur iç yüzeyine sürtünmemesi ve santrifüj kavramanın kaymaya başlamadan önce döndüren kavrama yarısının belirli bir

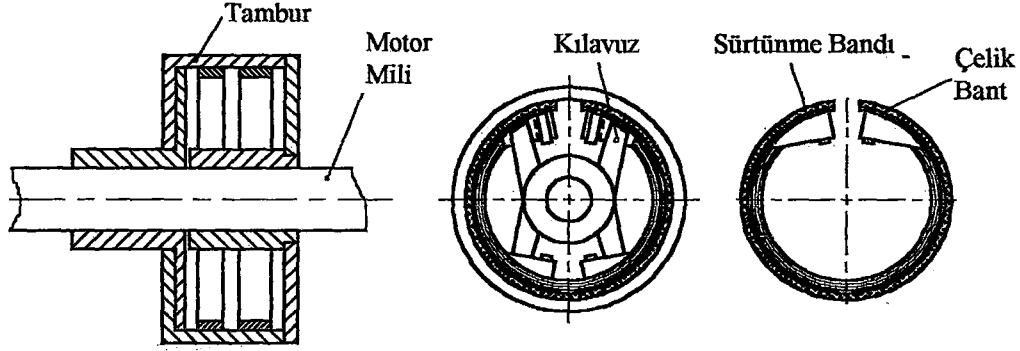


Şekil 3.3. Pabuçları mafsallı santrifüj kavrama (Spotts, 1964)

devir sayısına kadar ivmelenmesi için pabuçları yaylı tasarlanan çeşitleri vardır. Pabuçlar bir yöndeki işletimlerde yöneltici pabuç ve diğer yöndeki işletimlerde sürüklenme pabucu olarak görev yaparlar (Proctor, 1961). Ayrıca pabuçları göbeğe bağlayan çelik bağlantının kullanılmadığı, yani pabuçların doğrudan döndüren eleman üzerindeki bir burca bağlanan, pabuçları mafsallı santrifüj kavrama konstrüksiyonları da mevcuttur.

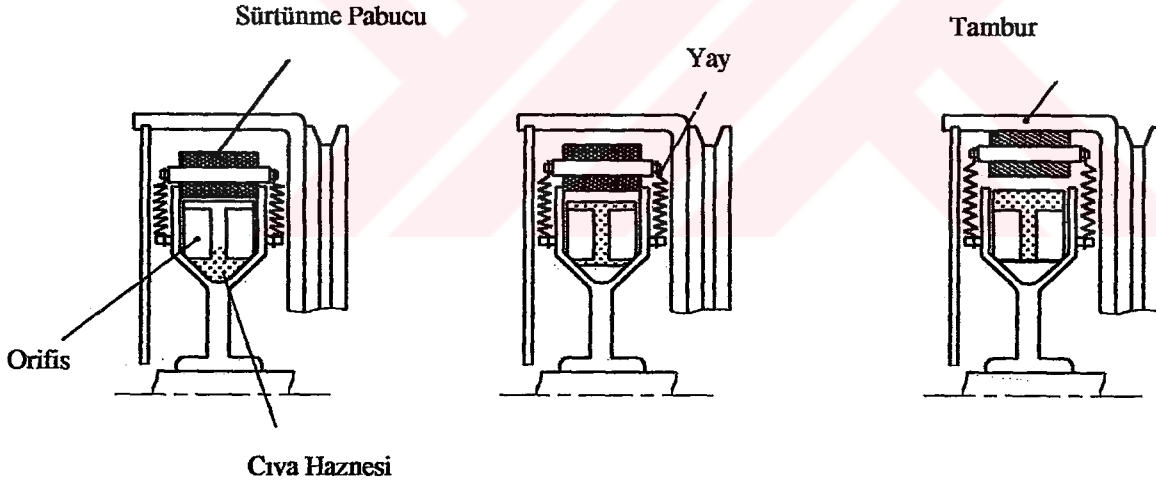
3.4. Çelik Bantlı Santrifüj Kavrama

Çelik bantlı santrifüj kavrama (Şekil 3.4); tambur, döndüren kavrama yarısına bağlı kılavuz ve çelik bantlardan ibarettir. Bant tertibatı bir çelik bant üzerine haddelenmiş bir sürtünme malzemesinden yapılmıştır ve esnek çelik yaprakların sayısı kavramanın nominal tasarımında ayarlanır. Döndüren kavrama yarısı üzerine bağlı kılavuzlar, çelik bant uçlarındaki çıkıntılara uyguladığı teğetsel kuvvetin sonucu dönen çelik bant kütlesi, merkezkaç kuvvetle tambura doğru itilerek moment iletilir (Goodling, 1977).



Şekil 3.4. Çelik bantlı santrifüj kavrama (Goodling, 1974)

3.5. Cıvalı Santrifüj Kavrama



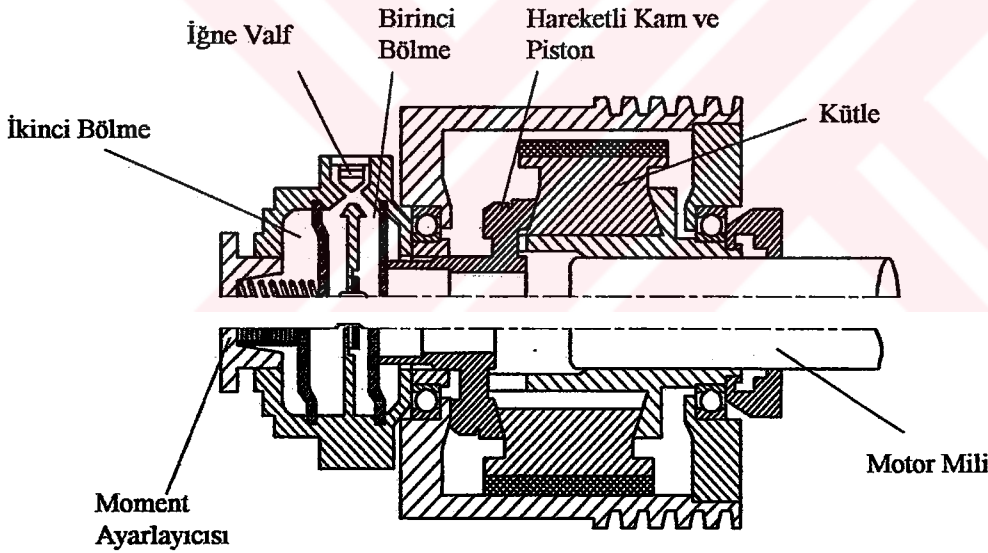
Şekil 3.5. Cıvalı santrifüj kavrama (Goodling, 1974)

Bir cıvalı santrifüj kavramada (Şekil 3.5) döndüren kavrama yarıısı dönmeye başladığında cıva haznesi üzerindeki radyal delikler vasıtası ile cıva dışarı doğru akar. Cıva, çekme yayları ile döndüren kavrama yarisına bağılı sürtünme pabuçlarını tambur iç yüzeyine doğru iter ve sürtünme ile moment iletilir. Dönme durduğu zaman çekme

yayları pabuçları geri çeker, sıkışan cıva hazneye geri döner. Çekme yayı katsayısı, orifis boyutu ve radyal deliğin uygun kombinasyonu ile cıvalı santrifüj kavramanın devreye girme süresi kontrol edilir (Goodling, 1974).

Cıvalı santrifüj kavrama orifisindeki cıva dozajıyla, devreye girme süresi geciktirilir. Pabuç sistemi kütesinin çoğu cıvadır. Cıva, cıvalı santrifüj kavrama devreye girmeden önce, elektrik motoruna senkron hızına erişmesi için izin verir. Cıva sistemi kaldırıldığında, cıvalı santrifüj kavrama bir geleneksel ön gerilmeli santrifüj kavramaya benzer. Yay sistem kaldırıldığında, cıvalı santrifüj kavrama daha basit bir ön gerilmesiz santrifüj kavrama olur (John ve Richard, 1979).

3.6. Hidrolik Kontrollü Santrifüj Kavrama

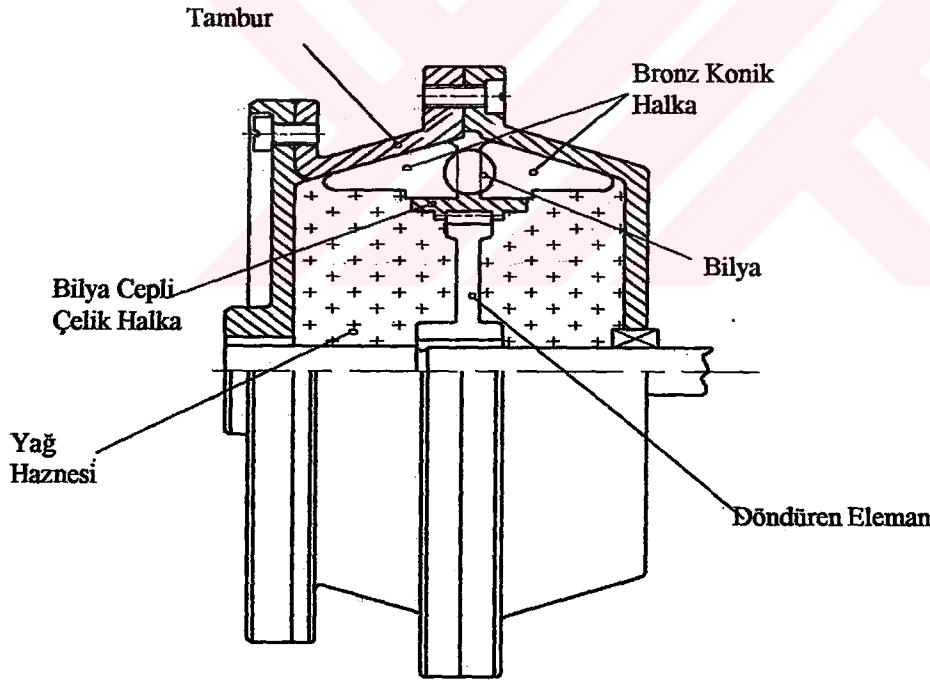


Şekil 3.6. Hidrolik kontrollü santrifüj kavrama (Goodling, 1974)

Şekil 3.6 hidrolik bir tertibat yardımıyla devreye girme süresi ayarlanabilen, hidrolik kontrollü santrifüj kavrama konstrüksiyonu görülmektedir. Döndüren mil ve göbek bir kama ile birleştirilmiştir. Göbek üzerinde iki adet pabuç vardır ve sürtünme malzemesi ile kaplanmıştır. İşletim sona erdiğinde pabuçları ilk konumuna getirmek için pabuçlar iki ucundan çekme yayları ile biri birine bağlanmıştır. Bu pabuçlar, sağ

tarafı sabit ve sol tarafa aksel yönde hareket edebilen kamlar arasındadır. Pabuçlar merkezkaç kuvvet ile radyal yönde hareket ettiğinde, kamı aksel yönde iterler. Kam pistonu, diyaframı ittiğinde, birinci bölme içindeki yağ kanaldan geçerek ikinci bölmeyi doldurur. Yağın geçiş debisi kanaldaki iğneli supap ile ayarlanır. Hidrolik kontrollü santrifüj kavramanın devreye girebilmesi için, birinci bölmedeki belirli miktarda yağın ikinci bölmeye girmesi gerekir. Yağ akış oranı, sürtünme pabuçları ile tamburun birleşmesi için gerekli zamanı ayarlar. Moment iletimi sona erdiğinde, çekme yayları pabuçları geri çeker. İkinci bölmedeki diyaframı geriye iten bir basma yayı, ikinci bölmedeki yağı birinci bölmeye gönderir, hareketli kam ve pistonu ilk konumuna geri döndürür. Hidrolik kontrollü santrifüj kavramanın devreye girme süresi iğneli supapla ayarlanır ve ileteceği moment vidalı moment ayarlayıcısıyla belirlenir (Goodling 1974).

3.7. Bilyalı Konik Santrifüj Kavrama



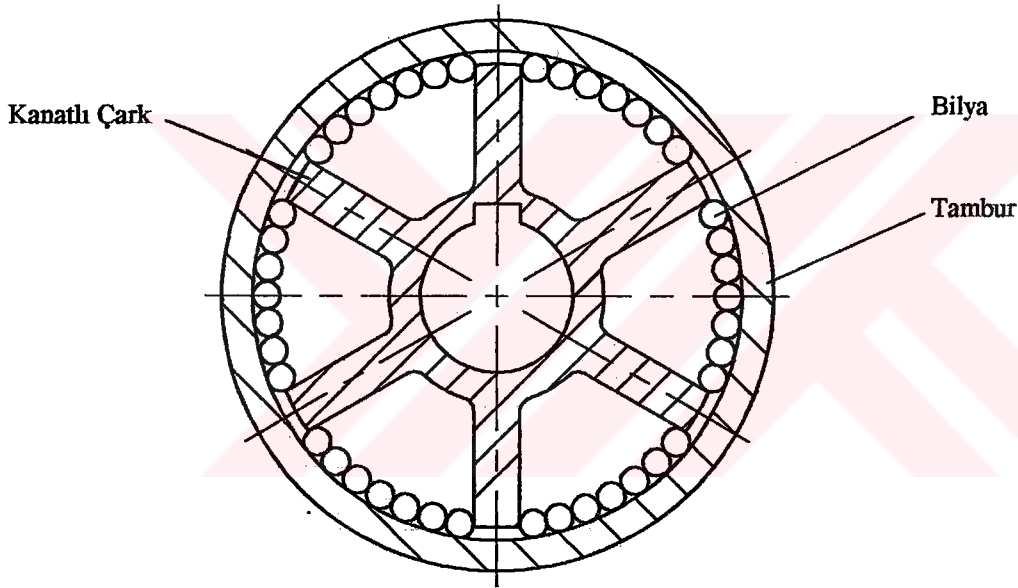
Şekil 3.7. Bilyalı konik santrifüj kavrama (Goodling, 1974)

Bilyalı konik santrifüj kavramanın (Şekil 3.7) dış muhafazası, sürtünme yüzeylerini soğutmak ve normal işletim aşınmasını minimumda tutabilmek için yağ ile

doldurulmuştur. Tambur içindeki giriş mili, bilya cebi ihtiva eden bir çelik halkaya bağlanmıştır.

Dönme esnasında çelik bilyalar, merkezkaç kuvvet tesiriyle iki konik bronz halkayı tambura doğru bastırırlar. Döndüren kavrama yarısındaki dişli çark dişleri, bilyalı konik santrifüj kavramının milleri arasındaki $1,5^\circ$ kadar açısal düzgünsüzlükte çalışmasına müsaade edebilir.

3.8. Bilyalı Santrifüj Kavrama



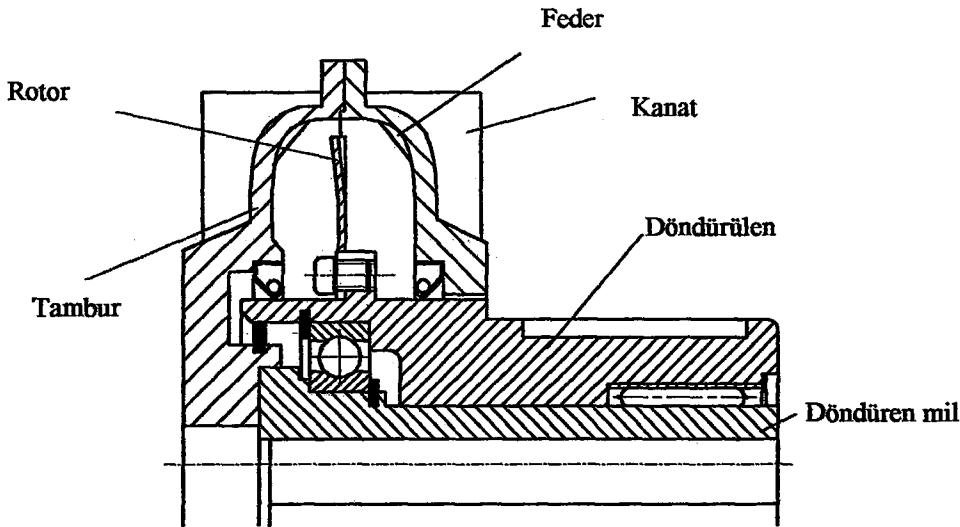
Şekil 3.8. Bilyalı santrifüj kavrama (Schalitz, 1968)

Şekil 3.8’de görülen bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark, tambur ve dolgu maddelerinden meydana gelmiştir. Kanatlı çark motor miline kama ile bağlanmıştır ve bilyalı santrifüj kavrama tamburu kanatlı çark üzerine döner yataklanmıştır. Kanatlı çark bölmeleri içerisinde çelik bilyalar sıvı veya toz biçimindeki maddelerle yağlanmaktadır. Motor harekete başladığında bilyalar, merkezkaç 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 devreye girerler. Kaymasız bir kuvvet bağı ile moment iletimini sürdürürler (Schalitz, 1968).

Bilyalı santrifüj kavramanın harekete başlaması süresinde meydana gelen sürtünme ısısı, dış kısımları az bir miktar ısıtırken, dolgu maddesini oldukça fazla ısıtmaktadır. Döndüren mile sabit bağlı olan kanatlı çark tambur içini eşit hacimli bölmelere böler. 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 makinaları ve en ağır kütleleri sarsarak serbest ivmelenmesini sağlarlar. Sınırlanan bir emniyet momenti tarafından aşırı yüklere 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 (Dittrich ve Schunmann, 1974).

3.9. Serbest Bilyalı Santrifüj Kavrama



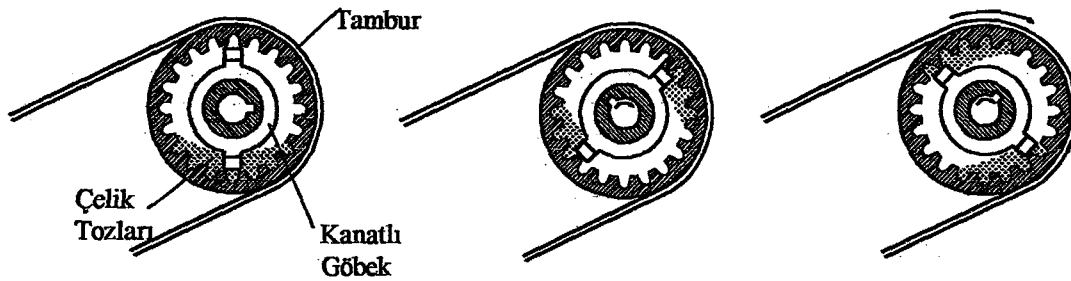
Şekil 3.9. Serbest bilyalı santrifüj kavrama (Schalitz, 1968)

Şekil 3.9'da serbest bilyalı santrifüj kavrama görülmektedir. Döndüren taraftaki mil göbeği cıvatalarla iki parçalı tambura bağlanmıştır. Döndürülen taraftaki göbek cıvatalarla sertleştirilmiş rotora bağlanmıştır. Dolgu maddesi, grafit veya molibden sülfat ile yağlanan çelik parçacıklardan ibarettir. Diğer santrifüj kavramalardan farklı olarak, serbest bilyalı santrifüj kavramanın döndüren kısmı tambur tarafıdır. Bu sayede döndürülen kısmın kütleli atalet momenti küçük tutulmuş olur.

Dönme esnasında muhafaza içinde çelik bilyalar merkezkaç kuvvet tesiriyle dışa doğru ivmelenir, burada bilyalar moment ileten rotor çevresine toplanırlar. Harekete başlamada, bir kayma periyodundan sonra tambur ve rotor birlikte kilitlenecektir. Doldurma veya boşaltma bir doldurma deliğinden yapılmaktadır. İletilen moment, dolgu miktarı ve devir sayısının karesi ile değişmektedir.

Tambur iki parçadan meydana gelmektedir. İç kısımdaki federlerin kaymayı ve aşınmayı azaltıcı etkileri vardır. Serbest bilyalı santrifüj kavramada harekete başlama esnasında meydana gelen kayma ısını dışarı atmak için, tamburun dış kısmı kanatlı olarak tasarlanmıştır. Soğutma etkisini kuvvetlendirmek ve daha iyi bir ısı transferi sağlamak için kanatlara sac plakalar da monte edilebilmektedir. Bunlar soğutma kanatları ile beraber bir vantilatör gibi etki ederler ve tamburdaki ısıyı içeriden dışarı doğru sevk ederler (Schalitz, 1968).

3.10. Tozlu Santrifüj Kavrama



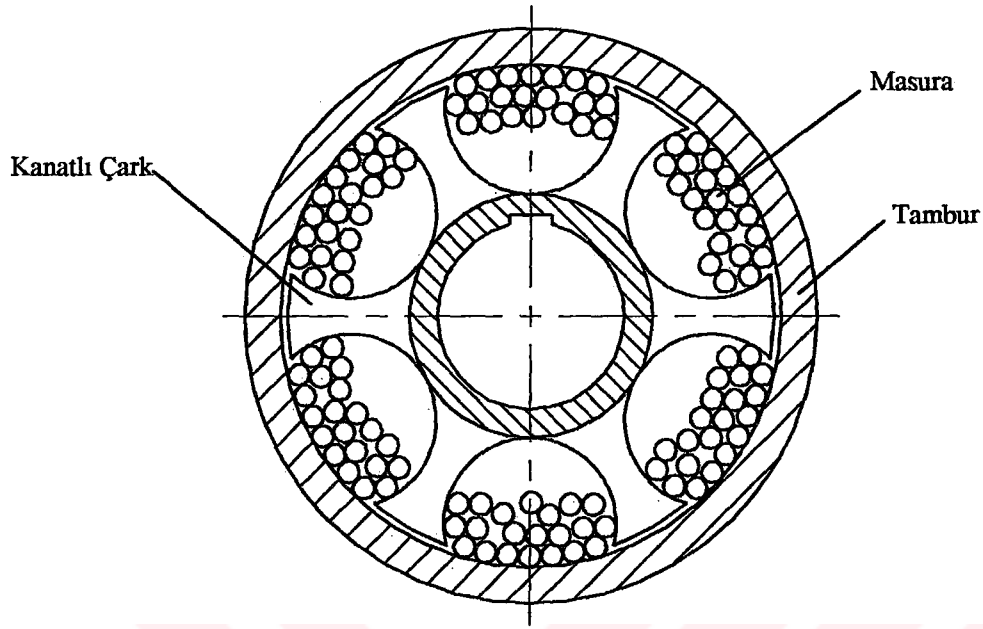
Şekil 3.10. Tozlu santrifüj kavrama (Schalitz, 1968)

Tozlu santrifüj kavrama (Şekil 3.10) tambur, kanatlı göbek ve iki kapaktan ibarettir. Tozlu santrifüj kavrama tamburu içine grafit haline getirilmiş çelik tozları doldurulmuştur. Harekete başlama esnasında kanatlı göbek kanatları vasıtasıyla çelik tozlar karıştırılır, bunun sonucunda merkezkaç kuvveti ve sürtünme olayı meydana gelir. Birinci aşamada kanatlar ve tambur iç yüzeyi arasında yumuşak ve hafif bir bağlantı meydana gelir, motor hemen hemen yüksüz olarak devir sayısını yükseltmeye çalışırken, diğer taraftan da tambur yavaş yavaş hızlanır.

Devir sayısının artması ile birlikte çelik tozların uyguladığı merkezkaç kuvvetin etkisi büyür, bu esnada tozlu santrifüj kavrama momenti istenilen değere kadar çıkar. Devir sayısına bağlı olarak çelik tozlar kanatların önüne savrulup birikinti olarak yığılır ve dönme momenti kaymaksızın, kayıpsız ve aşınmasız olarak aktarılır. Tozlu santrifüj kavrama harekete başladığında tamamen az bir moment aktardığı için, motorun devir sayısı kısa sürede yükselir, böylece motor ve akım şebekesi korunmuş olur. Mekanik açıdan devreye girme hareketi darbeleri, çarpmalı değil de bilakis tatlı bir şekilde sonuçlanır. Dolgu miktarı azaltılıp artırılarak aktarılan güç ayarlanabilir. Tozlu santrifüj kavrama fazla yüklenildiğinde kaymaya başlar, çünkü çelik tozlarının savrulma yığılması kanatların artan basıncına karşı duramaz, motor devir sayısı biraz düşer ve motor aşırı yüklenmeden dolayı bir miktar daha fazla akım çeker. Bu sayede tozlu santrifüj kavrama motoru aşırı yüklenmelerden ve iş makinasını hasarlardan korur. Tozlu santrifüj kavramanın iç hacmi tek bir oda şeklindedir. Gerektiğinde doldurma deliği vasıtası ile eski çelik tozlar atılır ve yerine yenisi doldurulur veya iletilecek güç ayarlanabilir (Schalitz, 1968).

3.11. Masuralı Santrifüj Kavrama

Masuralı santrifüj kavrama tambur, kanatlı çark ve silindir şeklindeki masuralardan oluşan dolgu parçalarından meydana gelmiştir (Şekil 3.11). Motor harekete başladıktan sonra, kanatlı çark bölmeleri içindeki masuraları da beraber çevirir ve artan merkezkaç kuvvet masuraları tamburun iç yüzeyine karşı bastırır. Harekete başlama esnasında kanatlı çark iç yüzeyine temas eden masuralar, bağıl hareketle kanatlı çark ve tambur arasındaki bölmelerden aşağı doğru düşerek yuvarlanır ve özellikle masuraların hepsi aynı dönüş yönünde dönerler. Bunun sonucu olarak da



Şekil 3.11. Masuralı santrifüj kavrama (Schalitz, 1968)

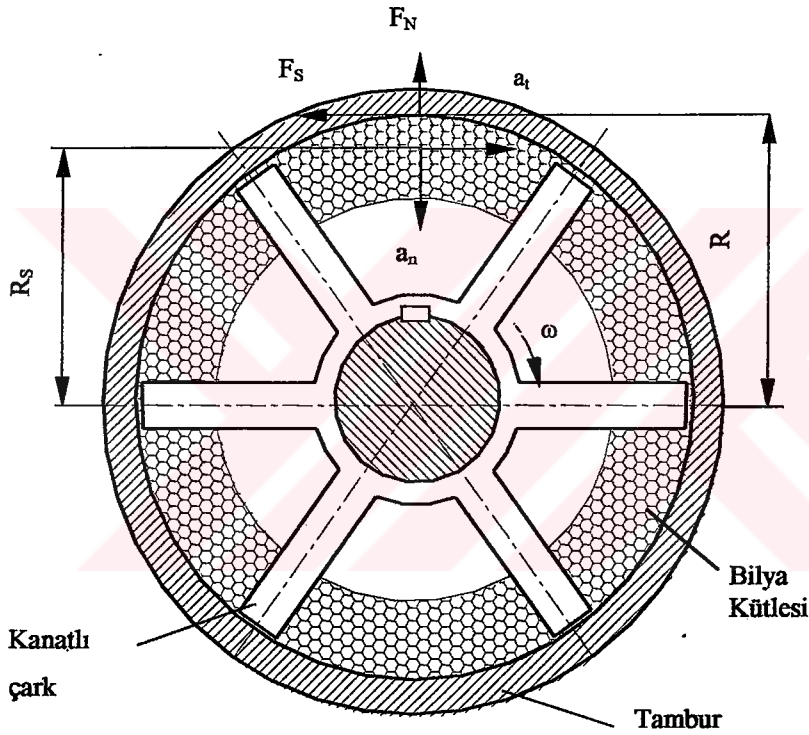
masuralar temas ettikleri yerler üzerinde zıt istikamette kayarlar ve böylece karşılıklı olarak biri birlerini frenlerler. Bundan dolayı yumuşatılmış yuvarlanmalı sürtünme meydana gelir.

İş makinasının aşırı yüklenmesi veya bloke olması (sıkışması) halinde masuralar tekrar yuvarlanmaya başlar ve masuralı kavrama da kaymaya başlar. Burada masuralı kavrama emniyet kavraması olarak görev yapar. Aktarılabilen dönme momenti dolum derecesinin uygun seçimine göre ayarlanabilir (Schalitz, 1968).

4. TEORİK İNCELEME

4.1. Motor Seçimi İçin Güç Hesabı

Şekil 4.1'de bilyalı santrifüj kavramanın kanatlı çark bölmesi içindeki bilya kütesine tesir eden kuvvetler gösterilmiştir. (ω) Açısal hızı ile dönen bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çarkı bölmeleri içindeki m kütesine a_t teğetsel ivme ve a_n normal ivme



Şekil 4.1. m kütesine etki eden kuvvetler.

etki etmektedir. m kütesinin açısal hızı (ω), kütle'nin çevresel hızının (u), kütle'nin ağırlık merkezinin kavrama dönme eksenine olan uzaklığına (R_s) oranıdır.

$$a_t = \omega R_s \quad (4.1)$$

$$a_n = \omega^2 R_s \quad (4.2)$$

$$\omega = \frac{u}{R_s} \quad (4.3)$$

ω açısal hızı ile dönen m kütleinin, bilyalı santrifüj kavrama tamburu iç yüzeyine uyguladığı normal baskı kuvveti (F_N)

$$F_N = ma_n = m\omega^2 R_s \quad (4.4)$$

Bu kuvvetin bilyalı santrifüj kavrama tamburu iç yüzeyinde meydana getirdiği sürtünme kuvveti (F_s)

$$F_s = \mu F_N = \mu m \omega^2 R_s \quad (4.5)$$

μ bilyalar ile tambur arasındaki sürtünme katsayısıdır. F_s sürtünme kuvvetinin bilyalı santrifüj kavrama milindeki döndürme momenti (M)

$$M = F_s R = \mu m \omega^2 R_s R \quad (4.6)$$

R_s sürtünme kuvvetinin dönme ekseninden olan uzaklığıdır.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \quad (4.7)$$

$$M = \mu m \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 R_s R \quad (4.8)$$

Bir kuvvetin gücü kuvvetle hızın çarpımına eşit olduğundan,

$$P = F_s u \quad (4.9)$$

$$u = \omega R \quad (4.10)$$

$$P = F_s R \omega = M \omega \quad (4.11)$$

$$P = M\omega \quad (4.12)$$

$$P = \mu m \left(\frac{m}{30} \right)^2 R_s R \omega \quad (4.13)$$

$$P = \mu m \omega^3 R_s R \quad (4.14)$$

$$P = \mu m \left(\frac{m}{30} \right)^3 R_s R \quad (4.15)$$

4.2. Porozite

Porozite; gözenek hacminin dolum hacmine oranı olup boyutsuz bir büyüklüktür. Gözeneklilik oranı porozite (P_o)

$$P_o = \frac{V_g}{V} = \frac{\text{gözenek hacmi}}{\text{dolum hacmi}} \quad (4.16)$$

V_g = Gözeneklerin toplam hacmi

V_b = Bilyaların toplam hacmi

V = Dolum hacmi

$$V = V_g + V_b \quad (4.17)$$

Eşitliğin iki tarafı da dolum hacmine bölünürse,

$$\frac{V}{V} = \frac{V_g}{V} + \frac{V_b}{V} = 1 \quad (4.18)$$

$$1 = \frac{V_g}{V} + \frac{V_b}{V} \quad (4.19)$$

4.16 nolu bağıntıdan,

$$\frac{V_b}{V} = 1 - \frac{V_g}{V} = 1 - P_o \quad \text{ve buradan} \quad P_o = 1 - \frac{V_b}{V} \quad \text{bulunur.} \quad (4.20)$$

m: Bilyaların kütlesi

ρ_b : Bilya yoğunluğu

ρ : Dolumun yoğunluğu

$$m = \rho_b \cdot V_b = \rho \cdot V \quad (4.21)$$

olduğundan,

$$\frac{V_b}{V} = \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.22)$$

Bu bağıntıdan,

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{V_b}{V} \text{ bulunur.} \quad (4.23)$$

$\frac{V_b}{V}$ oranı yerine $\frac{\rho}{\rho_b}$ oranı, 4.20 de denkleminde yerine yazılırsa P_o .

$$P_o = 1 - \frac{\rho}{\rho_b} \quad (4.24)$$

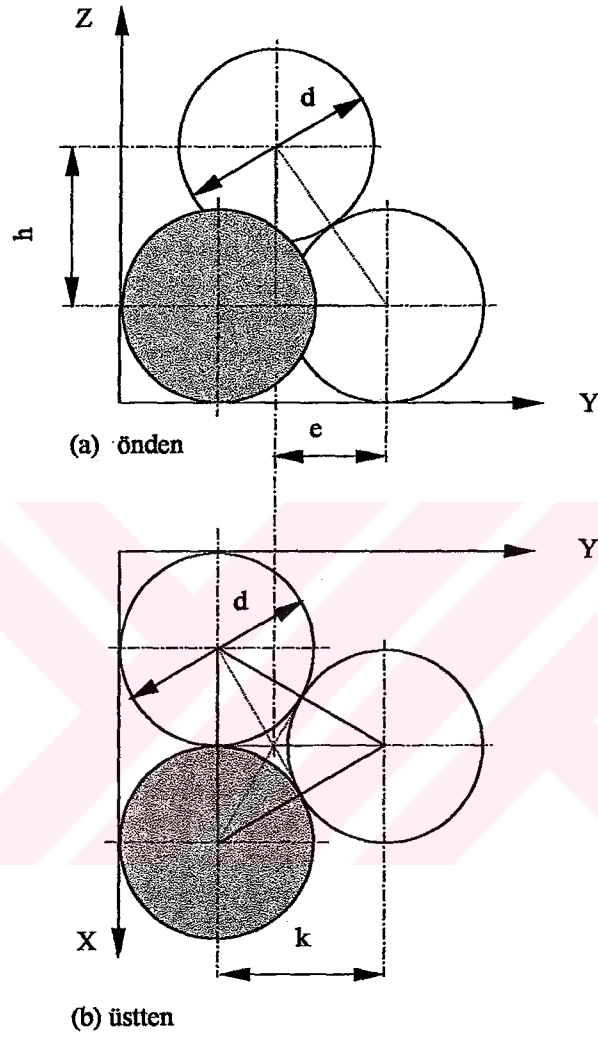
denklemi elde edilir.

4.3. Bilya Merkezleri Arasındaki Mesafenin Hesaplanması

Şekil 4.2'de bir düzlem üzerinde dizilmiş d çaplı bilyaların (Y-Z) ve (X-Y) düzlemlerindeki izdüşümleri görülmektedir. Bilyaların (X-Y) düzlemindeki izdüşümünde, bilya merkezlerinin birleştirilmesi ile meydana gelen eşkenar üçgen çizilmiştir. Bilya merkezleri arasındaki k mesafesi, bilyaların merkezlerinin birleştirilmesi ile meydana gelen eşkenar üçgenden hesaplanmıştır. Eşkenar üçgenin açı ortaylarının kesiştiği nokta, bu üç bilyanın ortasına yerleştirilen bilyanın merkezinden geçen dikey doğrunun üzerindedir. h mesafesi (Y-Z) izdüşüm düzlemindeki dik üçgenden hesaplanmıştır.

(X-Y) izdüşüm düzlemindeki bilya merkezlerini birleştiren eşkenar üçgenden yararlanılarak, k mesafesi hesaplanmıştır.

$$k = \tan 60^\circ \frac{d}{2} = 0,866d \quad (4.25)$$



Şekil 4.2. İki sıra halinde dizilmiş bilyaların önden ve üstten görüntüleri.

$$e = (\tan 60^\circ - \tan 30^\circ) \cdot \frac{d}{2} \quad (4.26)$$

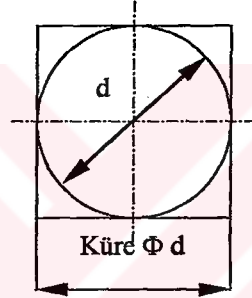
(Y-Z) düzlemi üzerindeki dik üçgenden yararlanılarak, birinci sıradaki bilyaların merkezi ile ikinci sıradaki bilyaların merkezi arasındaki h mesafesi hesaplanmıştır.

$$h = 0,8165d \quad (4.27)$$

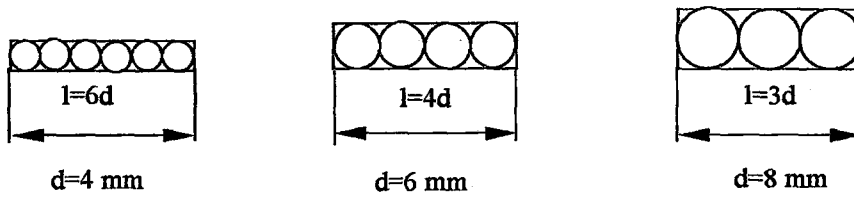
4.4. Dikdörtgen Prizma Dolumunun Porozitesi

Kenar uzunluğu (d) çapına eşit olan bir küp içine d çapında bir küre konulmuştur. Bir bilya hacmi $V_b = \frac{1}{6}\pi d^3$ ve küp hacmi $V = d^3$ dolumun porozitesi:

$$P_o = 1 - \frac{V_b}{V} = 1 - \frac{\frac{1}{6}\pi d^3}{d^3} = \frac{6 - \pi}{6} = 0,4764 \quad (4.28)$$



Şekil 4.3. Küp içindeki bilya

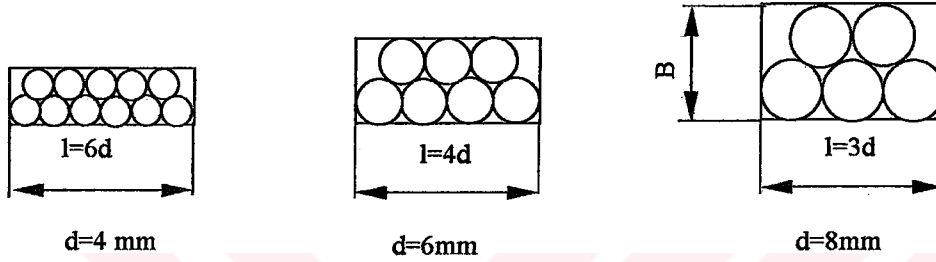


Şekil 4.4. Dikdörtgen prizma içindeki tek sıra bilyalar

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, genişlik ve yükseklikleri bilya çaplarında, uzunlukları eşit $l=24$ mm üç adet dikdörtgen prizma içine 6, 4 ve 3 adet bilya yerleştirilmiştir. Her üç şekil için de dolumların poroziteleri eşittir.

$$P_o = 1 - \frac{V_b}{V} = \frac{6 - \pi}{6} = 0,4764 \quad (4.29)$$

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi uzunlukları eşit $l=24$ mm, yükseklikleri bilya çaplarında (d) ve genişlikleri $B=0,866d + d$ ölçülerindeki prizmaların içine, iki sıra 11 , 7 ve 5 adet bilya doldurulmuştur. Bu şekillerin dolum poroziteleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Dikdörtgen prizma içindeki iki sıra bilyalar

Yukarıdaki bilya dizilişlerinde, eğer ikinci sıradaki bilya sayıları birinci sıradaki bilya sayılarına eşit olsaydı her üç prizma için de doluların poroziteleri eşit olurdu. İkinci sıraların her iki ucunda yarım bilya ve toplam bir bilya boşluk mevcuttur. Bu boşluğun hacimsel değeri, ikinci sıradaki bilyaların sayısının artmasıyla azalmaktadır. Aynı uzunlukta küçük çaplı bilyalar daha fazla olacağından, küçük çaplı bilyaların bulunduğu dolumun porozitesi daha küçük çıkacaktır. Bu nedenle eşit hacim içine doldurulan farklı çaplardaki bilyalardan, küçük çaplı olanların dolum porozitesi daha küçük çıkacaktır.

Tablo 4.1. Bilya sayısı porozite verileri

	Bilya sayısı	Porozite
d=4 mm	11	0,485
d=6 mm	7	0,509
d=8 mm	5	0,532

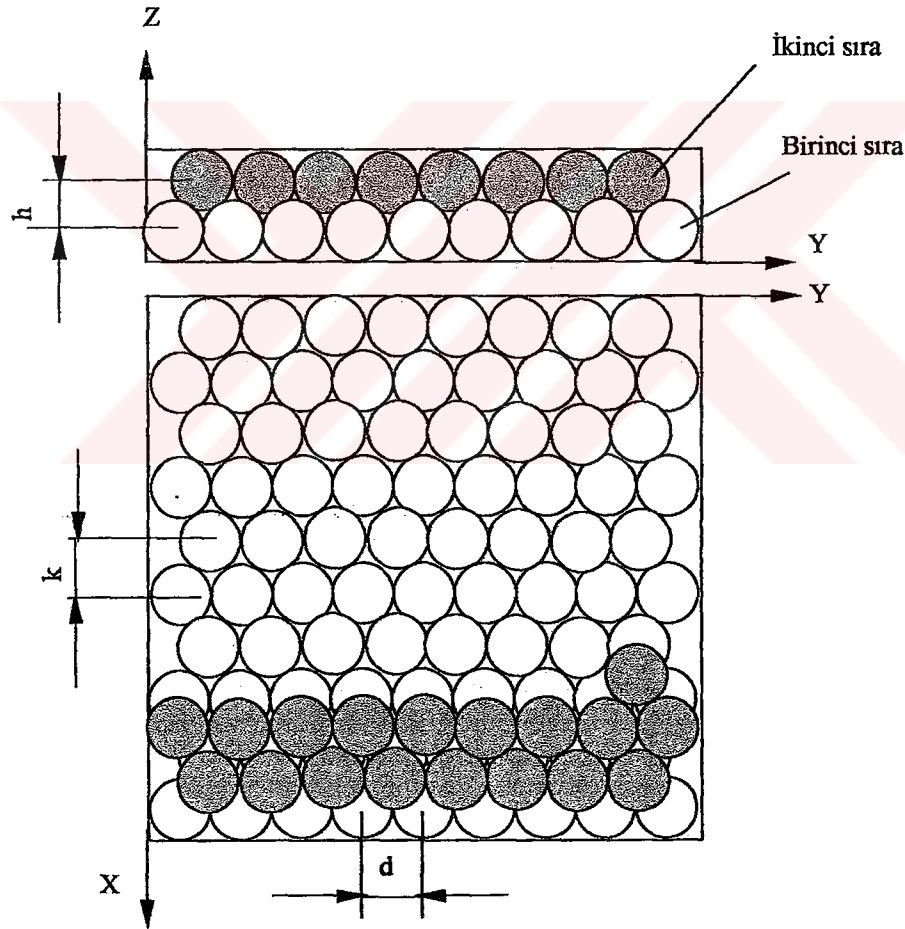
Porozitenin küçük çıkması boşluğun az olması demektir. Diğer bir ifadeyle porozitenin sıfıra yakın olması boşluğun az olması, 1'e yakın olması boşluğun fazla olması demektir. İçinde boşluk olmayan katıların porozitesi sıfırdır.

Şekil 4.6'da dikdörtgen prizma içindeki bilyaların (Y-Z) ve (X-Y) düzlemlerindeki görünüşleri verilmiştir.

X Ekseninde: toplam bilya sıra sayısı: D

Y Ekseninde: her bir sıradaki toplam bilya sayısı: E

Z Ekseninde: toplam bilya sıra sayısı: F



Şekil 4.6. Dikdörtgen prizma içindeki çok sıralı bilyalar

Dikdörtgen prizma içindeki toplam bilya sayısı:

$$T_{bil} = \frac{F}{2} \cdot (2DE - D - E) \quad (4.30)$$

$$\text{Bir bilya hacmi: } \frac{1}{6} \pi d^3$$

Dikdörtgen prizma kenar boyutları:

$$X = (D - 1)0,866d + d \quad (4.31)$$

$$Y = Ed \quad (4.32)$$

$$Z = (F - 1)0,8165d + d \quad (4.33)$$

Bir dikdörtgen prizma içindeki bilya dolumunun porozitesi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Formülden dolumun porozitesinin bilya çapından bağımsız olduğu görülmektedir.

$$P_o = 1 - \frac{V_b}{V} = 1 - \left[\frac{\left[\frac{\pi \cdot F(2DE - D - E)}{12} \right]}{[(0,866D + 0,134)(E)(0,8165F + 0,1835)]} \right] \quad (4.34)$$

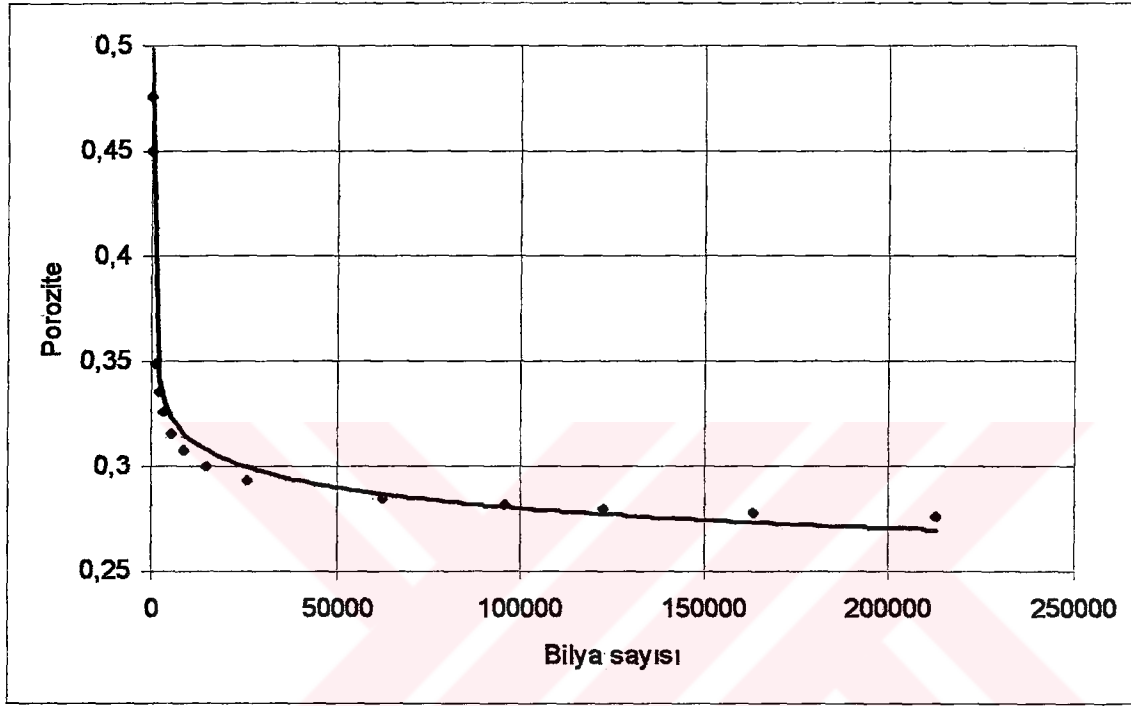
Bir dikdörtgen prizmada X, Y ve Z uzunluklarındaki toplam bilya sıraları ve sıra sayıları aynı tutulursa, tüm bilya çapları için dolumların poroziteleri eşit olur. Eşit sayıda ve farklı çaplardaki bilyaların dikdörtgen prizma dolumundaki poroziteleri de eşit olur, fakat bilyaların içine doldurulduğu dikdörtgen prizmanın uzunlukları bilya çapına bağlı olarak değişmektedir.

Dikdörtgen prizma içindeki bilyaların düzgün dizilişlerinde dolumun poroziteleri 0,4764 ile 0,2595 sınır değerleri arasına düşmektedir (Saydam, 1973).

Yukarıdaki denklemde aynı dikdörtgen prizma hacmi içine doldurulan bilyalardan küçük çaplı bilyaların sayısının daha fazla, bu nedenle dolumun porozitesinin daha küçük ve bilyaların toplam kütlesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4.7’de dikdörtgen prizma dolumunda, porozitenin bilya sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Tablo 4.2 deki veriler denklem 4.34’den hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. Dikdörtgen prizmada porozite bilya sayısı değişim verileri

Bilya sayısı	100	1210	2028	3150	4624	26100	62400	95220	163350	212400
Porozite	0,45	0,349	0,3359	0,3260	0,318	0,2931	0,0,2848	0,2815	0,27795	0,2764



Şekil 4.7. Dikdörtgen prizmada, porozitenin bilya sayısı ile değişimi

4.5. İçerisi Bilya ile Doldurulmuş Silindir Halkanın Porozitesinin Deneysel

Araştırılması

İçi boş bir silindir içine içi dolu bir silindir bırakılmış, meydana gelen silindir halkasına sırasıyla 4, 6 ve 8 mm çapında bilyalar doldurulmuştur. Bilyaların porozitesini ölçmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır. Deneylerin yapılacağı kavramanın iç yarıçapı $R=90$ mm ve genişliği $b=80$ mm'dir. Mevcut bilya miktarları göz önüne alınarak, silindir halkasının yarıçapı $R=90$ mm ve genişliği ise 35 mm seçilerek imal edilmiştir. Bu silindir halka içine çeşitli yarıçaplarda içi dolu silindir parçalar yerleştirilerek ($r=71,45$ mm; $r=65$ mm; $r=57,5$ mm; $r=50,35$ mm) elde edilen boş

hacimlere sırayla $\phi=4$ mm; $\phi=6$ mm; ve $\phi=8$ mm bilyalar doldurularak bilyaların kütleleri tartılmıştır.

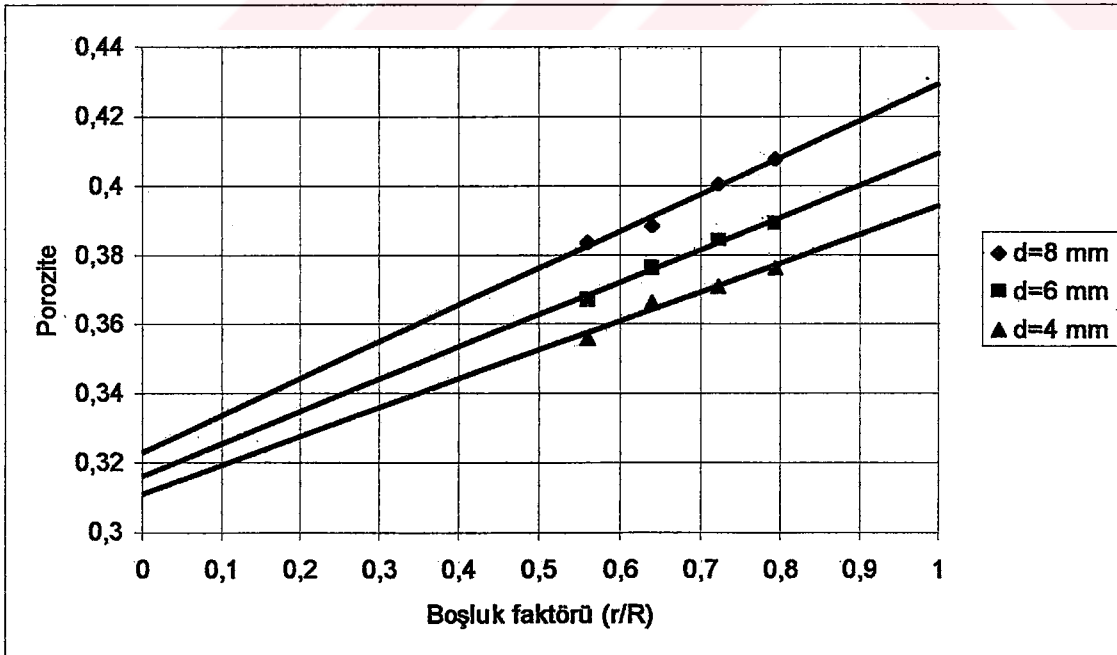
Silindir halkası ve silindirler arasındaki boş hacimler hesaplanmış, toplam bilya hacmi $V_b = \frac{m}{\rho_b}$ eşitliğinden, poroziteler $P_o = 1 - \frac{V_b}{V}$ eşitliğinden ve boşluk faktörleri

$\Psi = \frac{r}{R}$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve

Tablo 4.6'da verilmiştir. Her üç çaptaki bilya için Şekil 4.8'de porozitenin boşluk faktörü ile değişimi grafiği görülmektedir.

Tablo 4.3. Silindir halkası dolumunda porozite boşluk faktörü değişim verileri

	$\frac{r}{R} = 0,5594$	$\frac{r}{R} = 0,6388$	$\frac{r}{R} = 0,7222$	$\frac{r}{R} = 0,7938$
	Porozite	Porozite	Porozite	Porozite
4 mm	0,3559	0,36639	0,3708	0,3763
6 mm	0,3672	0,3766	0,38406	0,3891
8 mm	0,3837	0,3885	0,4005	0,4076



Şekil 4.8. Silindir halkası dolumunda porozitenin boşluk faktörü ile değişimi

Tablo 4.4. Silindir halkası dolusunda porozite bilya kütlesi değişim verileri

d=4 mm	Kütle gr	1602	2091	2605	3074
	Porozite	0,3763	0,3708	0,36639	0,3559
d=6 mm	Kütle gr	1569	2047	2563	3020
	Porozite	0,3891	0,38406	0,3766	0,3672
d=8 mm	Kütle gr	1522	1992	2514	2941
	Porozite	0,4076	0,4005	0,3885	0,3837



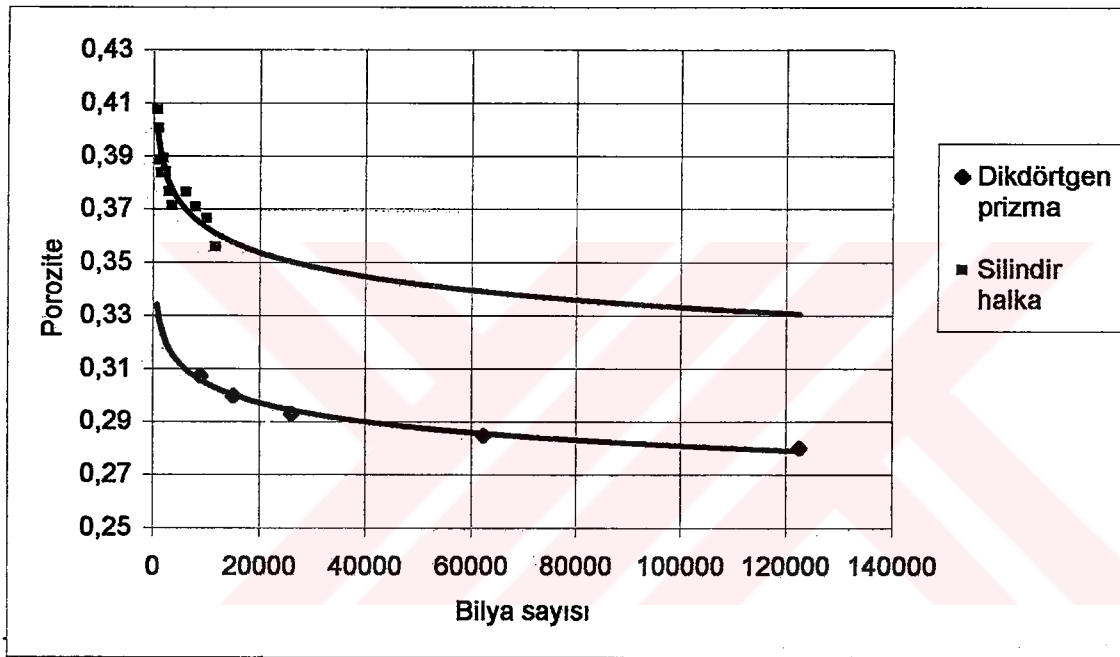
Şekil 4.9. Silindir halkası dolusunda porozitenin, dolum kütlesi ve bilya çapı ile değişimi

Şekil 4.9'da ise her bir bilya çapı için porozitenin, bilya kütlesi ile değişimi grafik ile gösterilmiştir.

Denklem 4.34'den içerisi bilya ile doldurulan dikdörtgen prizma dolumlarının poroziteleri hesaplanmış, silindir halkası dolumlarının poroziteleri yapılan deneylerden hesaplanmıştır. Dolumların bilya sayısına göre porozite değişimleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Deneysel ve teorik bulgular Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolularında porozite bilya sayısı değişim verileri

Silindir halkası												
Bilya sayısı	723	946	1194	1397	1766	2305	2886	3400	6087	7945	9898	11680
Porozite	0,4076	0,4005	0,3885	0,3837	0,3891	0,384	0,377	0,367	0,3763	0,371	0,3664	0,3559
Dikdörtgen prizması												
Bilya sayısı	8820	15000	26100	62400	122500							
Porozite	0,3073	0,2997	0,2931	0,2848	0,28							

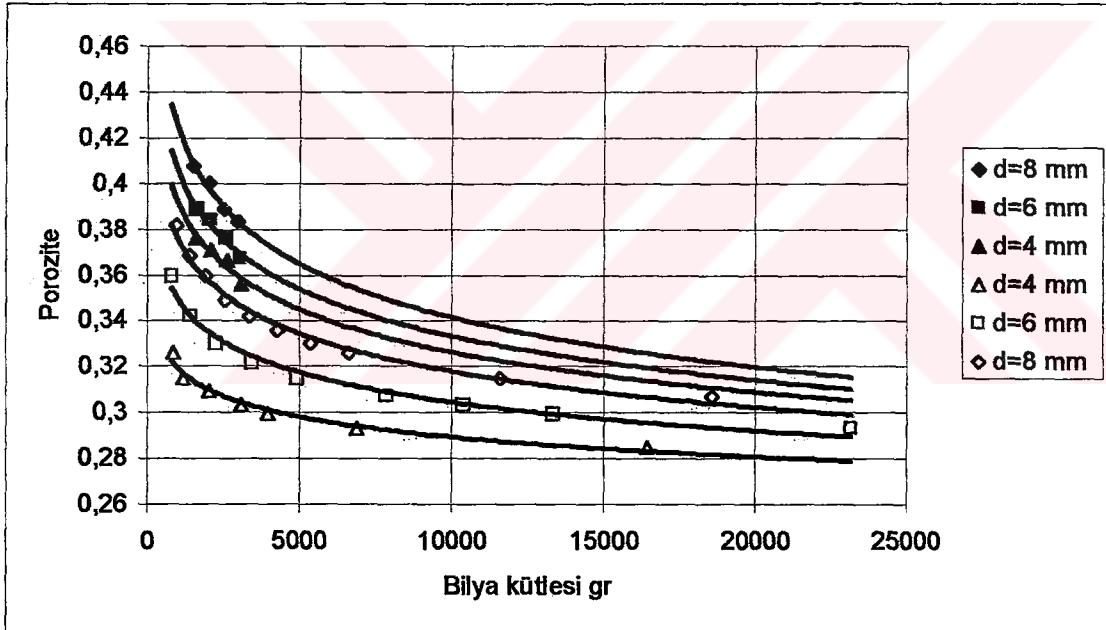


Şekil 4. 10. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolularında porozitenin bilya sayısı ile değişimi

Şekil 4.11’de içi boş silindir halka ve dikdörtgen prizma içine doldurulan 4, 6 ve 8 mm çaplarındaki bilyaların dolum porozitelerinin bilya kütlesi ile değişimleri gösterilmiştir. Denklem 4.34’den içerisi bilya ile doldurulan dikdörtgen prizma dolularının poroziteleri ve bilyaların kütlesi hesaplanmış, silindir halkası dolularının poroziteleri ve bilyaların kütlesi de yapılan deneylerden hesaplanmıştır. Eşit çaplı aynı bilya kütlesi dolusunda, dikdörtgen prizma dolum poroziteleri daha küçük çıkmaktadır. Dikdörtgen prizma içindeki bilya sırası incelendiğinde bilya eksenleri arasında $h=0,8165d$ ölçüsü bulunmaktadır. İkinci sıradaki bir bilya, birinci sıradaki üç

Tablo 4.6. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolularında porozite bilya kütlesi değişim verileri

Bilya çapı	Silindir halkası										
d=4 mm	Kütle gr	1602			2091		2605		3074		
	Porozite	0,3763			0,3708		0,36639		0,3559		
d=6 mm	Kütle gr	1569			2047		2563		3020		
	Porozite	0,3891			0,38406		0,3766		0,3672		
d=8 mm	Kütle gr	1522			1992		2514		2941		
	Porozite	0,4076			0,4005		0,3885		0,3837		
	Dikdörtgen prizması										
d=4 mm	Kütle gr	829	1150	2000	3063	3948	6869	16423			
	Porozite	0,326	0,3156	0,3096	0,3032	0,2997	0,2931	0,2848			
d=6 mm	Kütle gr	800	1407	2263	3410	4892	7834	10337	13323	23182	
	Porozite	0,36	0,342	0,331	0,3219	0,3151	0,3073	0,3032	0,2997	0,2931	
d=8 mm	Kütle gr	943	1364	1895	2548	3335	4270	5365	6632	11597	18571
	Porozite	0,382	0,3686	0,36	0,349	0,342	0,3359	0,3306	0,326	0,3151	0,308



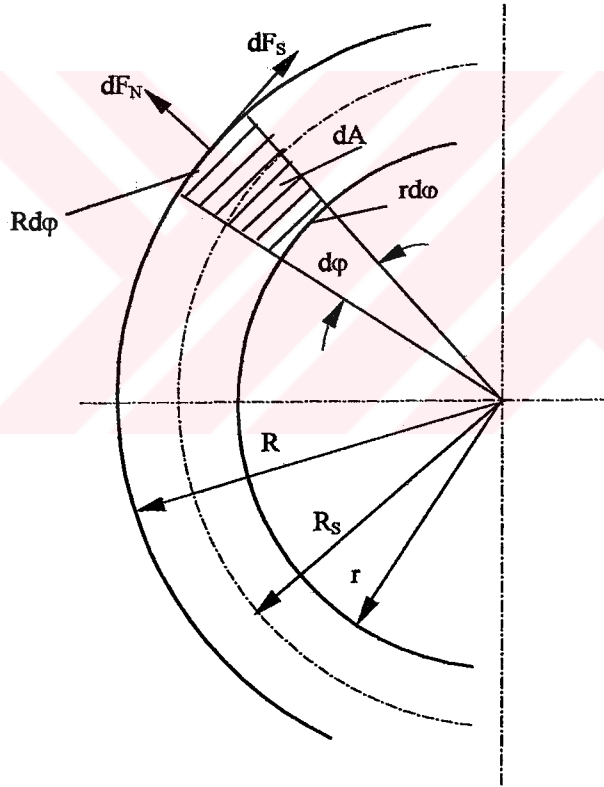
Şekil 4.11. Dikdörtgen prizma ve silindir halka dolularında porozitenin bilya kütlesi ile değişimi

bilyanın tam ortasına yerleşmiştir. Bu ideal bir bilya dizilişidir. Silindir halkası içindeki bilya dizilişlerinde ise bilyalar, çevreden merkeze doğru daire halkaları şeklinde dizilmektedir. Her bir sıradaki bilya sayıları eşit olmayacağından, dizilişin düzeni bozulmakta ve bilya sıraları eksenleri arasındaki $h=0,8165d$ ölçüsü daha da artmaktadır. Bu nedenle silindir halkasındaki bilyaların porozitesi daha yüksek çıkmaktadır.

4.6. Bilyalı Santrifüj Kavramanın İleteceği Momentin Kuramsal Olarak Hesaplanması

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) ise toplam moment $M = M_1 + M_2$ olur.

4.6.1. Bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyinin ilettiği moment



Şekil 4.12. dA elemanına etki eden kuvvetler

Bilyalı santrifüj kavrama sonsuz küçük çapta ve sonsuz sayıda bilya ile (r) yarıçapına kadar doldurulduğu durumda tambur iç yüzeyinin ileteceği momentini hesap edelim.

dA elemanı hacmi:

$$dV = \left[\frac{Rd\phi R}{2} - \frac{rd\phi r}{2} \right] b = \frac{1}{2} (R^2 d\phi - r^2 d\phi) b \quad (4.35)$$

Silindir halkası kütlesi:

$$dm = \rho dV = \frac{1}{2} d\phi (R^2 - r^2) b \rho \quad (4.36)$$

Normal kuvvet:

$$dF_N = dm \omega^2 R_s \quad (4.37)$$

Sürtünme kuvveti:

$$dF_s = dF_N \mu = dm \omega^2 R_s \mu \quad (4.38)$$

Moment:

$$dM_1 = dF_s R = dm \omega^2 R_s \mu R \quad (4.39)$$

Silindir halkasının ağırlık merkezinin bilyalı santrifüj kavrama dönme eksenine uzaklığı R_s 'dir. Kanatlı çarkın kanatlarının genişlikleri (R_s) mesafesini çok az bir miktarda azalttığından hesaplamalara katılmamıştır. Şekil 4.12 üzerindeki üçgenden faydalanılarak silindir halkasının (R_s) ağırlık merkezi aşağıda hesaplanmıştır.

$$\left[\frac{1}{2} R R d\phi - \frac{1}{2} r r d\phi \right] R_s = \frac{1}{2} R R d\phi \frac{2}{3} R - \frac{1}{2} r r d\phi \frac{2}{3} r \quad (4.40)$$

$$\frac{1}{2} (R^2 d\phi - r^2 d\phi) R_s = \frac{1}{3} R^3 d\phi - \frac{1}{3} r^3 d\phi \quad (4.41)$$

$$\frac{1}{2} d\phi (R^2 - r^2) R_s = \frac{1}{3} d\phi (R^3 - r^3) \quad (4.42)$$

$$R_s = \frac{2}{3} \frac{(R^3 - r^3)}{(R^2 - r^2)} \quad (4.43)$$

$$R_s = \frac{2}{3} \frac{(R - r)(R^2 + Rr + r^2)}{(R - r)(R + r)} \quad (4.44)$$

$$R_s = \frac{2(R^2 + Rr + r^2)}{3(R + r)} \quad (4.45)$$

Bilyalı santrifüj kavramanın tambur iç yüzeyinin ileteceği moment:

$$dM_1 = \frac{1}{2} d\varphi (R^2 - r^2) \cdot b \rho \omega^2 \mu R \frac{2(R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)} \quad (4.46)$$

$$dM_1 = \frac{1}{3} b \rho \omega^2 \mu (R^3 - r^3) R d\varphi \quad (4.47)$$

$$\int_0^{M_1} dM_1 = \int_0^{2\pi} \frac{1}{3} b \rho \omega^2 \mu (R^3 - r^3) R d\varphi \quad (4.48)$$

$$M_1 = \frac{2\pi}{3} b \rho \omega^2 \mu R (R^3 - r^3) \quad (4.49)$$

$$M_1 = \frac{2\pi}{3} R^4 b \rho \omega^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (4.50)$$

Böylece sabit devir sayısında iletilebilen maksimum moment $\left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right]$ ile değişmektedir.

$$M_1 = \frac{2\pi}{3} R^4 b \rho \left(\frac{m}{30} \right)^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (4.51)$$

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^4 b \rho n^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (4.52)$$

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \frac{b}{R} \rho n^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (4.53)$$

Bilyalı santrifüj kavrama tamburu içine doldurulan bilyaların yoğunlu $\rho = \rho_{Fe} (1 - P_o)$

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \frac{b}{R} \rho_{Fe} (1 - P_o) n^2 \mu \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^3 \right] \quad (4.54)$$

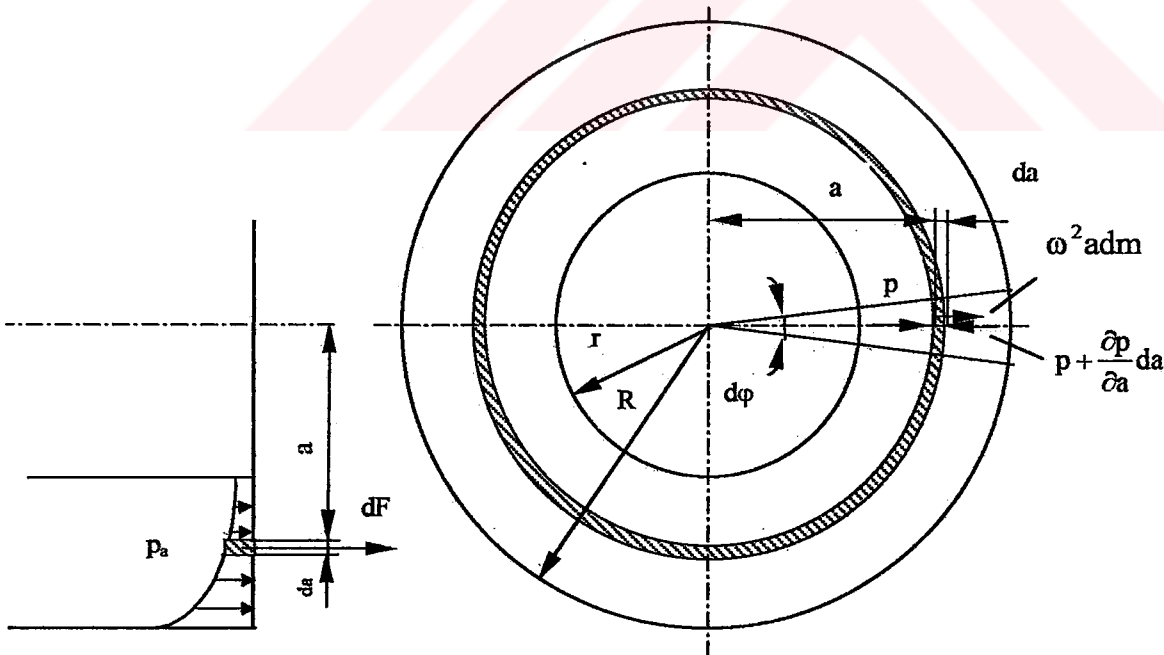
$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} R^5 \varphi \rho_{Fe} (1 - P_o) n^2 \mu \left[1 - (\Psi)^3 \right] \quad (4.55)$$

Boşluk faktörü : $\Psi = \frac{r}{R}$

Kavrama geometrisi faktörü: $\varphi = \frac{b}{R}$

4.6.2. Bilyalı santrifüj kavrama yan yüzeylerinin ilettiği 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 ileteceği momenti hesaplayalım.



Şekil 4.13. Kavrama yan yüzeyinde basınç dağılımı ve yanal moment

$$p = p_a \text{ ise } dF = dA \Delta p_a = d\phi a dp_a \quad (4.56)$$

$$dM_2 = \mu \int_0^{2\pi} \int_r^a a^2 da d\phi p_a \quad (4.57)$$

Basınç dağılımı

$$dA p_a + \omega^2 a dm - dA \left[-p - \frac{\partial p}{\partial a} da \right] = 0 \quad (4.58)$$

$$dA p_a + \omega^2 a dA dp - dA p_a - dA \frac{\partial p}{\partial a} da = 0 \quad (4.59)$$

$$\omega^2 a dp - \partial p = 0 \quad (4.60)$$

$$dp = \omega^2 a p da \quad (4.61)$$

$$p = \omega^2 \rho \frac{1}{2} a^2 = \omega^2 \frac{1}{2} (R^2 - r^2) \quad (4.62)$$

Basınç dağılımı bulunur 4.57 de yerine yazılırsa ve kavramanın iki yan yüzey olduğundan,

$$\frac{1}{2} dM_2 = p_a dA \mu a = \frac{1}{2} \omega^2 \rho a^2 a d\phi da \mu a = \frac{1}{2} \omega^2 \rho \mu \int_0^{2\pi} d\phi \int_r^R a^4 da \quad (4.63)$$

$$\frac{1}{2} M_2 = \frac{1}{2} \omega^2 \rho \mu \phi \Big|_0^{2\pi} \frac{1}{5} a^5 \Big|_r^R \quad (4.64)$$

$$M_2 = \omega^2 \rho \mu 2\pi \frac{1}{5} (R^5 - r^5) = \frac{2}{5} \pi \left[\frac{\pi n}{30} \right]^2 \rho \mu R^5 (1 - \Psi^5) \quad (4.65)$$

Boşluk faktörü $\Psi = \frac{r}{R}$

Kavramanın iki yan yüzeyinin ilettiği moment.

$$M_2 = \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho \mu R^5 (1 - \Psi^5) \quad (4.66)$$

Kavrama tambur iç yüzeyinin ilettiği moment.

$$M_1 = \frac{\pi^3}{1350} n^2 \rho \mu \frac{b}{R} R^5 (1 - \Psi^3) \quad (4.67)$$

Bilyalı santrifüj kavrama tambur iç yüzeyinin ilettiği momentle yan yüzeylerin ilettiği momentler toplandığında kavramanın ilettiği toplam teorik moment bulunur. Momentler toplanıp $M_T = M_1 + M_2$ değerleri yazıldığında:

$$M_T = M_1 + M_2 \quad (4.68)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{1350} n^2 \rho \mu \frac{b}{R} R^5 (1 - \Psi^3) + \frac{\pi^3}{2250} n^2 \rho \mu R^5 (1 - \Psi^5) \quad (4.69)$$

$$M_T = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho \mu R^5 \left[\frac{1}{3} \frac{b}{R} (1 - \Psi^3) + \frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \right] \quad (4.70)$$

Bilyalı santrifüj kavrama tamburu içine doldurulan bilyaların yoğunlu $\rho = \rho_{Fe} (1 - P_o)$

Kavrama geometrisi faktörü: $\phi = \frac{b}{R}$

$$M_T = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 \left[\frac{1}{3} \phi (1 - \Psi^3) + \frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \right] \quad (4.71)$$

$$M_T = Cf = C(f_1 + f_2) \quad (4.72)$$

$$C = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 \quad (4.73)$$

$$f = f_1 + f_2 = \frac{1}{3} \phi (1 - \Psi^3) + \frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \quad (4.74)$$

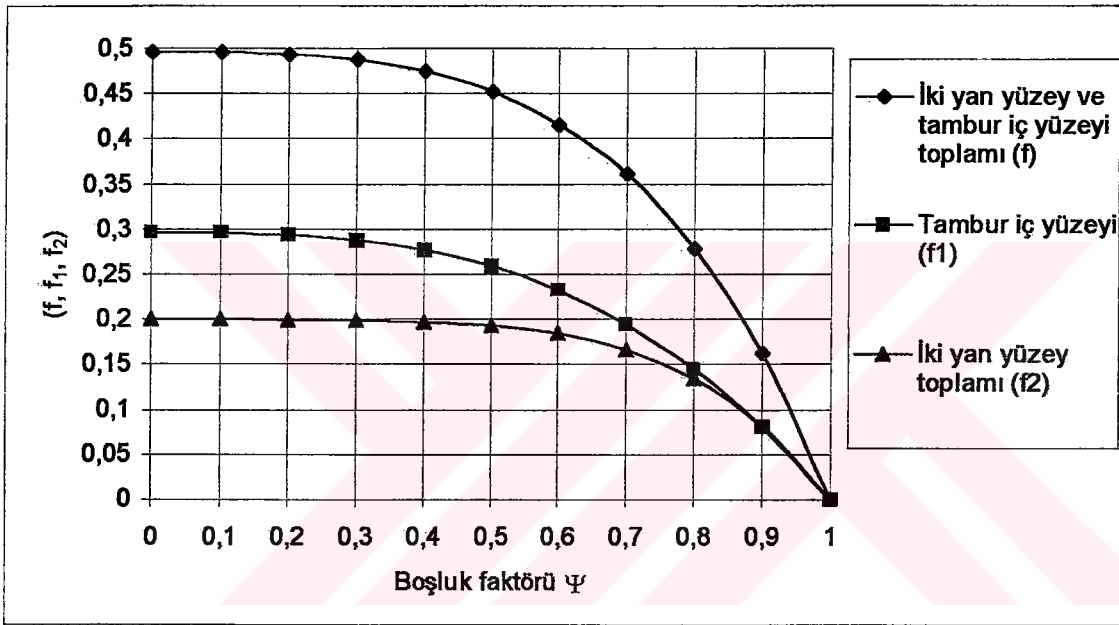
$$f_1 = \frac{1}{3} \phi (1 - \Psi^3) \quad (4.75)$$

$$f_2 = \frac{1}{5}(1 - \Psi^5) \quad (4.76)$$

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

Böylece sabit devir sayısında iletebilen moment $f = f_1 + f_2 = \frac{1}{3}\phi(1 - \Psi^3) + \frac{1}{5}(1 - \Psi^5)$

ile değişmektedir.



Şekil 4.14. Sabit devir sayısında boşluk faktörü teorik boyutsuz moment eğrileri

Formül 4.71 ve Şekil 4.14'de görüldüğü gibi bir bilyalı santrifüj kavramanın sabit devir sayısında ileteceği moment boşluk faktörü $\Psi = r/R$ ile değişmektedir. Sabit boşluk faktörlerinde, kavramanın ileteceği moment devir sayısının karesi (n^2) ile değişmektedir. Kavramanın boşluk faktörü (Ψ) ve devir hızı (n) sabit tutulup, kavrama geometrisi faktörü $\phi = b/R$ değiştirilir ise tambur iç yüzeyinin ilettiği momentin artacağı fakat yan yüzeylerin ilettiği momentte bir değişimin olmayacağı görülmektedir.

Sonuç olarak tambur iç yüzeyinin ilettiği moment kavrama geometrisi faktörü ϕ ve boşluk faktörü Ψ ile değişirken, yan yüzeylerin ilettiği moment sadece boşluk faktörü Ψ ile değişmektedir.

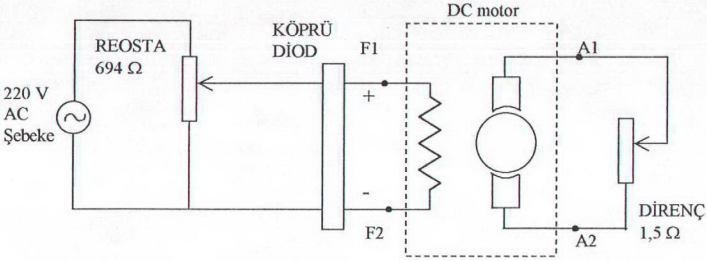
5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Düzenekinin Tanıtılması

Çalışma konusu olan bilyalı santrifüj kavramanın önce tasarımı yapılmış ve her bir elemanın yapım resimleri çizilmiştir. Söz konusu kavramanın üretimi F.Ü. Tek.Eğt. Fak. Atelyelerinde yapılmış bu arada bazı elemanlarının üretimi için Elazığ küçük sanayisinde bulunan atelyelerden yararlanılmıştır. Üretim ve montajı tamamlanan bilyalı santrifüj kavramanın performans karakteristiklerini çıkarmak için Şekil 5.4’de görülen deney seti kurulmuştur. Deney setinde temel elemanlar olarak; kanatlı çarka hareket vermek için 10 kW gücünde bir elektrik motoru ve kayış kasnak sistemi, eksen kaçıklıklarının sebep olduğu titreşimleri absorbe edecek bir lastik takoz bağlantılı esnek kavrama, bilyalı santrifüj kavrama çıkış milini yüklemek (frenlemek) için bir elektrikli dinamometre (bremze) tezgahı kullanılmıştır. Deneyler sırasında bir takım ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi için deney setine ilave düzenekler konulmuştur.

5.1.1. Elektrikli dinamometre

Deney ölçümlerinde maksimum $P=10$ kW ölçebilen, maksimum $n=4000$ dev/dak devir sayısında çalışan Cussons marka DC elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama bir elektrik motoru ile döndürülmekte olup, bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili bir esnek kavrama ile elektrik dinamometresi giriş miline bağlanmıştır. Böylece bilyalı santrifüj kavrama elektrikli dinamometre ile yüklenebilecek duruma getirilmiştir. Elektrikli dinamometrenin yüklenmesi, AC akımını DC akımına dönüştüren (köprü diod) bir voltaj dönüştürücüsü ile sağlanmaktadır (Şekil 5.1). Yükleme elektromotor kuvvet değiştirilerek gerçekleştirilmektedir. Bu kuvvet, elektrik dinamometresinin mil merkezinden 0,25 m mesafede çalışan ve istenildiğinde kalibre edilebilen yük hücreleri yardımı ile ölçülmektedir. Ölçülen bu kuvvetten yararlanılarak motor momenti $M = F \times 0,25$ (Nm) formülü ile hesaplanmıştır. Bu moment elektrik dinamometresi giriş milinden alınan moment olup, mil momenti veya fren momenti olarak adlandırılmaktadır.



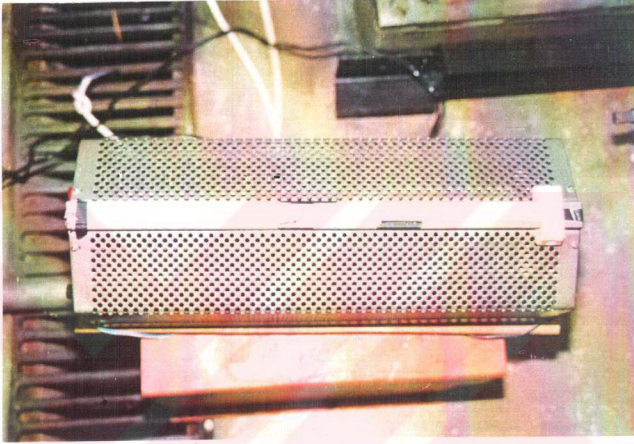
Şekil 5.1. Elektrikli dinamometre yükleme bağlantı şeması



Resim 5.1. Helisel direnç

Bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili tarafından döndürülen elektrikli dinamometre elektrik enerjisi üretmektedir. Bu elektrik enerjisi sisteme eklenen bir helisel dirençde ısıya dönüştürülerek harcanmaktadır. Direnç teli olarak 2 mm çapında, 3 metre uzunluğunda ve 1,5 Ω helisel sarılmış krom-nikel tel kullanılmıştır (Resim 5.1).

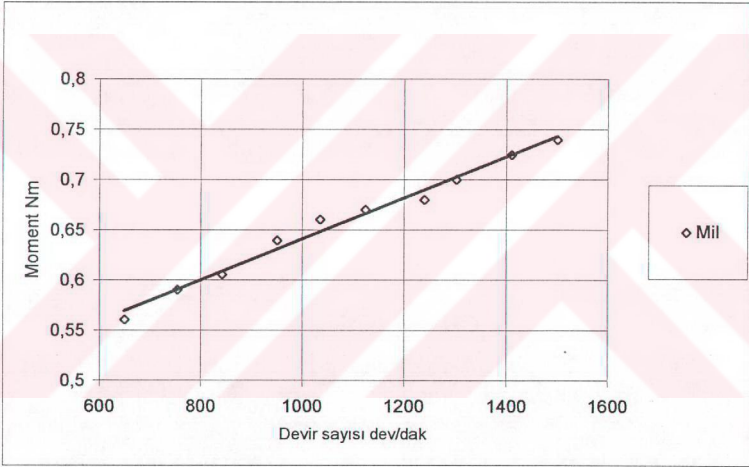
Deneyler sırasında elektrikli dinamometreyi yükleyerek kavrama çıkış milini frenlemek için 694 Ω 'luk 1,4 A akım çekme kapasitesine sahip bir sürgülü reosta kullanılmıştır (Resim 5.2). Bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili yükünü ayarlamak için, sürgülü reosta üzerindeki sürgü ile reosta direnci değiştirilerek elektrikli dinamometre tarafından kavrama frenlenmektedir.



Resim 5.2. Sürgülü reosta

Elektrikli dinamometre bir dengeleme düzeneğine bağlanmıştır. Elektrikli dinamometre rotoru, bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili tarafından döndürüldüğünde üretilen elektrik enerjisine bağlı olarak statorda zıt bir elektromotor kuvvet oluşur ve stator rotorun dönme yönünde dönmek ister. Bilyalı santrifüj kavramanın aktardığı gücü veya elektrik dinamometresinden çekilen elektriksel güç ne kadar fazla olursa; stator da o kadar büyük bir momentle dönmek ister. Stator bu şekilde oluşan moment, bilyalı santrifüj kavrama milindeki döndürme momentine eşittir. Bu momentin ölçülmesi amacıyla, stator iki ucundan serbestçe dönmesine imkan sağlayan yataklar üzerine oturtulmuştur. Statora etki eden moment, elektrikli dinamometrenin moment kolu bir baskül sistemine etki ettirilerek ölçülmektedir.

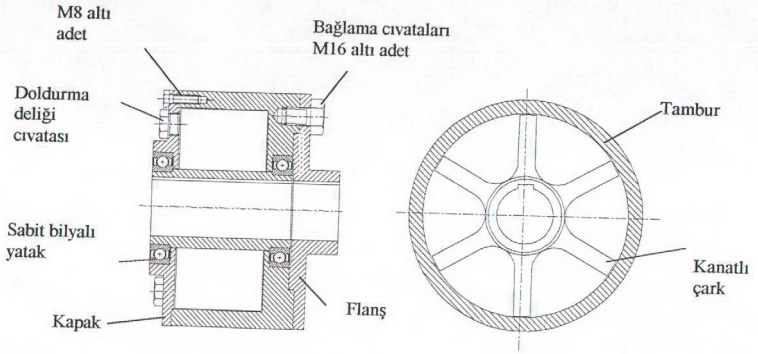
Elektrikli dinamometre boşta çalıştırılarak, elektrikli dinamometre rotorunun dönüş sırasında oluşturduğu atalet kuvveti ile ikaz sargılarındaki tabii mıknatıstan dolayı oluşan manyetik alanın sebep olduğu moment llmştr. Bunun llen kavrama momenti üzerindeki etkisini dikkate almak amacıyla moment devir sayısı arasındaki ilişki kalibrasyon eğrisi olarak çıkartılmıştır (şekil 5.2). Kalibrasyon deneylerinde dik yatak yuvalarına bağlanmış 50 mm çapında mil kullanılmıştır. şekil 5.2'deki kalibrasyon momenti elektrikli dinamometre rotor ve statorunu birleştiren rulmandaki sürtünme momenti ve rotor ve stator üzerindeki kutupların mıknatıs özelliğinden dolayı sürekli mevcut olan frenleme momentlerinin toplamıdır.



şekil 5.2. Elektrikli dinamometre kalibre diyagramı

5.1.2. Bilyalı santrifüj kavrama

Bilyalı santrifüj kavrama tambur, kanatlı çark, kapak, flanş, iki adet örtme kapaklı sızdırmaz sabit bilyalı yatak, bağlama cıvataları ve bir adet doldurma deliği cıvatasından ibarettir (şekil 5.3). Kanatlı çarkın kanat sayısı altıdır. Sabit bilyalı yataklar, tambur ve kapak içindeki yuvalarına tutuk geçme alıştırılmasıyla monte edilmiştir.



Şekil 5.3. Bilyalı santrifüj kavrama elemanları

Kanatlı çark tambur içine yerleştirildikten sonra, kanatlı çark milinin bir ucu tamburdaki sabit bilyalı yatağa, diğer ucu kapak yuvasındaki sabit bilyalı yatağa tutuk geçme olarak monte edilmiştir. Kapak ve tambur, altı adet M8 cıvata ile flanş ve tambur altı adet M16 cıvata ile biri birine bağlanmıştır. Bilyaların tambur içine doldurulması kapak üzerine konulan M20 cıvata sökülerek yapılmıştır. Bu cıvatanın dönme esnasında balans yapmaması için, kapağın karşı tarafına simetrik olarak ve aynı ölçülerdeki M20 cıvata başı kaynak edilmiştir.

Deneyde kullanılan bilyalı santrifüj kavramanın tambur iç yarı çapı $R=90$ mm ve iç genişliği $b=80$ mm'dir. Tambur, içi dolu silindir çelik kütükten iç kısmı tornada boşaltılarak imal edilmiştir. Kanatlı çark silindir kütükten tek parça olarak üretilmiştir. Kanat biçimini oluşturmak amacıyla silindir kütüğün kanatlar arası boşluğu freze tezgahında boşaltılmıştır. Kapak, flanş ve miller silindir kütüklerden torna tezgahında imal edilmiştir. Bilyalı santrifüj kavramanın montajlı toplam kütlesi 23,750 kg olarak tartılmıştır. Sadece kanatlı çarkın kütlesi ise 4,870 kg'dır.

5.1.3. V Kayış-kasnak mekanizması

Elektrik motoru mili ile bilyalı santrifüj kavrama döndüren mili arasındaki güç iletimi kademeli V kayış-kasnak mekanizması ile sağlanmıştır. V kayış kasnakları iki

kademli olup, V kayışı yuvaları genişliği 25 mm dir. V kayış kasnaklarının biri bilyalı santrifüj kavramanın döndüren miline diğeri elektrik motoru miline kama ile monte edilmiştir. Kasnakların bağlı bulundukları miller üzerinde kayarak eksenel hareket yapmamasını önlemek için mil ucuna eksen boyunca bir vida yuvası açılmış, kasnaklar mil ucundan cıvata ve rondela ile sıkıştırılmıştır. Elektrik motoru miline sıra ile bağlanan beş adet V kayış kasnağı kullanılmıştır. Ölçümler esnasında bilyalı santrifüj kavrama döndüren milinde sabit bir kademeli kasnak kullanılmış, kavrama giriş mili devir sayısını değiştirmek için elektrik motoru miline bağlı kademeli kasnaklar değiştirilmiştir. Her bir kademeli kasnaktan iki devir sayısı ve toplam on devir sayısı elde edilmiştir. Kasnak çaplarına bağlı olarak kavrama devir sayıları 653, 755, 846, 949, 1039, 1126, 1238, 1309, 1397, 1492 olarak hesaplanmıştır.

5.1.4. Elektrik motoru

Tasarımı yapılan bilyalı santrifüj kavrama boyutlarına göre moment iletme kapasitesi hesaplanmış, bulunan maksimum moment kapasitesinin iletimi için çok büyük güçte elektrik motoru gerektiği bulunmuştur. Bulunan bu değerler atelyemizde mevcut olan kavrama momentleri ölçümlerinde kullanılan elektrikli dinamometrenin ölçüm kapasitesinin (maksimum $M=30$ Nm) çok üzerindedir. Bu nedenle kavrama karakteristiğinin çıkarılması için, dinamometre kapasitesine uygun olarak kavramanın belirli bir moment iletim aralığında çalıştırılmasının yeterli olacağı kabul edilmiştir. Düşük değerlerdeki bu moment aralığı için elektrik motoru gücü tayin edilmiştir. Ayrıca yapılacak deneylerde bilyalı santrifüj kavramanın yük altında harekete başlayacağı ve şebekeden yüksek değerde akım çekeceği göz önünde bulundurularak, üç fazlı 10 kW gücünde, 1000 dev/dak nominal devirli ve 380 V gerilimle çalışan elektrik motoru seçilmiştir. İlk çalıştırmada elektrik motorunun kalkışı sırasında şebekeden çekilen akımı azaltmak amacıyla yıldız üçgen bağlantılı şalter kullanılmıştır. Elektrik motoru önce yıldız konumunda çalıştırıldıktan sonra şalter üçgen konumuna alınmıştır. Bu yönlendirme için 25 A'lık döner pako şalter kullanılmıştır.

Bilyalı santrifüj kavramaya hareket veren elektrik motorunun bağlandığı sehpa, beton zemine dört adet vidalı çelik dubel ile somunlu olarak bağlanmıştır. Elektrik motoru, sehpa üst yüzeyindeki lamalara açılmış iki adet cıvata kanalına, dört adet cıvata kullanılarak bağlanmıştır. Bu dört adet cıvata gevşetilerek, elektrik motorunun

sehpa üzerinde kendi eksenine dik doğrultusunda hareket etmesi sağlanmıştır. Ölçümler esnasında farklı devir sayıları elde etmek için V kayışının kademeli kasnaktaki yerinin değiştirilmesi veya kasnağın değiştirilmesi gerektiğinde, elektrik motorunun bağlandığı sehpanın üzerinde kaydırılmasıyla sağlanmıştır. Elektrik motoru mili ile bilyalı santrifüj kavrama milinin paralellliğini sağlamak ve kayış gerginliğini temin etmek için, elektrik motoru sehпасına çapraz bağlanmış iki adet vidalı çektirme kullanılmıştır.

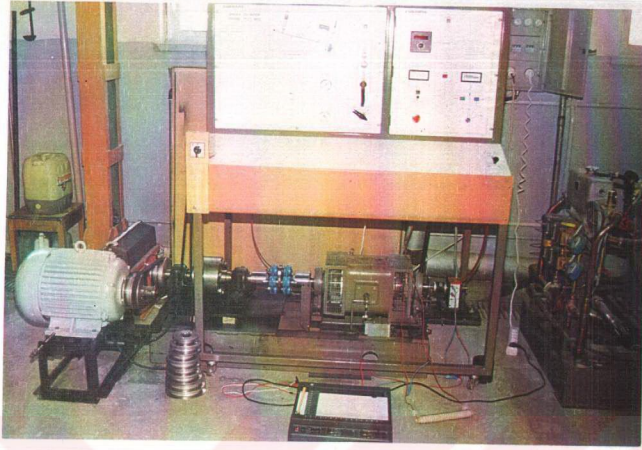
5.1.5. Takogeneratör

Bilyalı santrifüj kavramanın çıkış mili ile elektrik dinamometresi giriş mili, eksen kaçıklıklarının sebep olduğu mekanik titreşimlerin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla iki mil bir esnek kavrama ile birleştirilmiştir. Şekil 5.4 de görüldüğü gibi elektrik dinamometresinin sağ tarafındaki çıkış miline bir takogeneratör (3000 dev/dak ve 0-15 V) bağlanmıştır. Takogeneratör hareketini elektrikli dinamometre milinden almaktadır. Takogeneratörün dönmesi ile elde edilen gerilim, kablo bağlantısı ile plotere gönderilmektedir. Böylece ploterde bilyalı santrifüj kavrama çıkış milinin dönmeye başlamasıyla, tam kavrama gerçekleşinceye kadarki sürede, devir sayısı değişimi ile geçen zaman arasında grafikler çizilmiştir.

5.2. Deney Setinin Montajı

Bilyalı santrifüj kavramayı bağlamak amacıyla yüzey pürüzleri taşlanmış 10 mm kalınlığında çelik levha kullanılmıştır. 50x50 mm ölçülerinde köşebentten yatak bağlama köprüleri yapılmıştır. Üretimi yapılan bilyalı santrifüj kavramanın montajı belirli bir sırada yapılmıştır. Kavrama montajı sırasında önce döndüren ve dönen millerine manşon, oynak rulman, emniyet sacı takılmış sonra çektirme somun, manşona vidalanarak sıkılmıştır. Emniyet sacı üzerindeki tırnaklardan biri, çektirme somun üzerindeki uygun kanallardan birine eğilerek, işletim esnasında sistemin gevşeyerek sökülmemesi için emniyete alınmıştır. Giriş mili kavrama kanatlı çarkına, çıkış mili; flanşa kama ile bağlanmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama giriş milinin diğer ucuna kademeli V kayış-kasnağı takılmıştır.

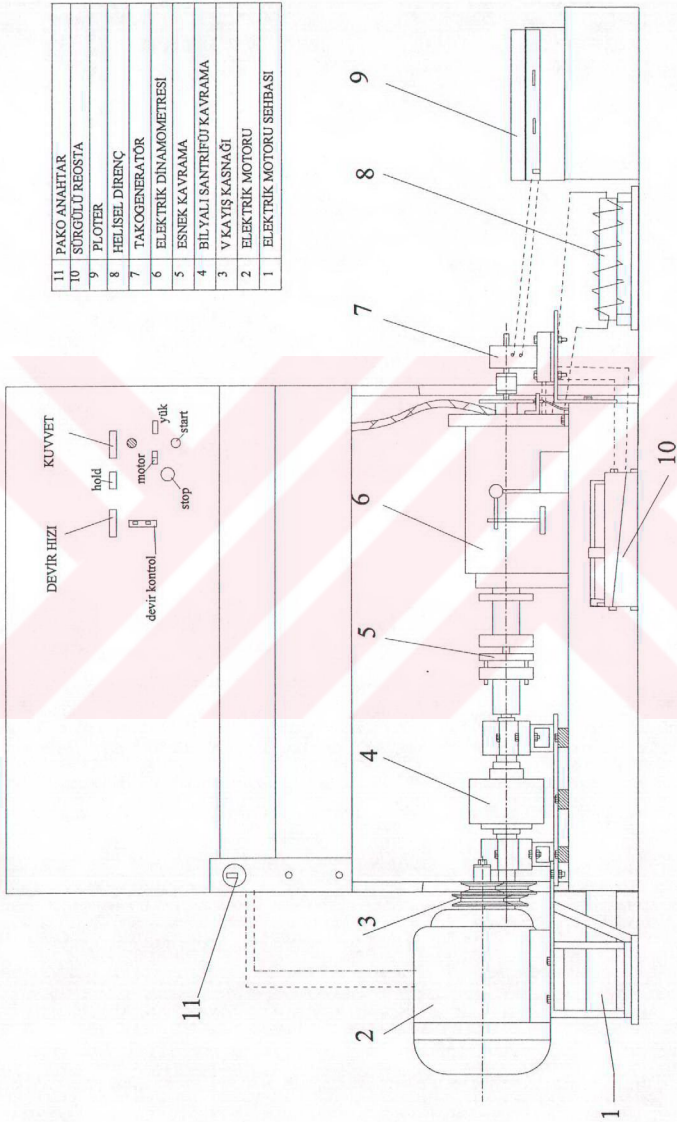
Kavrama giriş ve çıkış milleri üzerine yerleştirilen oynak rulmanlı yataklar, dik yatak yuvalarına yerleştirilerek rulmanlar gres yağı ile doldurulduktan sonra bu köprüler üzerine bağlanmıştır. Elektrikli dinamometre sehпасı ile bilyalı santrifüj kavrama



Resim 5.3. Deney seti

sehpası arasına, gürgen ağaçtan yapılmış 3 adet takoz yerleştirilerek, elektrik dinamometresi ile bilyalı santrifüj kavrama eksenleri aynı seviyeye getirilmiştir. Bilyalı santrifüj kavrama sehpası, elektrik dinamometresi sehpasına dört adet cıvata ile bağlanmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili ile elektrikli dinamometre arasına bir oynak lastikli kavrama yerleştirilerek, birleştirilen iki milin eksen kaçıklıklarının ve hareket verme mekanizmalarının sebep olduğu mekanik titreşimlerin elektrikli dinamometreye geçmesi önlenmiştir.

Takogeneratör tablası, bir dikkörtgen sac levha ve bir lama dik bir şekilde kaynak edilerek yapılmıştır. Takogeneratör tabla laması, elektrikli dinamometre sehпасının yan yüzeyine bir cıvata ve somunla bağlanmıştır. Elektrikli dinamometre mil eksenindeki vida yuvasına, imalatı yapılan vidalı mil bağlanmıştır. Vidalı milin mil kısmına, takogeneratörün dişli kavrama yarısı takılmış ve bir cıvata ile mile sabitlenmiştir. Dişli kavramanın diğer yarısı takogeneratör miline takılmış ve bir cıvata ile sabitlenmiştir. Bu iki kavrama yarısı bir dişli yuvalı özel lastik burç ile birleştirilmiştir. Bu lastik burç millere hareket serbestliği sağlamaktadır. Son olarak takogeneratör, cıvatarla takogeneratör tablasına bağlanmıştır.

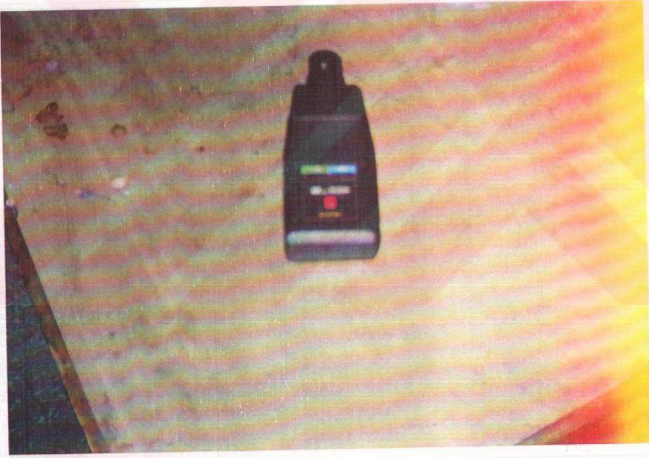


Şekil 5.4. Deney seti

5.3. Ölçümler ve Kontrol Teknikleri

Resim 5.3 de görülen deney setinde takometre, ploter, elektronik terazi ve moment ölçüm cihazı kullanılarak, bilyalı santrifüj kavrama giriş devir sayısı, çıkış devir sayısı, çıkış momenti, bilya kütlesi, bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresi ve dişli yağı miktarı ölçülmüştür. Ölçülen ve belirlenen değerler temel parametreler olarak alınan “boşluk faktörü $\Psi = \frac{r}{R}$ ”, “bilya çapı d” ve “devir sayısı n” göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu parametrelerin kavrama moment iletim karakteristiği üzerindeki etkisi incelenerek yorumlanmıştır.

5.3.1. Bilyalı santrifüj kavrama giriş ve çıkış devir sayılarının ölçülmesi



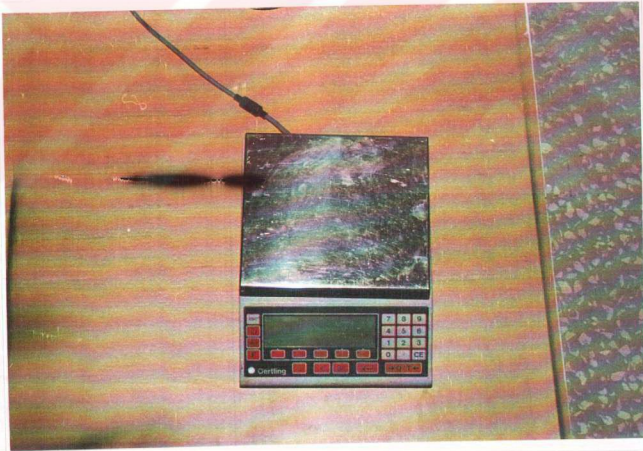
Resim 5.4. Dijital takometre

Bilyalı santrifüj kavramanın giriş ve çıkış devir sayısının ölçümünde, ölçüm aralığı 5-99999 dev/dak olan Taiwan yapımı Lutron marka DT-2234 foto tip dijital takometre kullanılmıştır (Resim 5.4). Ölçüm için bilyalı santrifüj kavrama döndüren

miline bağı V kayış kasnağının alın yüzeyine 5 mm genişliğinde bir fosforlu bant yapıştırılmıştır. Bu fosforlu bant yardımıyla dijital takometreden hareket halindeki kasnağın herhangi bir andaki devir sayısı okunmuştur. Bilyalı santrifüj kavrama çıkış devir sayısı ise bilyalı santrifüj kavrama kapağının alın yüzeyine 5 mm genişliğinde bir fosforlu bant yapıştırılarak, giriş devir sayısının ölçülmesinde olduğu gibi herhangi bir andaki çıkış devir sayısı ölçülmüştür.

5.3.2. Bilyalı santrifüj kavramanın bilya ile doldurulması

Deneylerde 4, 6 ve 8 mm çapında bilyalar kullanılmıştır. Dolumlarda kullanılan en büyük çaplı ($\phi 8$ mm) çelik bilyalardan 30 adedinin kütlesi tartıldığında $m=63,17$ gr olarak tartılmış, dolunlar için bu kütle esas alınmıştır. Deneylerde, bu çelik bilyalar kavrama doldurma deliğinden, kavramanın kanatlı çark bölmelerinin her birine eşit miktarda ($m=63,17$ gr) doldurulmuştur. Her bir deney başlangıcında aynı çaptaki bilyalardan toplam ($m=379$ gr) bilya, kanatlı çark bölmelerine doldurulmuştur. Ayrıca kanatlı çarkın bir bölmesine doldurulması gereken 63,17 gr kütle 3'e bölünerek 3 farklı

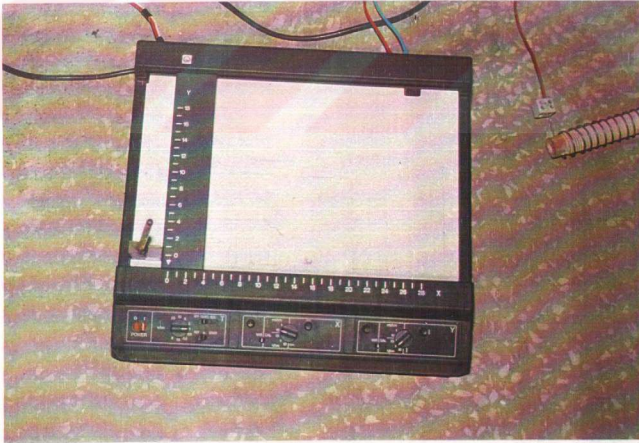


Resim 5.5. Elektronik terazi

çaptaki bilyalardan her bir bölmeye eşit miktarda (21,056 gr) doldurularak bir karışım meydana getirilmiş, bu karışımla da birtakım deneyler yapılmıştır. Her bir bilya çapı için, bilyalı santrifüj kavramaya sekiz eşit miktarda dolum yapılarak deneyler tekrarlanmıştır. Bilya kütlesi ölçümlerinde, Resim 5.5 de görülen dijital göstergeli Oertling marka, 1/100 gr hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır.

5.3.3. Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinin ölçülmesi

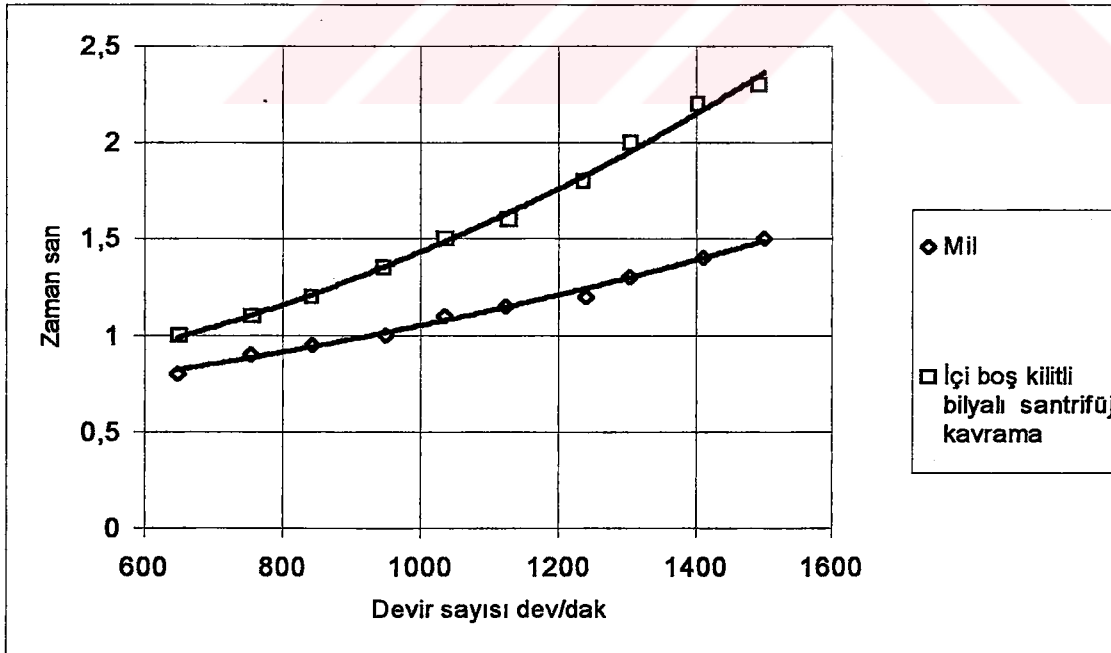
Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinin ölçülebilmesi için elektrikli dinamometre çıkış miline monte edilen bir takogeneratörden elde edilen gerilim, bir Leybold marka ploter yardımıyla devir sayısı-zaman grafiklerine dönüştürülmüştür (Resim 5.6). Ploter üzerinde, kalemin üzerine bağlandığı bir parça (x) ve (y) yönünde hareket edebilmektedir. Ploter üzerindeki start düğmesi aktif konuma getirildiğinde, başlangıç konumundaki kalem yatay hareket etmektedir. Kalem düğmesi aktif konuma getirildiğinde, takogeneratörden gelen gerilime göre, kalem kağıda grafiği çizmeye başlar. Şayet deney seti çalışmıyorsa start düğmesi aktif konuma getirildiğinde, takogeneratörde gerilim üretilmeyeceğinden kalem yatay çizgi çizmektedir. Bilyalı santrifüj kavramalar hareket veren güç kaynağı ile hareket alan sistem milleri arasına



Resim 5.6. Ploter

bağlandıklarında hareket geçişinin tedrici olmasını sağlarlar. Bu tarz bir hareket geçişi güç kaynağının ani yüklenmesini önleyerek, daha emniyetli çalışmasını ve güç kaynağı olan motora yük altında rahat bir kalkış imkanı verir. Bu, hareket sıfırdan başlayarak gittikçe artması ve maksimum devir sayısına ulaşması ile sonuçlanır. Böyle bir hareket iletim tarzı mekanik hareket iletim mekanizmalarındaki darbeli yüklenmeyi ve sesli bir kavramayı önler.

Elektrik motoru hareketin başlangıcındaki düşük devir sayılarında, momentin hemen hemen tümünü kendini hızlandırmada kullanır. Elektrik motoru sadece yüksek devir sayılarında yükü hızlandırır. Bilyalı santrifüj kavramada kanatlı çarkın dönmeye başlamasından az bir süre sonra da tambur hareket etmeye başlar ve tamburun nominal devir sayısına ulaşması için geçen süreye kayma süresi denir. Elektrik motoru kanatlı çarkı döndürmeye başladığında bölmeleri içindeki bilyalar merkezkaç kuvvet tesir ile tambur iç yüzeyine karşı bir basınç uygularlar ve bilyalarda yuvarlanma sürtünmesi ile birlikte kayma meydana gelir. Bilyalı santrifüj kavramanın nominal devir sayısına ulaşması için geçen süreye devreye girme veya harekete başlama süresi denir. Bilyalı santrifüj kavramanın içi boş, tambur ile kanatlı çark biri birine kilitlenmiş ve yüksüz durumda iken; ayrıca 50 mm çapında ve iki dik yatak yuvasına yataklanmış milin



Şekil 5. 5. Deney mili ve içi boş kilitli bilyalı santrifüj kavramanın yüksüz devreye girme süreleri

devreye girme süreleri Şekil 5.5’de görülmektedir. Bilyalı santrifüj kavramanın kütleli atalet momenti mile göre daha büyük olduğundan devreye girme süresi daha uzundur.

Bilyalı santrifüj kavrama yük altında harekete geçirildiğinde, çıkış mili elektrikli dinamometre tarafından frenlenmeye zorlanacaktır. Bu durumda kavrama çıkış milini nominal hıza ulaştırmak için, kanatlı çark ve bilyaların tamburu daha büyük bir sürtünme kuvveti ile döndürmeye zorlaması gerekecektir. Yük arttıkça, tamburun döndürülmesi için gerekli sürtünme kuvvetinin de artması gerekecektir. Bu, sabit dolum faktörlerinde ve sabit devir sayısında yük arttıkça kayma süresinin artması ile sonuçlanır. Bilyalı santrifüj kavrama moment iletim kapasitesine yakın yüklemelerde, kayma süresi aşırı olarak artmaktadır. Kayma momenti sınır değerleri aşılarak bilyalı santrifüj kavramanın yüklenmesi halinde kavramanın sürekli kaydığı, döndürülen milin devir sayısının, döndüren milin devir sayısına hiçbir zaman ulaşmadığı görülmüştür. Yük daha fazla artırıldığında giriş ve çıkış milleri arasındaki devir sayısı farkı gittikçe artmaktadır. Belirli yük ve dolum miktarlarında, bilya çaplarının kayma süresi üzerinde hissedilir bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yüksüz durumda, nominal devir sayısına ulaşıncaya kadar geçen kayma süresi hemen hemen lineer olarak gerçekleşmektedir (Ek 8, 9, 10, 11).

Farklı çalışma koşulları bilyalı santrifüj kavrama kayma süresi üzerinde etkilidir. Yapılan deneylerde, sabit yük momentinde bilyalı santrifüj kavrama içerisine doldurulan bilyaların miktarı artırıldıkça kayma süresinin azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde sabit yük momentinde artan devir sayısı ile kayma süresinin azaldığı görülmüştür. Bilyalı santrifüj kavrama içerisine doldurulan bilyaların artan devir sayısı ile birlikte merkezkaç kuvvetleri artar. Bilyalar tambur iç yüzeyine daha büyük bir kuvvetle bastırılır, sonuçta tamburu döndürmeye çalışan sürtünme kuvveti de yükselir. Bilyalı santrifüj kavramanın döndürülen parçaların kütleli momentleri arttıkça kavramanın kayma süresi de artacaktır. Bilyalı santrifüj kavramanın kayma süreleri, kayma momentinin tespitinde yardımcı olmuştur. Bu çalışmanın amacı kayma momentlerinin tespiti olduğundan, devreye girme süreleri ile ilgili bir işlem yapılmamıştır.

5.4. Deneylerin Yapılması

Bilyalı santrifüj kavramanın temel elemanları tambur, kanatlı çark ve bilyalardır. Bilyalı santrifüj kavrama doldurma deliğinden, tambur içindeki kanatlı çark bölmeleri içine eşit miktarlarda bilyalar doldurulmuştur. Bilyalı santrifüj kavramada hareket iletimi, elektrik motoru ve V kayış kasnak mekanizması ile sağlanmaktadır. Giriş miline kama ile bağlanan kanatlı çark hareket verme mekanizması tarafından döndürüldüğünde, kanatlı çark bölmeleri içindeki bilyalar merkezkaç kuvvet tesiriyle tambur iç yüzeyine baskı kuvveti uygularlar. Tambur iç yüzeyi ve bilyalar arasındaki sürtünme kuvvet bağı tamburu döndürmeye başlar. Tambur devir sayısı, kanatlı çark devir sayısına, bilyalı santrifüj kavrama yüküne ve boşluk faktörüne bağlı olarak gittikçe hızlanır. Bir süre sonra tambur devir sayısı kanatlı çark devir sayısına eşit olur. Bu süre içinde bilyalar tambur iç yüzeyinde yuvarlanarak ve kayarak hareket ederler. Tambur devir sayısı kanatlı çark devir sayısına eşitlendiğinde bilyaların kayması durur. Bu andan itibaren sistem kilitlenerek tambur ve kanatlı çark rijit bir kavrama gibi hareket ederler.

Harekete başlama esnasında tambur devir sayısı, kanatlı çark devir sayısına ulaşmaya kadar tambur iç yüzeyi ile bilyalar arasında sürtünme aşınması meydana gelmektedir. Bilyalı santrifüj kavramanın çalıştırdığı makina veya sistemin aşırı yüklenmesi, kilitlenmesi veya bozulması durumunda aşınmanın artacağı açıktır. Bilyalı santrifüj kavramada birinci moment aktarıcı fazı olan bilyalara dişli yağı ilave edilerek iki fazlı moment aktarıcısı elde edilmiştir. Dişli yağının ilave edilmesiyle bilyalı santrifüj kavramada sürtünme aşınmalarının minimuma indirilmesi amaçlanmıştır.

Dolumlarda kullanılan en büyük çaplı ($\phi 8$ mm) çelik bilyalardan 30 adedinin kütlesi tartıldığında $m=63,17$ gr olarak tartılmıştır, dolumlar için bu kütle esas alınmıştır. Her bir dolum için, bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark bölmelerinin her birinin içine 63,17 gr ve tamamına $63,17 \times 6 = 379$ gr çelik bilya doldurulmuştur.

Deneyler her bir farklı çaplı bilyalar için (4, 6, 8 mm) sekiz dolumda yapılmıştır. Her bir dolumda, bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark bölmeleri içine doldurulan bilyaların çap, adet ve kütlesi Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de gösterilmiştir.

Ayrıca üç farklı çaptaki bilyaların her birinden $\left[\frac{63,17}{3} = 21,06 \right]$ gr eşit kütlelerin

alınmasıyla bilya karışımı elde edilmiştir. Bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark bölmelerine bu karışım doldurulmuştur. Bu karışımla da yapılan deneylerde çeşitli devir sayılarındaki kayma momentleri tespit edilmiş, sadece karışımın kayma momentleri ile farklı bilya çapları için yapılan deneylerde ölçülen kayma momentleri karşılaştırılmıştır. Bu nedenle karışım ile ilgili fazla detaya girilmemiştir.

Tablo 5.1. 4 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri

Bilya çapı: 4 mm								
Dolum sırası	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Boşluk faktörü	0,9802	0,9597	0,9396	0,9199	0,8998	0,8795	0,8588	0,8378
Bilya sayısı	1440	2880	4320	5760	7200	8640	10080	11520
Bilya kütlesi kg	0,379	0,758	1,137	1,516	1,895	2,274	2,653	3,032

Tablo 5.2. 6 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri

Bilya çapı: 6 mm								
Dolum sırası	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Boşluk faktörü	0,9792	0,9592	0,938	0,9181	0,8976	0,8772	0,8563	0,835
Bilya sayısı	426	852	1278	1704	2130	2556	2982	3408
Bilya kütlesi kg	0,379	0,758	1,137	1,516	1,895	2,274	2,653	3,032

Tablo 5.3. 8 mm çaplı bilyada dolum sayısı verileri

Bilya çapı: 8 mm								
Dolum sırası	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Boşluk faktörü	0,9802	0,9597	0,9361	0,9156	0,895	0,874	0,8526	0,831
Bilya sayısı	180	360	540	720	900	1080	1260	1440
Bilya kütlesi kg	0,379	0,758	1,137	1,516	1,895	2,274	2,653	3,032

Deney sırasında, santrifüj kavramanın devreye girme süresinde oluşan kaymalar, aşırı yüklemekten dolayı oluşacak kaymalar veya herhangi bir olumsuzluk anında meydana gelebilecek sürtünmelerin neden olacağı aşınmaları minimuma indirmek için doldurma deliğinden $m=50$ gr dişli yağı doldurulmuştur.

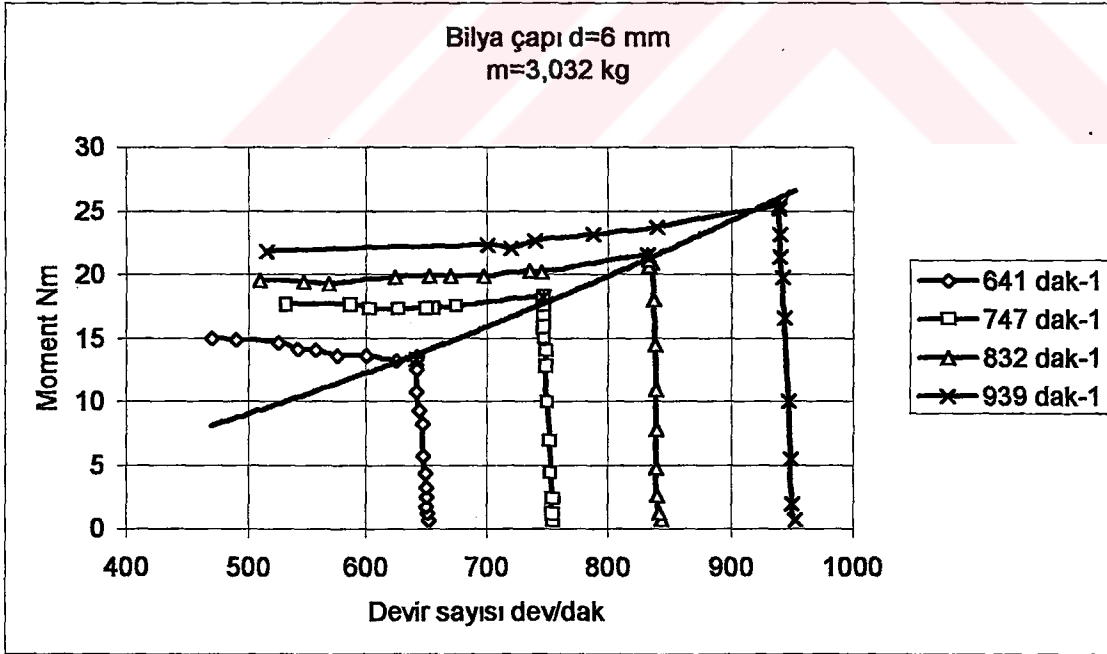
Sürgülü reosta sürgüsü üzerine 1 cm bölüntülü ve 20 cm uzunluğunda bir cetvel ilave edilmiştir. Deneylerde, gerçek ölçümler yapılmadan önce bir ön deneyle bilyalı santrifüj kavramanın kaymaya başladığı bölge, sürgülü reosta üzerindeki bölüntülü cetvelden yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Sürgülü reosta sıfır konumunda olduğunda yük direnci sıfırdır. Ploter'e milimetrik bölüntülü kağıt yerleştirilmiş ploter kalem hareket ettirilmiş ve kalem yatay çizgi çizmeye başlamıştır. Pako şalter yıldız konumuna getirilerek elektrik motoru çalıştırılmış, daha önce (x) zaman ekseninde hareket eden ploter kalem (y) ekseninde devir sayısı değişimini de çizmeye başlamıştır. Elektrik motorunun kalkışı sağlandıktan sonra pako şalter yıldız konumundan üçgen konumuna getirilmiştir. Ploter üzerindeki kalemin y eksenindeki ilerleyişinin, bilyalı santrifüj kavrama devir sayısının yükselmesi ile birlikte arttığı görülmüştür. Bilyalı santrifüj kavrama sabit devir sayısına ulaştığında, ploter kalem yatay çizgi çizmeye başlamıştır. Göstergeden F kuvveti değeri ve takometre ile giriş ve çıkış devir sayıları okunarak, ilgili grafik eğrisinde gösterilmiştir.

Bilyalı santrifüj kavramayı yüklemek için, sürgülü reostanın sürgüsü hareket ettirilerek devreye giren direnç miktarı artırılmıştır. Yukarıda açıklanan işlem sırası uygulanarak ploter kalemine kayma süresinin devir sayısına göre değişim grafiği çizdirilmiştir. Daha sonra tekrar, bilyalı santrifüj kavrama giriş ve çıkış devir sayıları ölçülerek, F kuvveti değeri ile birlikte ilgili grafikte gösterilmiştir. Bu işlem ön deneyde tespit edilen kayma bölgesine yaklaşıldıkça, çizilen grafiklerden de belli olmaktadır, sürgülü reosta ile yüklenen kavramanın yük değeri aralıkları azaltılarak, gerçeğe yakın kayma noktası elde edilmeye çalışılmıştır. Çizilen grafiklerde görülen, döndüren ve döndürülen kısımların devir sayısı değişim eğrileri ve değerleri esas alınarak bilyalı santrifüj kavramanın belirlenen şartlardaki kayma momenti tespit edilmiştir. Bilyalı santrifüj kavrama giriş mili devir sayısının, kayma momenti üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, elektrik motoru miline bağlı kasnak değiştirilerek farklı giriş devirleri elde edilmiştir. Deneyler tekrarlanarak farklı giriş devirleri için kavramanın

kayma momenti ölçülmüştür. Yapılan deneylerde sistemin moment ölçüm kapasitesinin max 30 Nm olduğu görülmüştür.

Şekil 5.6 da, 6 mm çaplı bilya ile $m=3,032$ kg ve $\psi=0,835$ boşluk faktöründe yapılan deneylerde momentin devir sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi deneyler dört farklı devir sayısında yapılmıştır. Şekil 5.6 incelendiğinde her bir devir sayısı kademesinde kayma momenti noktasına kadar momentin dikey olarak arttığı, kayma momenti noktasından sonra momentin fark edilebilir ölçüde değişmediği yatay ve sabit konuma geçtiği görülmektedir. Bilyalı santrifüj kavrama iç yüzeyinin ve bilyaların pürüzlülüklerle dolu olduğu düşünülürse, sükunet halinde bu yüzey pürüzlerinin biri birine iyice geçtiği söylenebilir. Hareket halindeki cisimlerin ise yüzey pürüzleri biri birine iyice geçme imkanı bulamaz, bu nedenle statik sürtünme katsayısı kinetik sürtünme katsayısından daha büyük olduğu bilinen bir gerçektir.

Bilyalı santrifüj kavrama moment iletme sırasında, çıkış mili sükunet halinden harekete geçmekte ve giriş mili devir sayısına ulaşınca kadar hızlanmaktadır. Bu hızlanma sırasında bilyaların merkezkaç kuvvetin etkisi ile oluşan, bilyalar ve tambur



Şekil 5. 6. Bilyalı santrifüj kavramanın kayma momentinden önce ve sonra ilettiği momentler

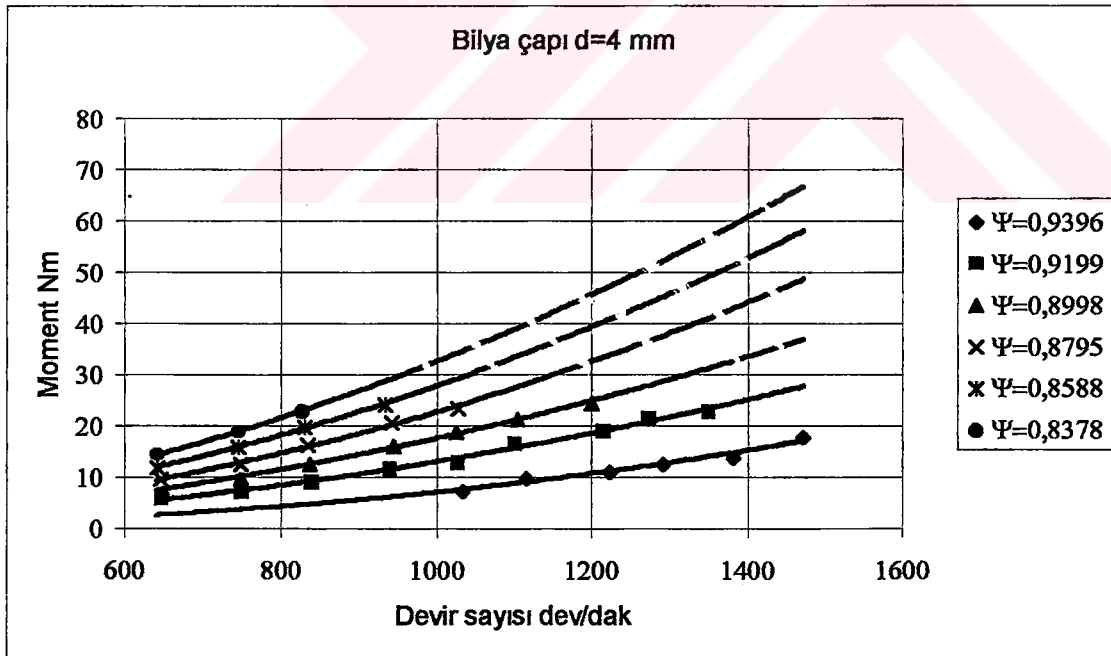
yüzeyi arasındaki sürtünme kuvveti de artacaktır. Bilyalı santrifüj kavrama kayma kadar moment iletiminin düşey olarak artması bunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Kayma noktasından sonra momentin değişmesi; bilyaların tambur yüzeyi üzerinde kayarak hareket etmesi sonucu sürtünme katsayısının azalması düşüncesine uygun gelmektedir.

Bu nedenle kayma momenti noktasına kadar olan bölgede, statik sürtünme katsayısı, kayma momenti noktasından sonraki bölgede kinetik sürtünme katsayısının geçerli olduğu söylenebilir. Statik sürtünme katsayısı, bilyalar ve tamburun sürtünen yüzeyinin şekline bağlı değildir; fakat sürtünen yüzeylerin yüzey pürüzlülük kalitesine yani pürüzlülüğüne bağlıdır.

Kinetik sürtünme katsayısı, sürtünen yüzeylerin yüzey pürüzlülük kalitesinden başka kayma devir sayısına ve yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Kayma momenti noktasında bilyalı santrifüj kavramanın giriş ve çıkış devir sayıları arasındaki hız farkı sıfırdır. Bu noktadan sonra kayma ve devir sayısı farkı artmaktadır. Kavrama giriş ve çıkış devir sayıları arasındaki farkın artması ile birlikte, kinetik sürtünme katsayısı küçüleceğinden iletilen moment de azalacaktır. Bu Şekil 5.6'da $n=939$ dev/dak devir sayısı için çizilen grafikte açıkça görülmektedir.

Tablo 5.4. 4 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri

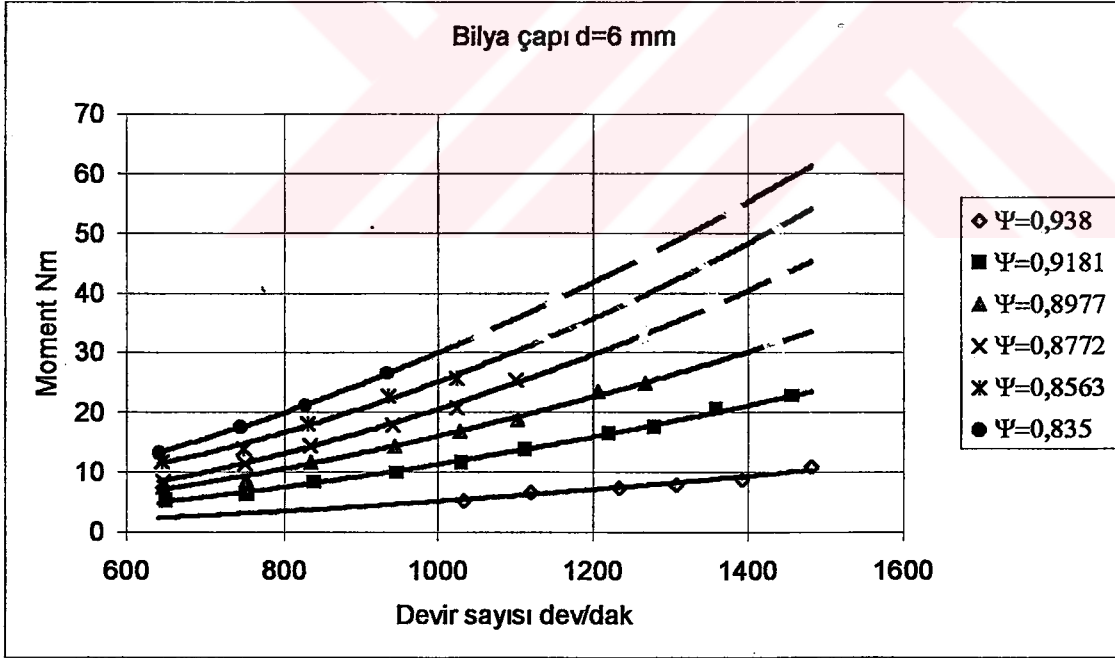
$\Psi=0,9396$		$\Psi=0,9199$		$\Psi=0,8998$		$\Psi=0,8795$		$\Psi=0,8588$		$\Psi=0,8378$	
m=1,137 kg		m=1,516 kg		m=1,895 kg		m=2,274 kg		m=2,653 kg		m=3,032 kg	
n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
		648	5,75	648	7,65	647	9,65	642	11,85	642	14,35
		750	7,05	748	9,8	748	12,43	746	15,93	745	18,7
		838	9,13	837	12,5	835	16,15	831	19,73	826	22,95
		940	11,7	944	16,13	941	20,65	934	24,17		
1032	7,33	1027	12,98	1024	18,68	1026	23,35				
1114	9,7	1101	16,43	1103	21,23						
1223	11,03	1214	18,88	1200	24,28						
1290	12,43	1272	21,55								
1380	13,85	1349	22,75								
1471	17,8										



Şekil 5.7. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı- kayma momenti eğrileri

Tablo 5.5. 6 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri

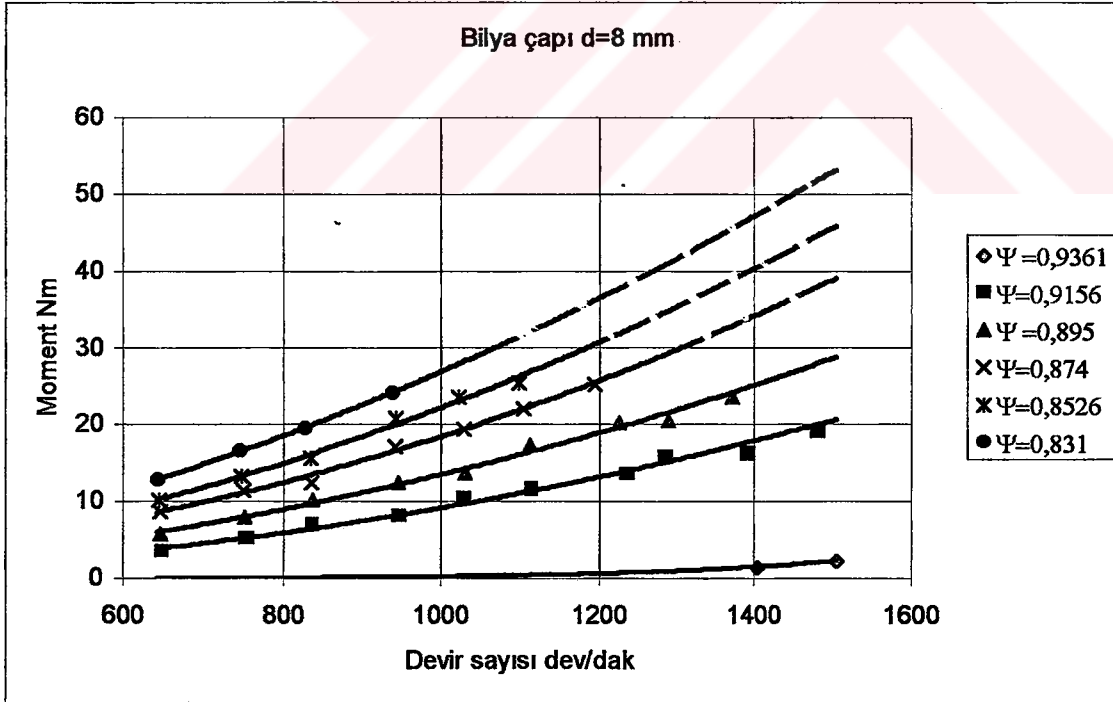
$\Psi=0,938$		$\Psi=0,9181$		$\Psi=0,8977$		$\Psi=0,8772$		$\Psi=0,8563$		$\Psi=0,835$	
m=1,137 kg		m=1,516 kg		m=1,895 kg		m=2,274 kg		m=2,653 kg		m=3,032 kg	
n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
		650	5,3	646	7,45	646	8,45	644	11,78	642	13,33
		751	6,25	750	8,55	749	11,53	748	13,9	744	17,6
		838	8,18	834	11,65	833	14,48	831	18	828	21,08
		946	9,78	943	14,28	941	17,85	935	22,73	934	26,48
1033	5,23	1031	11,7	1027	16,75	1024	20,83	1023	25,83		
1120	6,7	1113	13,83	1103	18,75	1100	25,5				
1233	7,3	1220	16,4	1205	23,5						
1306	7,8	1278	17,63	1266	24,93						
1392	8,75	1359	20,6								
1482	10,95	1456	22,73								



Şekil 5.8. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı- kayma momenti eğrileri

Tablo 5.6. 8 mm çaplı bilyada moment devir sayısı verileri

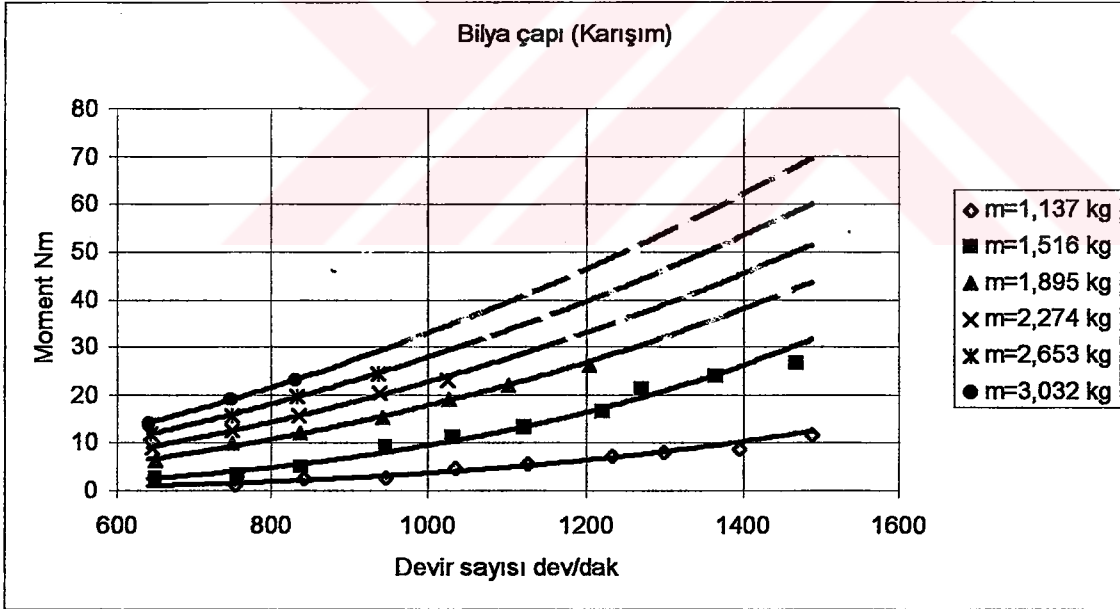
$\Psi=0,9361$		$\Psi=0,9156$		$\Psi=0,895$		$\Psi=0,874$		$\Psi=0,8526$		$\Psi=0,831$	
$m=1,137 \text{ kg}$		$m=1,516 \text{ kg}$		$m=1,895 \text{ kg}$		$m=2,274 \text{ kg}$		$m=2,653 \text{ kg}$		$m=3,032 \text{ kg}$	
n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
		649	3,45	646	5,7	646	8,65	645	10,13	644	12,78
		753	5,15	751	7,95	750	11,35	748	13,28	746	16,58
		838	7	838	10,13	836	12,43	834	15,55	828	19,45
		947	8,13	945	12,35	941	17,15	942	20,68	938	24,08
		1028	10,45	1030	13,65	1028	19,3	1022	23,5		
		1114	11,7	1111	17,3	1104	22,05	1098	25,33		
		1234	13,45	1225	20,15	1193	25,23				
		1284	15,7	1287	20,4						
1404	1,45	1390	16,25	1371	23,58						
1504	2,2	1480	19,12								



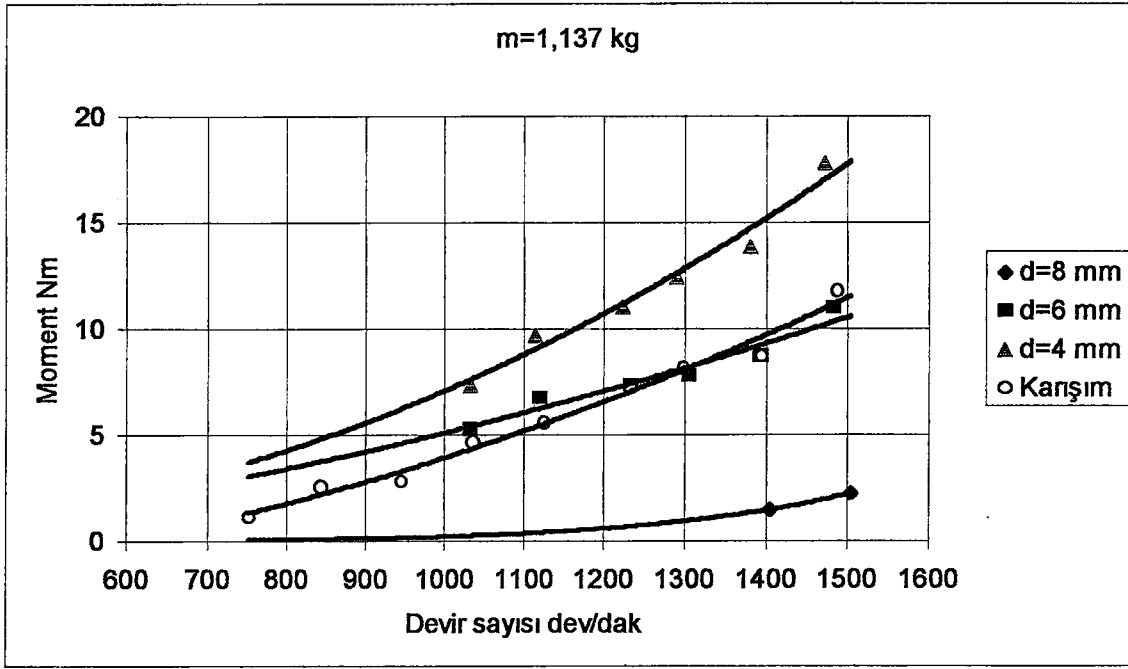
Şekil 5.9. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı- kayma momenti eğrileri

Tablo 5.7. (Karışım) bilyalarda moment devir sayısı verileri

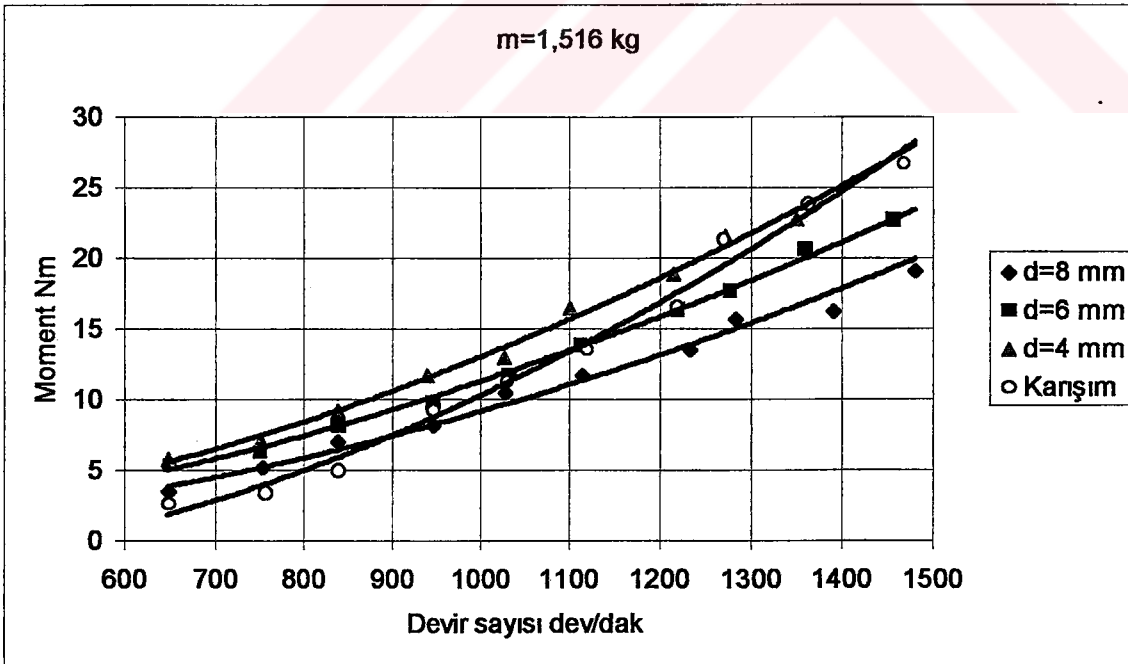
m=1,137 kg		m=1,516 kg		m=1,895 kg		m=2,274 kg		m=2,653 kg		m=3,032 kg	
n	M	n	M	n	M	n	M	n	M	n	M
		649	2,6	650	6,2	645	9	643	11,87	641	14,13
753	1,125	755	3,42	749	9,87	749	12,65	749	15,75	746	19,07
842	2,57	838	4,98	837	12,2	835	15,67	833	19,77	831	23,03
946	2,77	947	9,2	942	15,25	938	20,32	937	24,43		
1035	4,65	1030	11,25	1026	19,02	1025	23,17				
1126	5,58	1120	13,45	1101	21,87						
1233	7,18	1219	16,55	1203	26,2						
1299	8,15	1270	21,32								
1395	8,7	1363	23,87								
1488	11,75	1468	26,7								



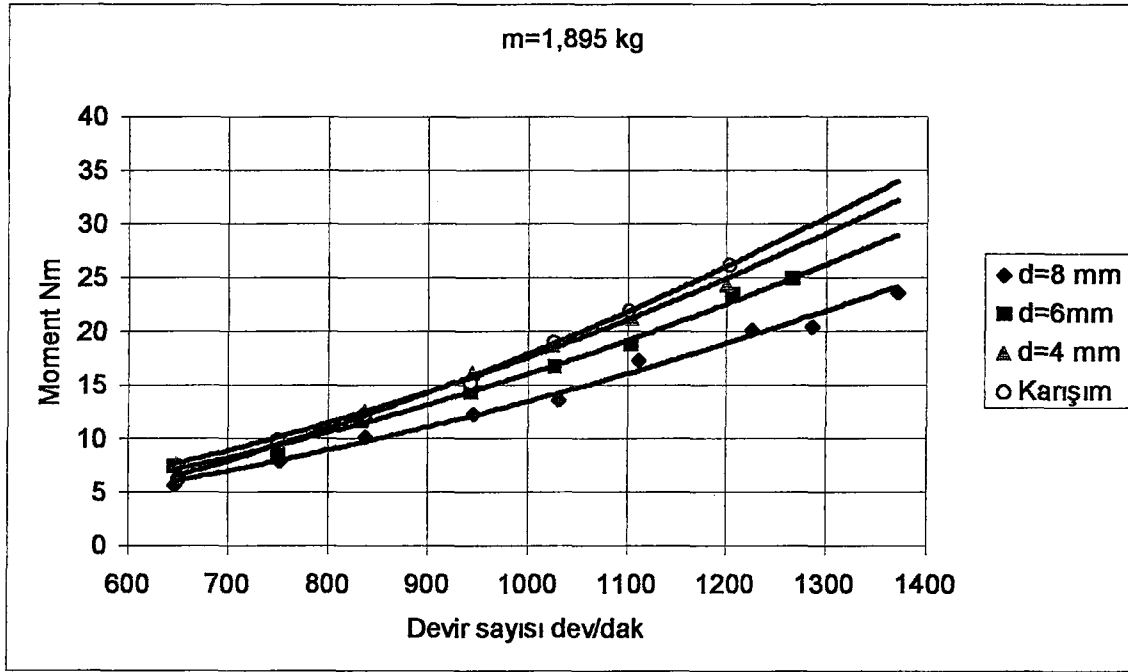
Şekil 5.10. Sabit boşluk faktörlerinde devir sayısı- kayma momenti eğrileri



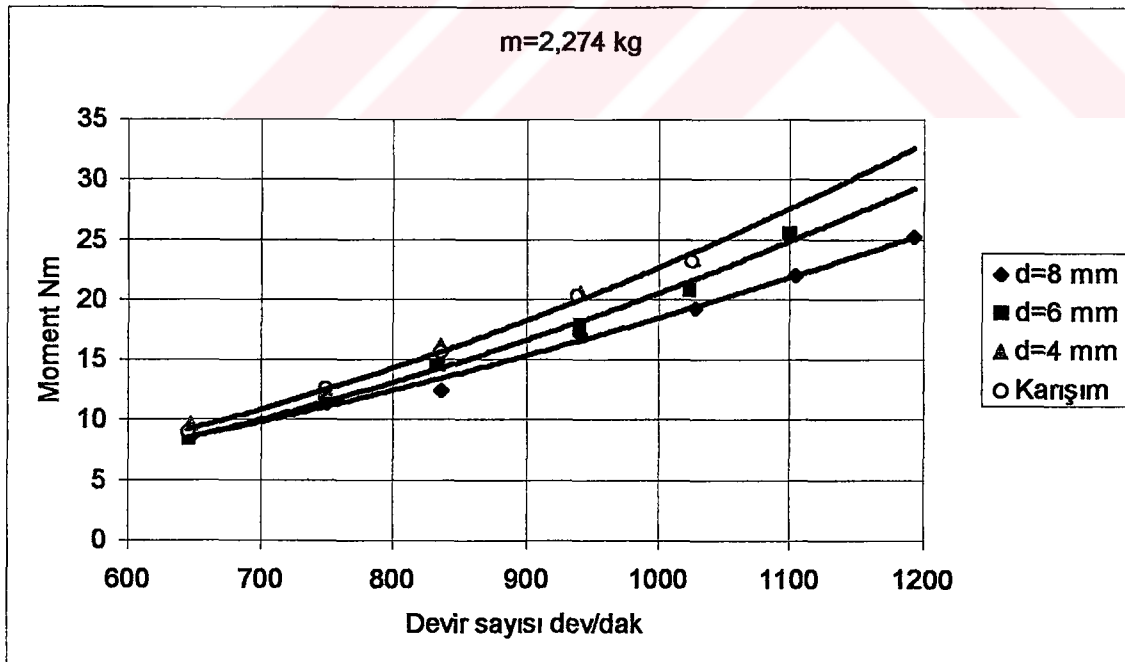
Şekil 5.11. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı kayma momenti eğrileri



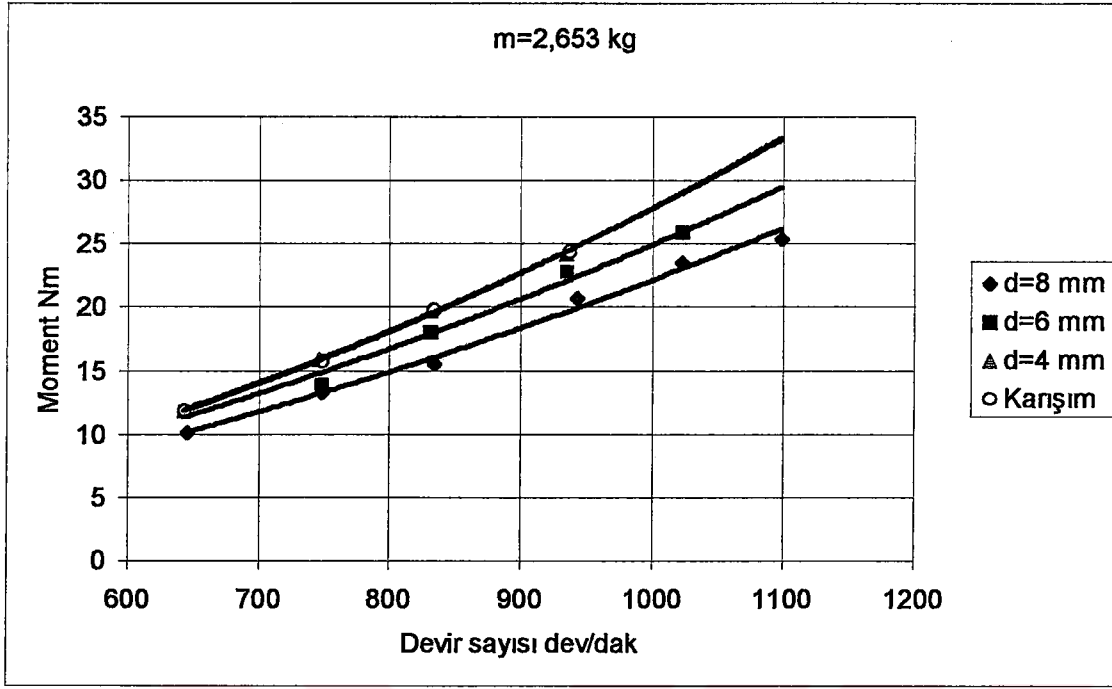
Şekil 5.12. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı kayma momenti eğrileri



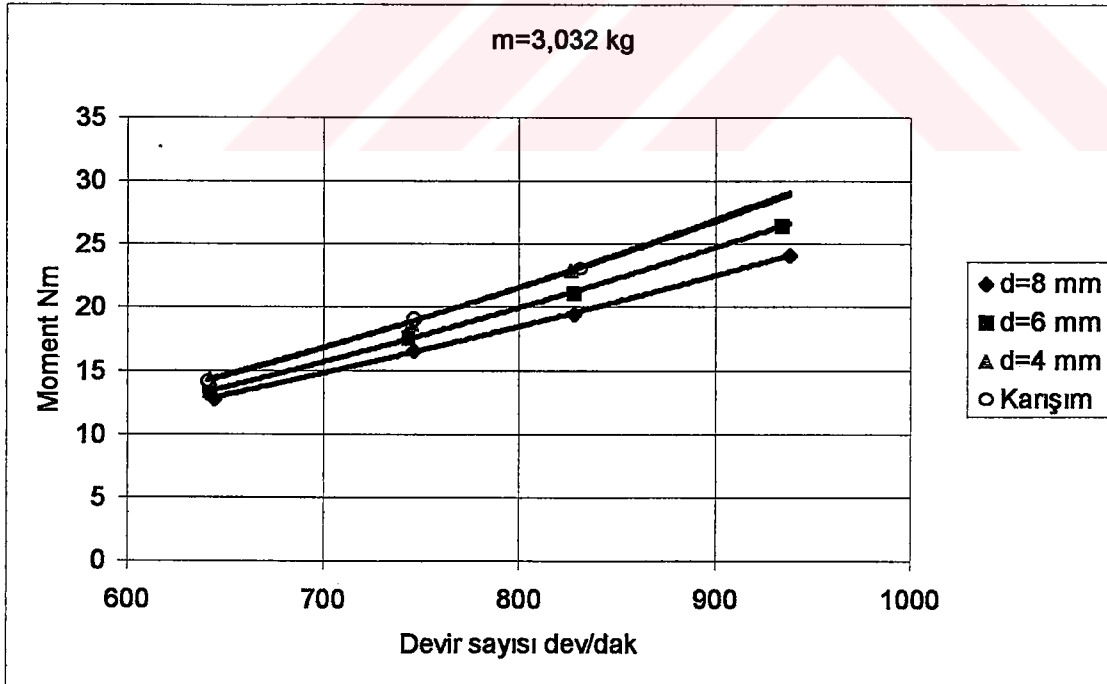
Şekil 5.13. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı kayma momenti eğrileri



Şekil 5.14. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı kayma momenti eğrileri



Şekil 5.15. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı- kayma momenti eğrileri



Şekil 5.16. Farklı bilya çaplarındaki devir sayısı kayma momenti eğrileri

5.5. Bilyalı Santrifüj Kavramanın Moment İletim Kapasitesini Etkileyen Faktörler

Üretimi yapılan bilyalı santrifüj kavramanın moment iletim büyüklüğü ve karakteristik özelliklerini tespit etmek amacıyla bir takım deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde bilyalı santrifüj kavramanın boyutları, geometrisi ve kütlesi gibi üretime bağlı faktörlerin etkisi incelenmiştir. Ayrıca devir sayısı, boşluk faktörü ve bilya çapı gibi işletme şartları değiştirilmiştir. Bunların bilyalı santrifüj kavrama performansına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

5.5.1. Bilyalı santrifüj kavrama boyutlarının etkisi

5.5.1.1. Bilyalı santrifüj kavramanın döndürülen kütlesinin etkisi



Resim 5.7. Bilyalı santrifüj kavrama

Resim 5.7 de bilyalı santrifüj kavramanın kanatlı çark ve tambur parçaları görülmektedir. Elektrik motoru çalıştırıldığında V kayış kasnak mekanizması vasıtasıyla kanatlı çark döndürülür. Kanatlı çarkın bölmeleri içindeki bilyalar da hareket etmeye

başlar. Kanatlı çark devir sayısına bağlı olarak bilyalar, merkezkaç kuvvet tesiriyle çevreye doğru savrularak tambur iç yüzeyine bir baskı kuvveti uygularlar. Tambur iç yüzeyi ve bilyalar arasında meydana gelen sürtünme kuvvet bağı tamburu döndürmeye başlar.

Bilyalı santrifüj kavrama bilya ile doldurulmadığı veya az miktarda bilya ile doldurulduğunda, kavrama giriş milinin dönme hareketini, çıkış miline bir kayıpla ilettiği görülmüştür. Şekil 5.5 de gösterildiği gibi elektrikli dinamometrenin rulman sürtünme momenti ile rotor ve stator mıknatısları üzerinde sürekli mevcut olan frenleme momentlerinin hareket geçişine karşı koyduğu söylenebilir. Bilyalı santrifüj kavramanın boşluk faktörü fazla olduğunda, kavrama elektrikli dinamometre ile frenlenmediği (yüklenmediği) halde, elektrikli dinamometre üzerinde kavrama çıkış milini frenlemeye çalışan toplam direnç momenti aşılamadığı için bilyalı santrifüj kavramada sürekli bir kayma meydana gelmiştir.

Bilyalı santrifüj kavramanın ilettiği momenti hava direnci ve mekanik kayıplar azaltmaktadır. Ventilasyon kayıpları, bilyalı santrifüj kavramanın döndürülen kısımlarının hareketinin hava direnci ile engellenerek iletilen momentin az da olsa azalmasıdır. Kanatlı çarkın iki ucundaki rulmanın sürtünme momenti iletilen momenti artıran, çıkış mili dik yatağı üzerindeki rulmanın sürtünme momenti iletilen momenti azaltan mekanik kayıplardır. Yapılan teorik hesaplamalarda ventilasyon ve mekanik kayıpların çok az bir değerde olduğu ve ihmal edilebileceği görülmüştür.

Yük momenti sıfır iken, bilyalı santrifüj kavramanın boşluk faktörü azaltıldığında çıkış mili momenti, bu doğal direnç momentinden daha büyük değerlere çıktığında kaymanın olmadığı, döndüren ve döndürülen kısımların devir sayılarının biri birine eşit olduğu görülmüştür.

Bilyalı santrifüj kavramanın moment iletimi sırasında tambur durgun halden hızlanarak nominal devir sayısına ulaşmaktadır. Tambur kütesinin artması, belirli deney şartlarında nominal devir sayısına ulaşım süresini uzatmaktadır. Büyük kütleli tamburun harekete geçmesi için daha fazla enerji gerektiği bilinen bir gerçektir. Tambur kütesinin sebep olduğu, devreye girmedeki bu karakteristik özellik, kavramanın kullanıldığı yere göre olumlu veya olumsuz olarak değerlendirilebilir. Bilyalı santrifüj kavrama tamburu nominal hıza ulaştıktan sonra, kütlesi arttıkça depolayacağı kinetik enerjinin artacağı moment iletiminde olumlu katkı sağlayacağı söylenebilir.

Bilyalı santrifüj kavrama giriş miline hareket veren elektrik motoru çalıştırıldığında, hareketin başlangıcındaki düşük devir sayılarında momentin tümünü kendi devir sayısını yükseltmede kullanır. Yüksek devir sayılarında elektrik motoru yükü hızlandırır. Uygulamalarda elektrik motorunun yük altında harekete başlaması istenilen yerler için, bilyalı santrifüj kavrama bu amaca uygun olarak görev yapabilmektedir. Kayma sona erdiğinde, döndüren ve dönen kısımların devir sayıları eşit olur ve bilyalı santrifüj kavramada bir rijit kavrama gibi görev yapmaya başlar. Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinde ilettiği M_k momenti; döndürülen kısımların kütleli atalet momentini (kanatlı çark ve bilyalar hariç) ve yük momentini M_y yenmek için kullanılır.

$$M_k = M_m + M_y \quad (5.1)$$

Döndürülen kısımların kütleli atalet momentini:

$$M_m = I_m \cdot \alpha \quad (5.2)$$

$$M_m = I_m \cdot \frac{\omega}{t} \quad (5.3)$$

$$M_k = I_m \cdot \frac{\omega}{t} + M_y \quad (5.4)$$

Bilyalı santrifüj kavrama devreye girdikten sonra, sabit devir sayısında açısal ivme ise sıfır olacağından, kavrama momenti yük momentine eşit olur.

$$M_k = M_y \quad (5.5)$$

5.5.1.2. Bilyalı santrifüj kavrama döndüren kısmının etkisi

Bilyalı santrifüj kavrama döndüren kısmında kanatlı çark ve bölmeleri içinde çelik bilyalar mevcuttur. Kanatlı çark ve kanatlı çark bölmeleri içindeki çelik bilyaların kütleli momenti; elektrik motorunun devreye girme süresini, şebekeden çekeceği akımı ve motor güç seçimini etkileyen faktörlerdir.

5.5.1.3. Bilyalı santrifüj kavrama geometrisi faktörü

Bilyalı santrifüj kavrama geometri faktörü $\varphi = \frac{b}{R}$ değeri ile tanımlanmıştır.

Bilyalı santrifüj kavrama (b) genişliği tambur iç yüzeyinin ileteceği momenti doğrudan etkiler, fakat yan yüzeylerin ilettiği momentleri değiştirmez. Formül 4.71 de görüldüğü gibi yan yüzeylerin moment iletimi kavrama genişliğine bağlı değildir. Tambur yarıçapı (R), boşluk faktörü (Ψ) ve geometri faktörünü (φ) değiştiren bir parametredir. Tambur yarıçapı (R) iç ve yan yüzeylerin ilettiği momentleri doğrudan değiştirmektedir.

5.5.2. İşletme şartlarının etkisi

5.5.2.1. Boşluk faktörünün etkisi

Bilyalı santrifüj kavramada boşluk faktörünü $\Psi = \frac{r}{R}$ kavrama moment iletim büyüklüğünü büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir. Bu parametrenin moment iletim büyüklüğü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kavrama farklı miktarlarda bilya ile doldurularak bir takım deneyler yapılmıştır. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'a bakıldığında aynı bilya çapı için, sabit bir devir sayısında boşluk faktörü $\Psi = \frac{r}{R}$ azaldıkça momentin yükseldiği, diğer bir deyişle kavramanın dolum kütle miktarı arttıkça ilettiği moment de yükselmektedir. Boşluk faktörü $\Psi = 0,71$ olduğunda bilyalı santrifüj kavrama toplam hacminin yarısına kadar dolduğu görülmektedir. Bilyalı santrifüj kavramada boşluk faktörü, düşük boşluk faktörlerinde daha etkilidir. Şekil 4.14 incelendiğinde ve kanatlı çarkın göbek yarıçapı da göz önünde bulundurulduğunda, bir bilyalı santrifüj kavramanın bilya ile doldurulabileceği maksimum boşluk faktörünün $\Psi = 0,6$ olabileceği sonucuna varılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama moment iletim formülüne bakıldığında, iletilen momentin kavrama içerisine konulan bilyaların, dönme sırasında oluşturdıkları merkezkaç kuvvet ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle azalan kavrama boşluk faktörü ile kavramanın ilettiği momentinin yükselmesi beklenen bir sonuçtur. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'a bakıldığında, bilya dolum miktarı arttıkça; devir sayısına bağlı olarak kavramanın ilettiği momentin daha hızlı bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir.

Bilyalı santrifüj kavrama giriş milinin döndürülmesinde kullanılan elektrik motoru gücü ve kavrama momentinin ölçülmesinde kullanılan elektrikli dinamometre moment ölçüm kapasitesinin sınırlı olduğu daha önce belirtilmişti. Bu nedenle kavrama boşluk faktörüne bağlı olarak moment ölçüm deneylerinde, bilya dolum miktarı dar bir aralıkta tutularak kavramanın iletebileceği maksimum momentin çok altında çalışılmıştır.

5.5.2.2. Devir sayısının etkisi

Bilyalı santrifüj kavrama giriş devir sayısının kavrama karakteristiği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, bilyalı santrifüj kavramanın giriş devir sayısı elektrik motoru mili ve bilyalı santrifüj kavrama döndüren miline bağlı kademeli V kayış-kasnak mekanizması ile değiştirilmiştir. Deneylerde, bilyalı santrifüj kavrama giriş devir sayısı küçük devir sayılarından başlanarak kademeli olarak büyük devirlere çıkarılmıştır. Devir sayısının, bilyalı santrifüj kavrama moment iletme büyüklüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla deneyler $n=650$ dev/dak ile $n=1500$ dev/dak devir sayıları aralığında, işletme şartlarına bağlı olarak en az 4 kademede yapılmıştır. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'a bakıldığında kavramanın sabit boşluk faktörlerinde artan devir sayısı ile moment iletme miktarının arttığı görülmektedir. Bu, kavramanın ilettiği momentin açısal hızın karesi ile arttığı gerçeğine uygun gelmektedir.

5.5.2.3. Dişli yağının etkisi

Moment bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinde bilyaların yuvarlanma ve kayma sürtünmeleri ile iletilmiştir. Dönme sırasında santrifüj etki ile tambur iç yüzeyine doğru savrulan bilyalar, tambur iç yüzeyine bir baskı kuvveti uygularlar. Devreye girme süresinde bilyalar, kanatlı çark tarafından tambur yüzeyine sürtünerek sürüklenmektedir. Bu sürtünme kayması tambur iç yüzeyini aşındıracağından istenmez. Ayrıca işletim esnasında herhangi bir istenmeyen çalışma şartları sonucu kayma sürtünmesi olabilmektedir. Bu kaymalardan dolayı bilyalar ve tambur iç yüzeyi arasında meydana gelen aşınmayı minimuma indirmek için kavrama içine bir miktar dişli yağı konulmuştur. Bir miktar yağ konularak yapılan deneylerde, aynı işletim şartlarında kavramanın moment iletim kapasitesinin düştüğü görülmüştür.

Momentteki bu azalma, yağ ilavesi ile bilya ile tambur yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısının küçülme etkisinin doğal bir sonucu olduğu şeklinde açıklanabilir.

5.5.2.4. Bilya çapının ve dolumun ağırlık merkezinin etkisi

Bilya çapının, üretimi yapılan bilyalı santrifüj kavramanın moment iletim karakteristiği üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 3 farklı çapta (4, 6, 8 mm) bilya kullanılmıştır. Bu bilyalar ile kavrama ayrı ayrı doldurularak da deneyler yapılmıştır. Ayrıca bu farklı çaplardaki bilyalardan kütsel olarak eşit miktarlarda bilyalar alınıp bir karışım meydana getirilerek de deneyler yapılmıştır. Elde edilen deney verileri (Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16)'da görülmektedir. Bilyalı santrifüj kavramanın iletebileceği moment en basit haliyle $M_k = M_1 + M_2$ şeklinde gösterilebilir.

Burada M_1 momenti hareket iletimi sırasında, bilyaların merkezkaç kuvvetle çevreye savrulması sonucu tambur iç yüzeyine radyal yönde uyguladığı baskı kuvvetine bağlı olarak değişen sürtünme kuvveti ile aktarılan momenti ifade etmektedir. M_2 bilyaların, bilyalı santrifüj kavramanın yan yüzeylerine uyguladığı aksel kuvvete bağlı olarak değişen sürtünme kuvveti ile aktarılan momenti ifade etmektedir.

Yukarıda anılan grafiklere bakıldığında farklı çaptaki bilyalar ve aynı kütle dolumları için bilya çapı küçüldükçe, belirli bir devir sayısında kavramanın ilettiği momentin arttığı görülmektedir. Bilya çapı küçüldükçe porozitenin azaldığı daha önce açıklanmıştı. Buna bağlı olarak kavrama yan yüzeyine basınç yapan bilya kütlesi artmaktadır. Tambur çevresine dizilmiş en dış sıradaki bilyaların kavrama yan yüzeylerine basınç etkileri yoktur, sadece tambur iç yüzeyine bir baskı kuvveti uygularlar. İkinci sıradaki bilyalar vasıtasıyla yan yüzeylerde bir etki meydana gelmektedir. Aynı kütle ($m=1137$ gr) dolum miktarında tambur çevresinde yaklaşık olarak: 8 mm çaplı bilyalardan bir sıra, 6 mm çaplı bilyalardan iki sıra ve 4 mm çaplı bilyalardan üç sıranın meydana geldiği hesaplanmıştır. Bunun sonucu olarak eşit kütle dolumlarında yan yüzeye etki eden sürtünme kuvvetleri bilya sıra sayıları ile artmaktadır. Bilya çapı küçüldükçe aynı işletim şartlarında bilyalı santrifüj kavramanın ilettiği momentin artması mantıklı gelmektedir.

Dolumun ağırlık merkezi $R_s = \frac{2(R^2 + Rr + r^2)}{3(R + r)}$ formülünden hesaplanmaktadır.

Yapılan hesaplamalarda bilya çapı küçüldükçe dolumun ağırlık merkezinin dönme eksenine mesafesinin arttığı bulunmuştur. Küçük çaplı bilyaların dolum porozitesi daha küçük olduğundan, dolumun iç çapı (r) daha büyük ve dolayısıyla kütle ağırlık merkezi (R_s) mesafesi daha büyük olmaktadır. Küçük çaplı bilya kullanımlarında R_s 'nin az da olsa artması, kavramanın moment iletim büyüklüğünü yükselttiği söylenebilir.

5.5.3. İletilen momentin teorik olarak hesaplanması

Bilyalı santrifüj kavramanın ilettiği teorik moment 4.71 aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

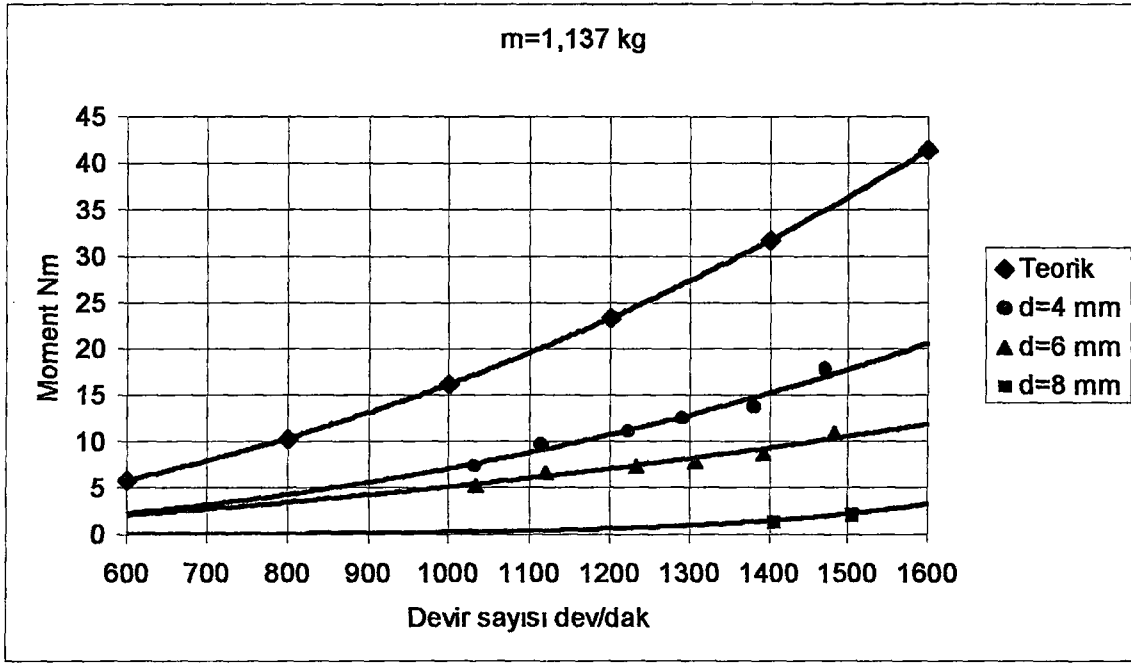
$$M_T = \frac{\pi^3}{450} n^2 \rho_{Fe} (1 - P_o) \mu R^5 \left[\frac{1}{3} \phi(1 - \Psi^3) + \frac{1}{5} (1 - \Psi^5) \right] \quad (5.6)$$

Her üç çaptaki bilya için elde edilen deneysel veriler ile bilyalı santrifüj kavrama teorik formülünden elde edilen devir sayısı kayma momenti sonuçları (Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22) de verilmiştir. Farklı çaplardaki bilyaların aynı kütle dolum miktarlarında, farklı moment iletmeleri nedenleri daha önce detaylı olarak açıklanmıştı. Kütle dolum miktarlarının artırılması sonucunda, teorik kayma momenti ve farklı bilya çaplarının ilettikleri kayma momentleri arasındaki fark azalmaktadır. Yağlı ortamdaki statik sürtünme katsayısı $\mu=0,08-0,1$ arasındadır (Akkurt, 1990). Bilyalı santrifüj kavramaya doldurulan dişli yağının etkisi, bilyaların yüzey pürüzlülüğünün çok az olması ve tambur iç yüzeylerinin bilyalarla meydana gelen sürtünme aşınmasından dolayı pürüzsüz bir şekle dönüşmesinden dolayı teorik moment hesaplamaları için sürtünme katsayısı $\mu=0,08$ olarak alınmıştır. Teorik hesaplamalarda 4 mm çaplı bilyanın porozitesi kullanılmıştır.

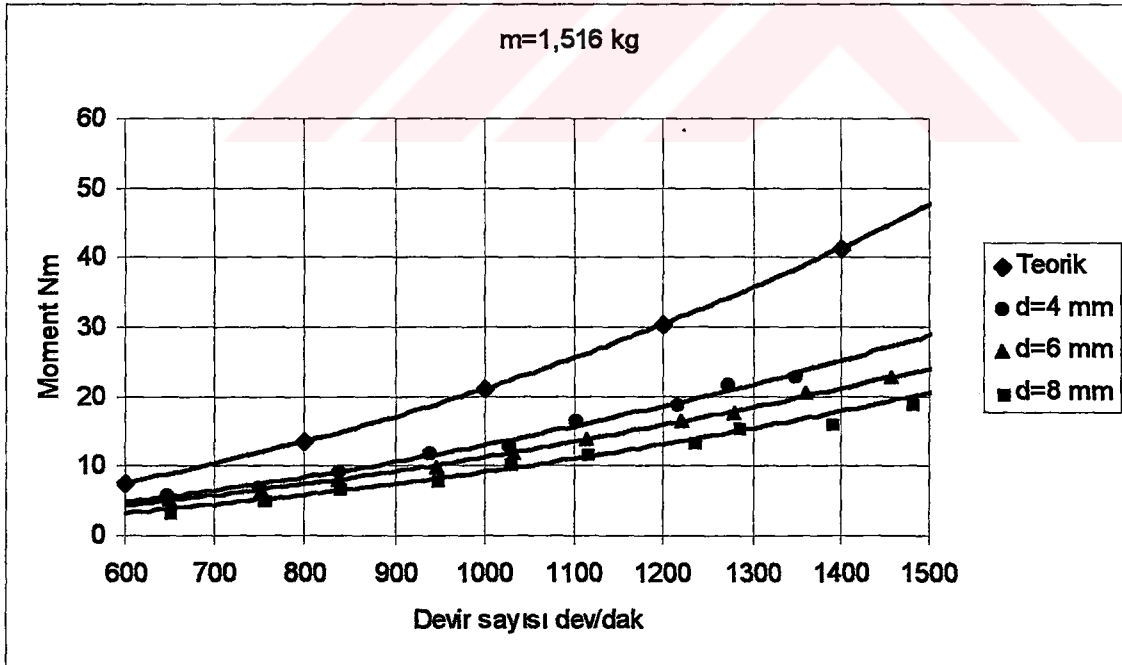
Şekil 5.23 de teorik formülünden hesaplanarak çizilen sabit boşluk faktörlerindeki kayma momenti, devir sayısının artmasına bağlı olarak parabolik artmaktadır.

Şekil 5.24 de teorik formülünden hesaplanarak çizilen sabit devir sayılarındaki kayma momenti, boşluk faktörünün azalmasına bağlı olarak parabolik artmaktadır.

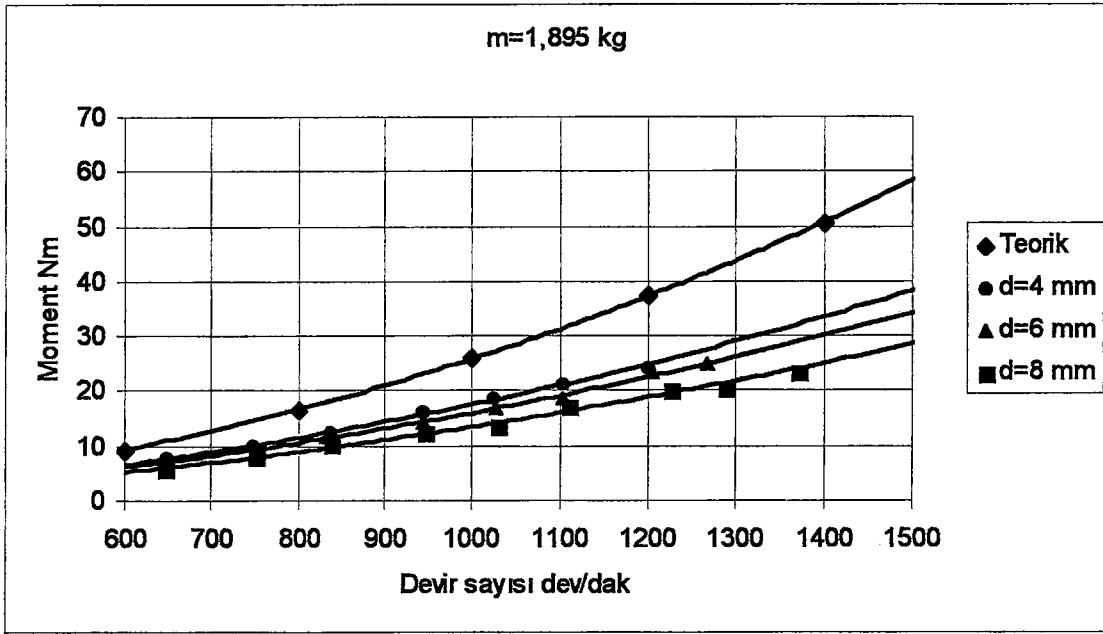
Şekil 5.25 de teorik formülünden hesaplanarak çizilen sabit momentlerdeki devir sayıları, boşluk faktörünün artmasına bağlı olarak parabolik artmaktadır.



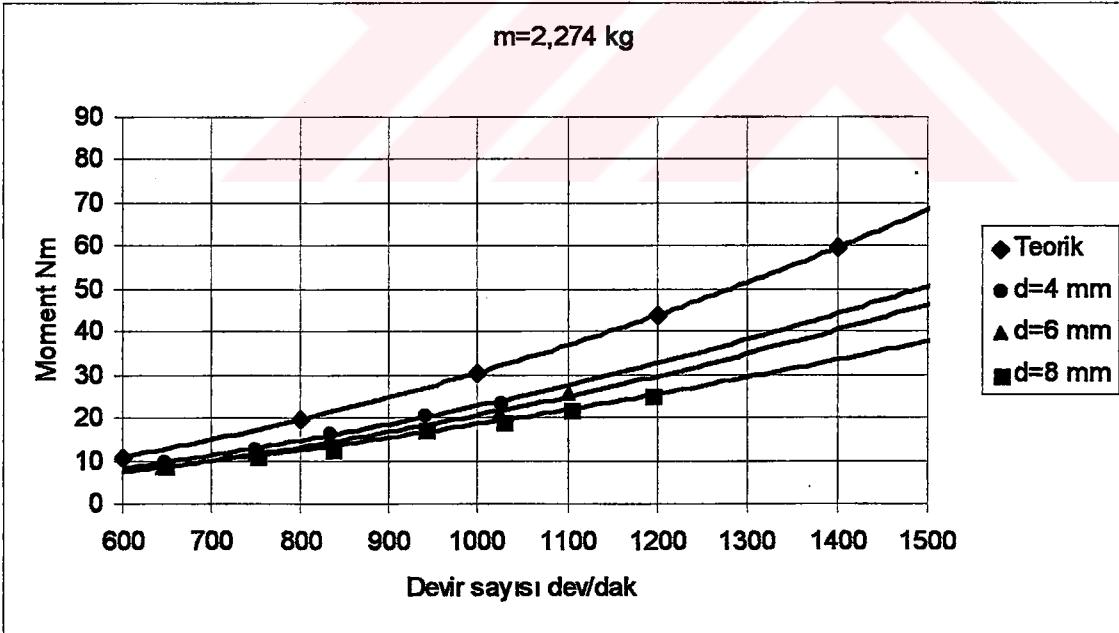
Şekil 5.17. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



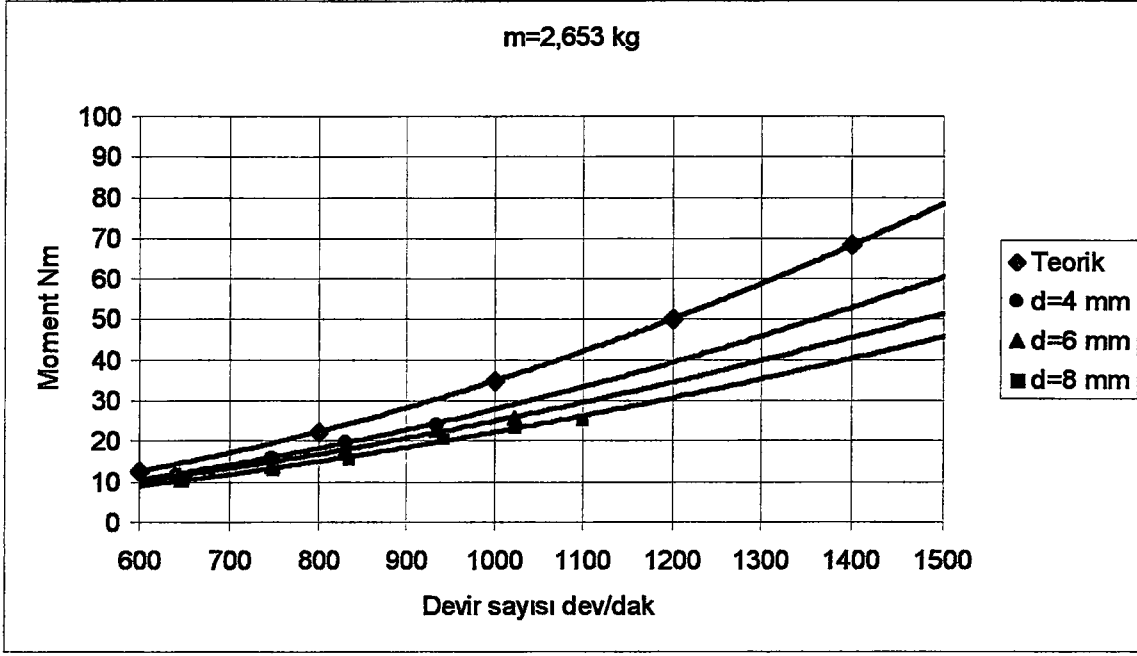
Şekil 5.18. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



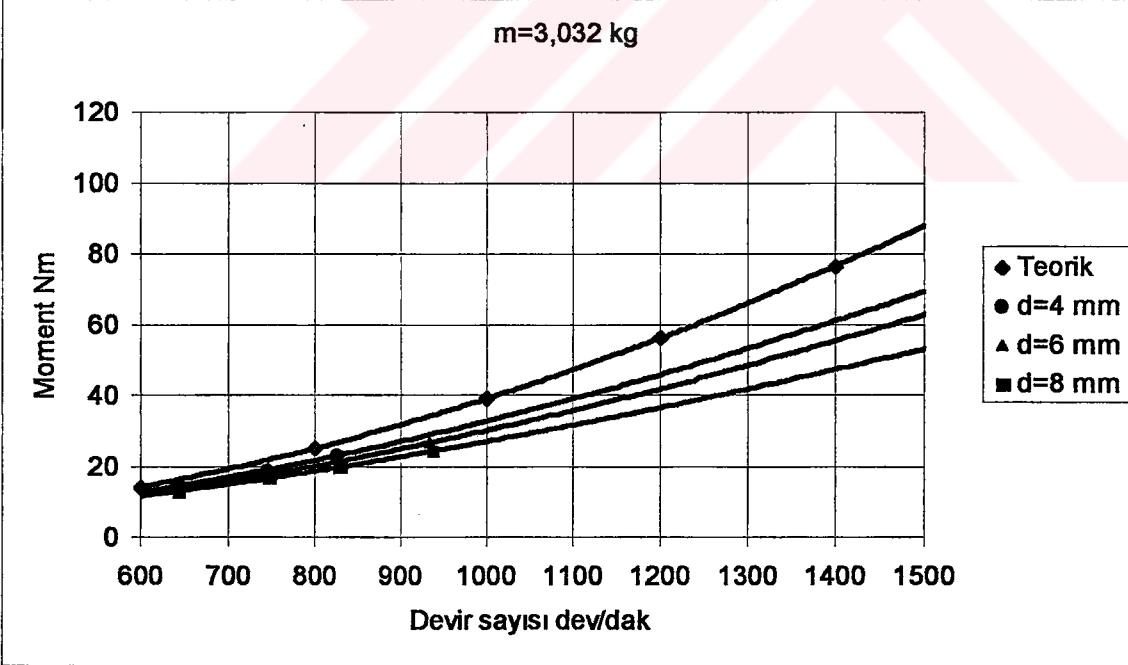
Şekil 5.19. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



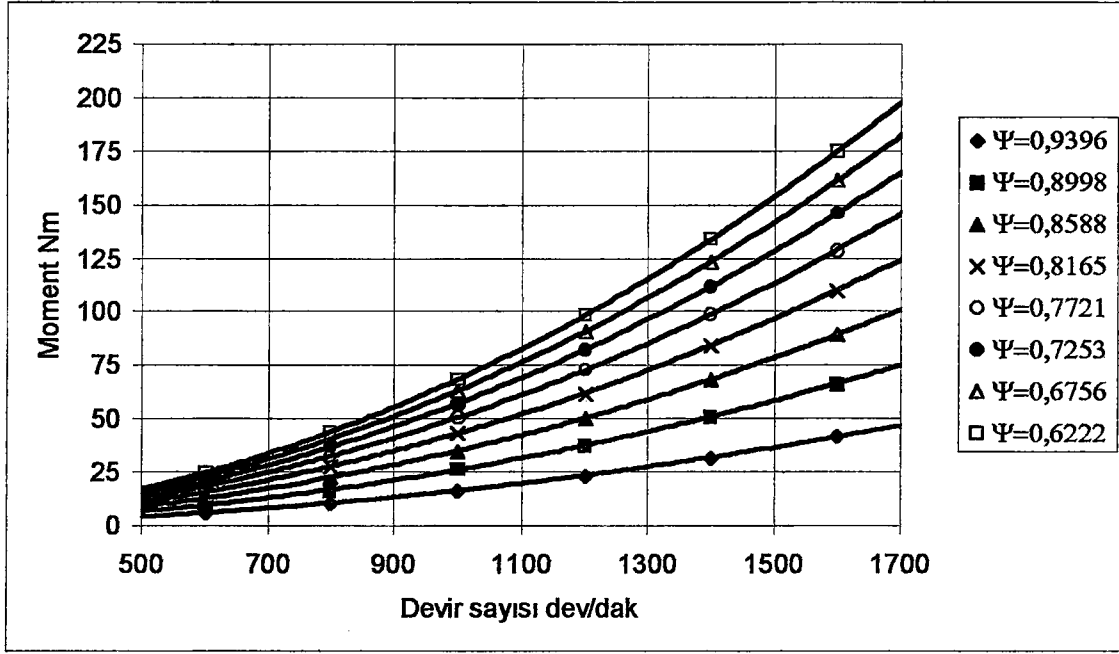
Şekil 5.20. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



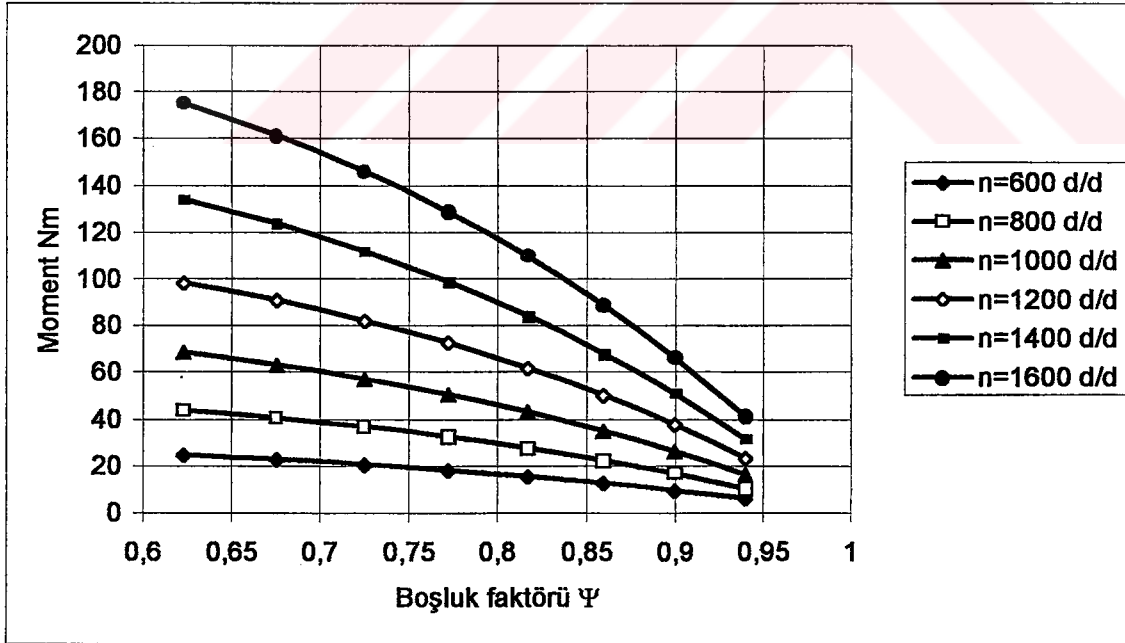
Şekil 5.21. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



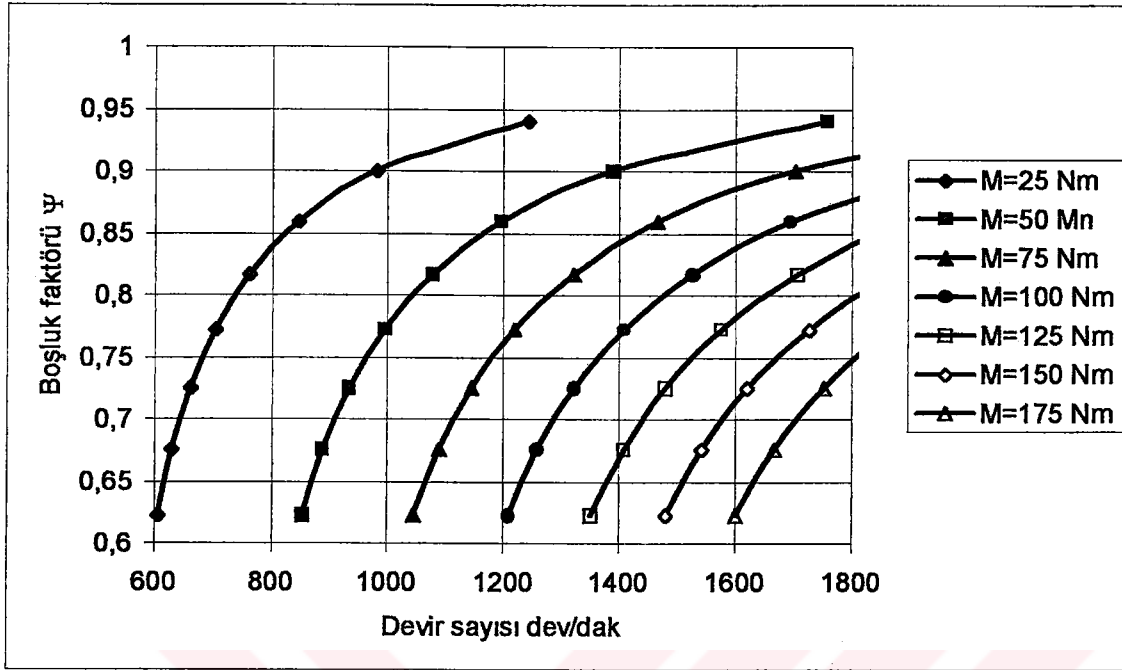
Şekil 5.22. Farklı bilya çaplarında, deneysel ve teorik momentler



Şekil 5.23. Teorik devir sayısı kayma momenti eğrileri



Şekil 5.24. Teorik boşluk faktörü kayma momenti eğrileri



Şekil 5.25. Teorik devir sayısı boşluk faktörü eğrileri

6. SONUÇLAR

Bu kısımda tasarımı yapılarak üretimi gerçekleştirilen bilyalı santrifüj kavramanın, moment iletim karakteristiklerini ortaya çıkarmak için yapılan bir takım deney sonuçları tartışılmıştır.

1. Bilyalı santrifüj kavramanın giriş mili devir sayısı artırıldığında, bütün bilya dolum faktörleri için iletebileceği momentin de arttığı görülmüştür.
2. Bilyalı santrifüj kavrama moment iletim miktarı devir sayısı ve boşluk faktörüne bağlı olarak incelenmiştir. Buna göre düşük devirlerde çalışılırken boşluk faktörünün daha etkili olduğu, devir sayısı arttıkça boşluk faktörü etkisinin giderek azaldığı, devir sayısı etkisinin hızlı bir şekilde arttığı sonucuna varılmıştır.
3. Devreye girme süresi üzerinde hem devir sayısı hem de boşluk faktörünün büyük ölçüde etkili olduğu anlaşılmıştır. Her iki faktörün de artmasıyla devreye girme süresinin kısaldığı görülmüştür.
4. Yapılan deneylerde bilyalı santrifüj kavramanın moment iletim kapasitesi maksimum değerlerde yükleme yapılamadığından buradaki kayma açık olarak görülememiştir.
5. Bilyalı santrifüj kavrama moment iletim kapasitesini belirleyen büyüklüklerden birisi, belki de en önemlisi kavrama geometrisi faktörü olduğu anlaşılmıştır. Kavrama tasarımı yapılırken moment iletim kapasitesi yanında kullanıldığı yer ve işletme şartlarının da göz önünde bulundurularak yarıçap-genişlik ilişkisinin belirlenmesi gereği anlaşılmıştır. Buna göre yüksek devir sayılarında çalışılması durumunda yarıçapın küçültülebileceği sonucuna varılmıştır.
6. İşletim esnasında, hareket iletim elemanlarının kapasitelerinin üzerine çıkıldığında, bilyalı santrifüj kavramanın kayma yaparak sistemi koruması temel amaçlardan birisi olarak bilinmektedir. Boşluk faktörü ve devir sayısına bağlı olarak belirlenmiş olan kavrama moment iletim kapasitesi; alt değerlerinde boşluk faktörü azaltılarak kayma noktasının değiştirilebileceği ve aynı kavramanın farklı moment iletim kapasitelerine sahip tesislerde de kullanılabileceği tespit edilmiştir.
7. Bilyalı santrifüj kavramada kaymalar sırasında oluşan aşınmaları azaltmak için kavramaya bir miktar dişli yağı ilave edilebileceği, bu yağın kavramanın moment iletim kapasitesi üzerinde aşırı bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

8. Çalışma süresince bilyalarda aşınma sonucu çap küçülmesi olacağı, ayrıca bilya çapının porozite, boşluk faktörü ve moment iletiminde etkili olduğu anlaşıldığından bilya çapı seçiminde bu faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır.
9. Yük altında harekete başlayan sistemler için bilyalı santrifüj kavrama kullanmanın önemli avantajlar sağladığı ve rahatlıkla kullanılabilceği açıkça görülmektedir.
10. Küçük dolum faktörleri için büyük çaplı bilya kullanıldığında, bilyalı santrifüj kavrama yan yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinin moment iletimine çok az katkısı olduğu anlaşılmıştır. Bilya çapı küçüldükçe yan yüzey sürtünmesinin moment iletim kapasitesine olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir.
11. Kavramanın ısı emme kapasitesi, kayma işlemi ile üretilen sürtünme ısısından daha büyük olmalıdır. Yapılan çalışmada maksimum yük şartlarında kavrama parçalarının aşırı derecede ısınmadığı görülmüştür. Başlangıçta tasarlanan kavrama boyutlarının moment iletim kapasitesine uygun olduğu belirlenmiştir.

Üretilen bilyalı santrifüj kavramanın teorik olarak moment iletim kapasitesinin hesaplanması için formül 4.71 çıkarılmıştır. Deneysel olarak bulunan moment sonuçları ile formülden hesaplanan momentler karşılaştırıldığında, küçük dolum faktörleri ve büyük bilya çaplarında bir miktar farkın olduğu görülmüştür. Bu farkın yan yüzey sürtünmelerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Yüksek dolum faktörlerinde deneysel sonuçlar ile formülden hesaplanan sonuçların yakın olduğu ve bilya çaplarının neden olduğu momentler arasındaki farkın da azaldığı görülmüştür.

Bu sonuçlar daha önce benzer santrifüj kavramalar ile yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında karakteristiklerinin büyük ölçüde benzer özellikler gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, bir tesis için hareket iletiminde bilyalı santrifüj kavrama kullanımının uygun olup olmadığı hususunda bir fikir verebileceği düşünülebilir. İşletme şartlarına göre bilyalı santrifüj kavrama geometrisi ve boşluk faktörünün seçimine büyük ölçüde katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

AKKURT, M., (1990). **Makina Elemanları**. Birsen Yayınevi. Cilt I. İstanbul.

BEACH, K., (1962). **Try These Formulas For Centrifugal Clutches**. Product Engineering. July 9, 56-57.

DITTRICH, D., SCHUNMANN, O., (1974). **Anwendungen der Antriebstechnik Band II: Kaupplungen**. Graphischer Betrieb. Mainz.

GOODLING, E.C., (1974). **Fighting High Energy Costs With Centrifugal Clutches**. Machine Desing. 46, 119-124.

GOODLING, E.C., (1977). **Trailing Shoe Type Centrifugal Clutch-Desing Principles and Characteristics**. American Society of Mechanical Engineers. Sep 26-30, 7.

JOHN, St., ve RICHARD, C., (1975). **Centrifugal Clutch Has Gentle Touch**. Power Transmission Desing. 17, 40-42.

JOHN, St., ve RICHARD, C., (1979). **Centrifugal Clutch Basics**. Power Transmission Desing. 21, 52-55.

OKTAY, Ş., (1977). **Makina Elemanları**. Kazmaz Matbaası. Cilt I. İstanbul.

PROCTOR, J., (1961). **Selecting Clutches for Mechanical Drives**. Product Engineering. June 19, 43-58.

RUSNACK, J. P., ve TYSON, C. (1982). **Higher Speeds for Sprag Clutches**. Machine Design. 54, 111-114

SAYDAM, T., (1973). **Akışkanların Gözenekli Ortamdaki Akışı**. Çağlayan Basımevi. İstanbul.

SCHÄLTZ, A., (1968). **Kupplung Atlas**. A. G. T. Verlag Georg Thum. Württ.

SHARIPOV, V.M., KOLOMIETS, S.N., (1987). **Slipping of Friction Clutches**. Soviet Engineering Research. 7, 31 - 33.

SHARMA, P.C., ve AGGARWAL, D.K., (1976) **A Text Book of Mechanical Engineering Design** – Katson Publishing House, Ludhiana.

SHIGLEY, J.E., (1963). **Mechanical Engineering Design**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

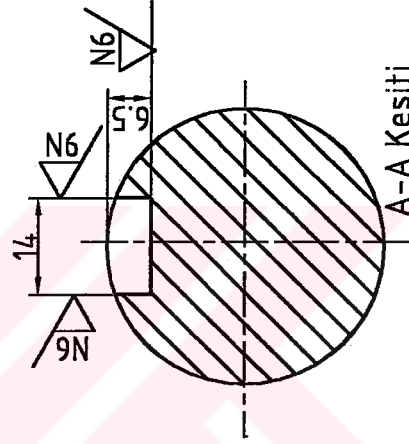
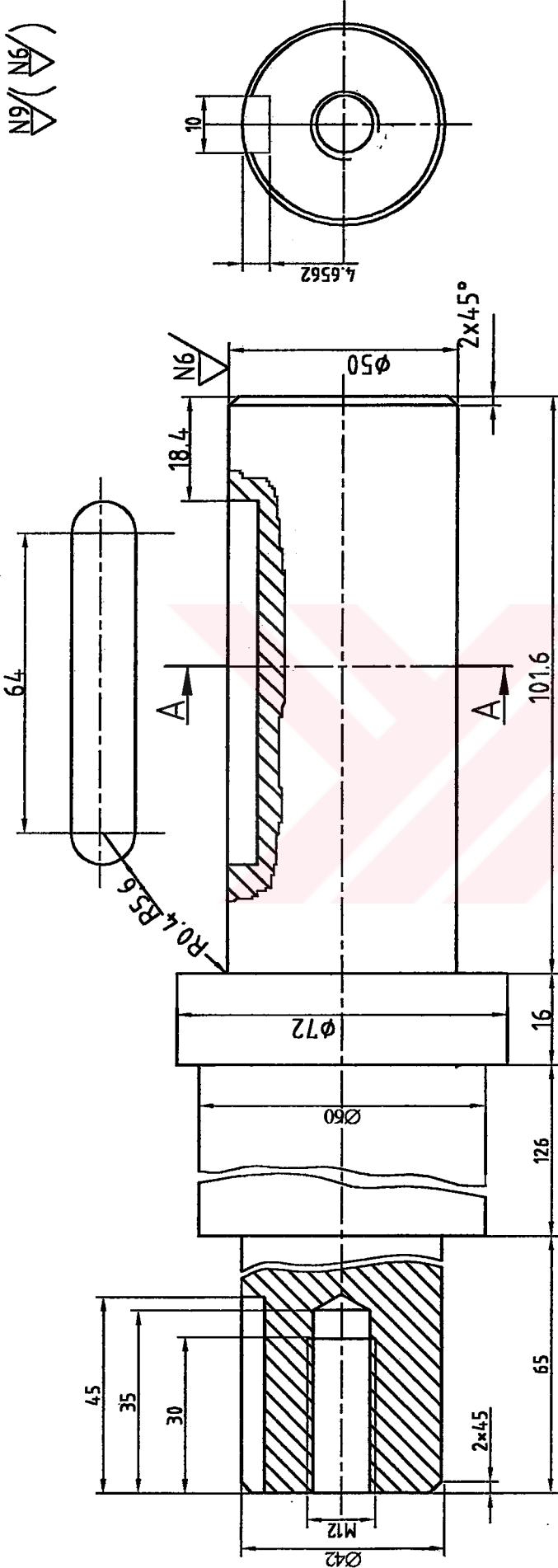
SHIGLEY, J.E., ve MISCHKE, C.R., (1986). **Standart Handbook of Machine Desing**. McGraw-Hill, Inc. New York.

TOWN, H.C., (1988). **Clutches for Machine Control**. Power International. 34, 247-249.

ULUKAN, L., (1971). **Çözülebilir Kavramalar**. İ.T.Ü. Makina Fakültesi.

N9/ (N6/)

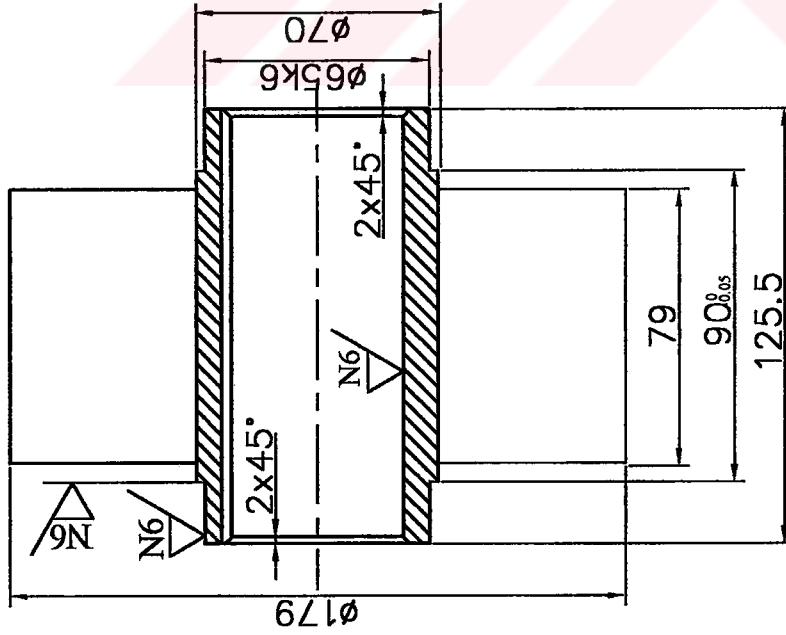
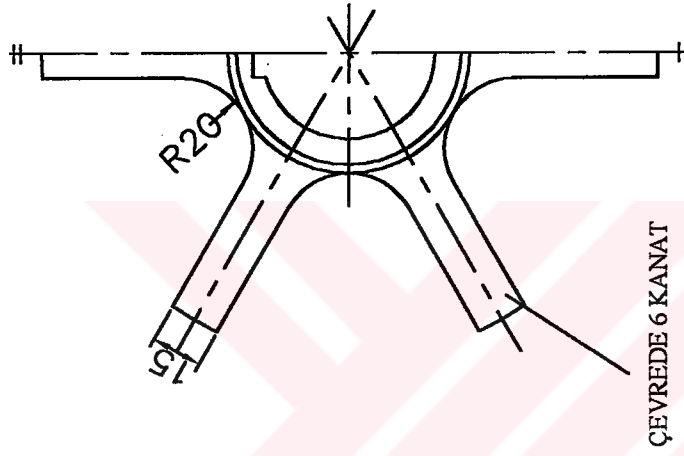
91



Ø 50	f7	49,975	49,950
ÖLÇÜ	İŞARET	EBÖ	EKÖ
İSMAİL TÜRK BAY	1-03	RESİM NO	
ÇİZEN			

Ç 1050	1:1	1	DÖNDÜREN MİL
MALZEME	ÖLÇEK	SA YI	PARÇANIN ADI

N9/ (N6/)



ÇEVREDE 6 KANAT

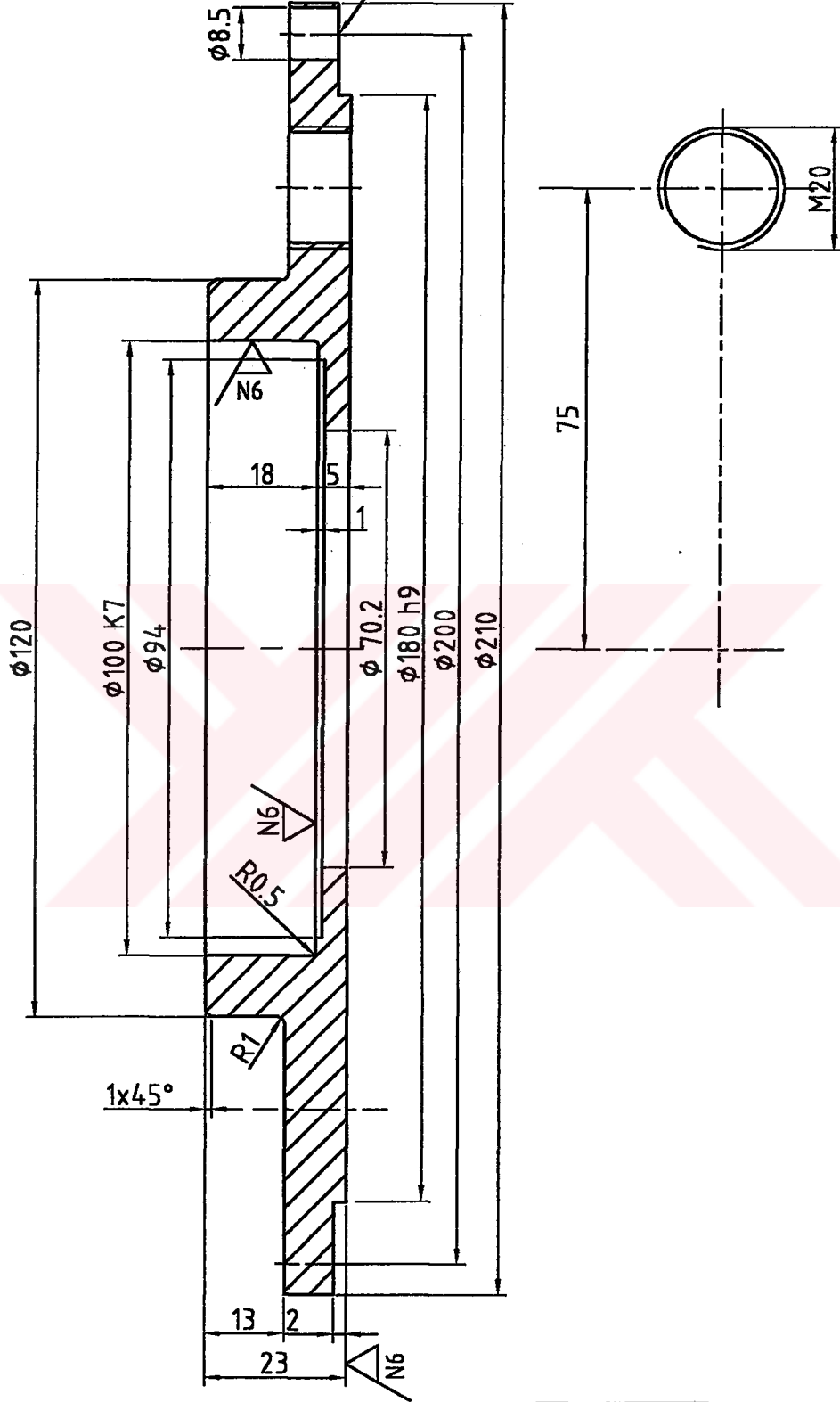
ø 65	k6	65.021	65.002
ø 50	H7	50.007	49.982
ÖLÇÜ	İŞARET	EBÖ	EKÖ
İSMAIL TÜRKBAŞI		1-04	
ÇİZEN		RESİM NO	

Ç 1050	1:1	1	ÇARK
MALZEME	ÖLÇEK	SAYI	PARÇANIN ADI

93

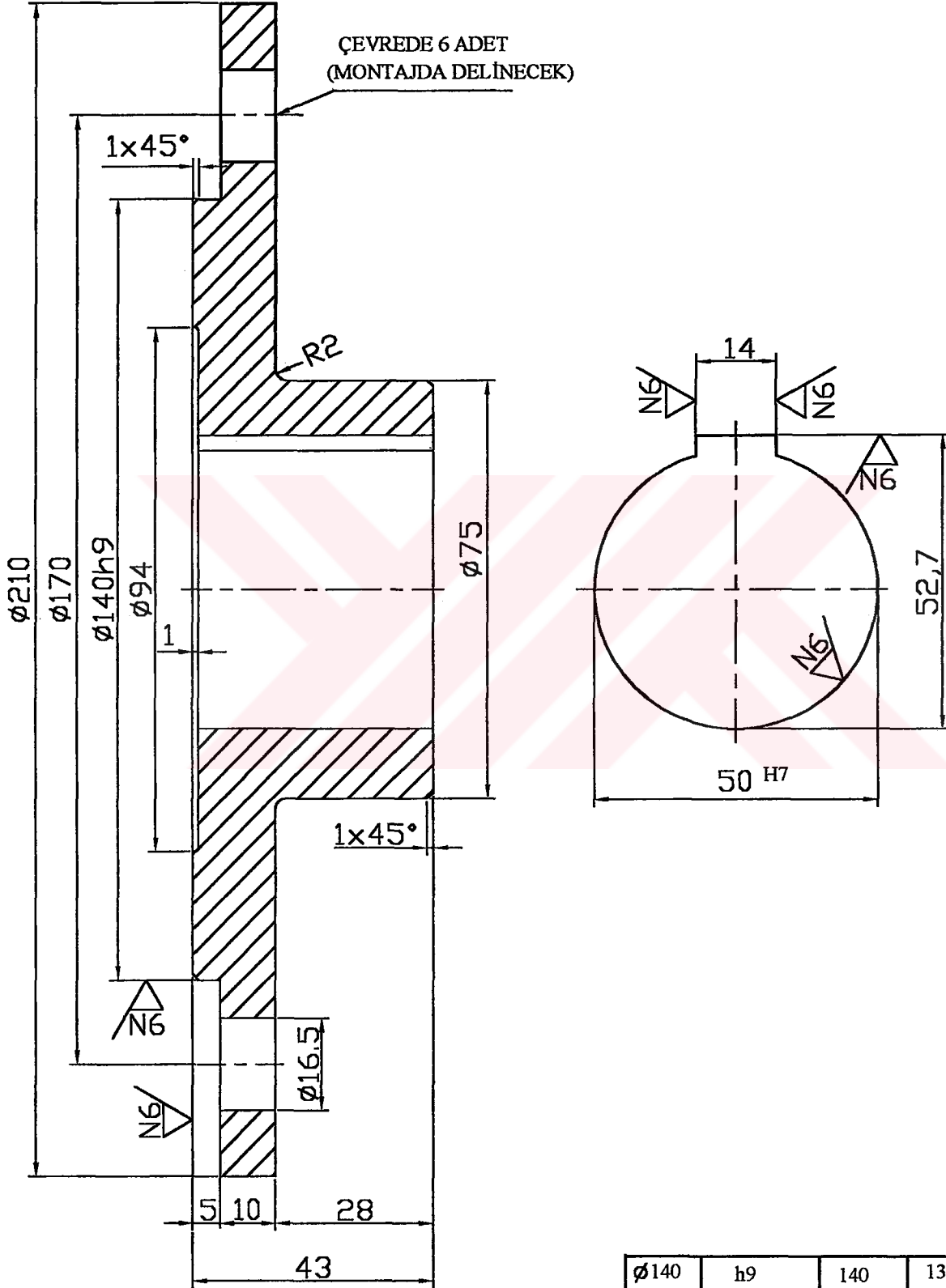
ÇEVREDE 6 ADET
(MONTAJDA DELİNECEK)

N9/ (N6/)



Ø 100	K7	100,010	99,975
Ø 190	h9	190	189,885
ÖLÇÜ	İŞARET	EBÖ	EKÖ

Ç 1050	1:1	1	KAPAK	İSMAİL TÜRK BAY	1-05
MALZEME	ÖLÇEK	SAYI	PARÇANIN ADI	ÇİZEN	RESİM NR

$\frac{N9}{\nabla} \left(\frac{N6}{\nabla} \right)$


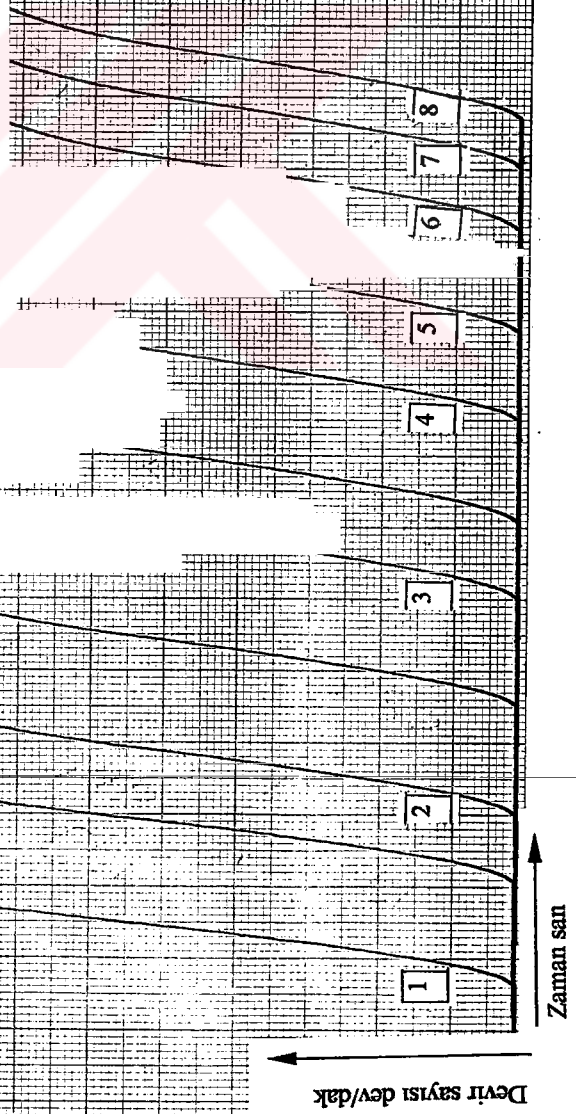
Ø140	h9	140	139,9
Ø50	H7	50,025	50
ÖLÇÜ	İŞARET	EBÖ	EKÖ

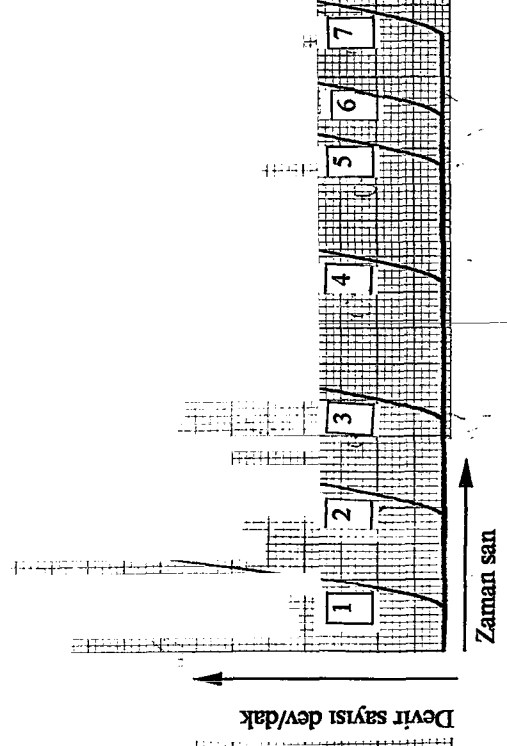
Ç 1050	1:1	1	FLANŞ	İSMAİL TÜRK BAY	1-07
MALZEME	ÖLÇEK	SA YI	PARÇANIN ADI	ÇİZEN	RESİM NR

56	PARÇA SAYISI		28	TS1021/1	Fe 42
1	ALTIKOŞE BAŞLI CIVATA		27	TS79/1	Fe 42
1	RONDELA 13		26	1-09	Al
1	V KASNAĞI		25	TS1472	Fe 50
1	UYGU KAMASI B 12X3X45		24	TS1026/1	Fe 42
4	ALTIKOŞE BAŞLI SOMUN M16		23	TS79/1	Fe 37
4	RONDELA 17		22	TS1021/1	Fe 42
4	ALTIKOŞE BAŞLI CIVATA M16X60		21	TS1472	Fe 50
1	UYGU KAMASI B 6X6X56		20	TS1472	Fe 50
1	UYGU KAMASI B 14X9X30		19	1-08	Ç 1050
1	DÖNDÜRÜLEN MİL		18	TS1021/1	Fe 42
1	ALTIKOŞE BAŞLI CIVATA M20X17		17	TS1021/1	Fe 42
6	ALTIKOŞE BAŞLI CIVATA M20X17		16	1-07	Ç 1050
1	FLANŞ		15	TS1021/1	Fe 42
6	ALTIKOŞE BAŞLI CIVATA M8X25		14	1-06	Ç 1050
1	TAMBUR		13	1-05	Ç 1050
1	KAPAK		12	SKF	HAZİR
1	SABİT BİLYALİ YATAK 6013-2R3		11	1-04	Ç 1050
1	KANATLI ÇARK		10	TS1472	Fe 50
1	UYGU KAMASI 14X9X30				

2	DİK YATAK YUVALARI	SN511	9	SKF	HAZIR	FIRAT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	1-00	BİL YALI SANTRİFÜJ KAVRAMA	
4	KEÇE	FS260	8	SKF	HAZIR				
2	ÇEKİRTME SOMUN	KM11	7	SKF	HAZIR				
2	EMNİYET SACI	MB11	6	SKF	HAZIR				
2	OYNAK BİLYALI YATAK	121İK	5	SKF	HAZIR				
2	GERME MANŞONU	H211	4	SKF	HAZIR				
1	DÖNDÜREN MİL		3	1-03	Ç 1040				
2	ALTILIK		2	1-02	Fe 31				
1	TABLA		1	1-01	Fe 37				
SAYI	PARÇANIN ADI-STANDARD	BOYUTLAR	MON.NR	RES.NR.	MALZEME				
	TARİH	ADI SOYADI							
	2000	İSMAIL TÜRKBAY							
		PROF.DR.N.DİNÇER							
		PROF.DR.N.DİNÇER							
ÖLÇEK 1:1									
						RESİM NO			

Bilya çapı mm		Dolum sııra no		Kütle kg	
4		VI		2,274	
Devir hızı dak ⁻¹		Kuvvet N		Moment Nm	
Giriş	Çıkış	Zaman sn		Zaman sn	
1 952	952	2,8	0,7	1,4	1,4
2 946	946	48,1	12,03	2	2
3 945	945	62,5	15,62	2,2	2,2
4 943	943	77,7	19,4	3,7	3,7
5 942	942	79,4	19,85	4,7	4,7
6 941	941	80,7	20,2	9	9
7 941	941	82,6	20,6	12	12
8 941	900	81,4	20,35	-	-



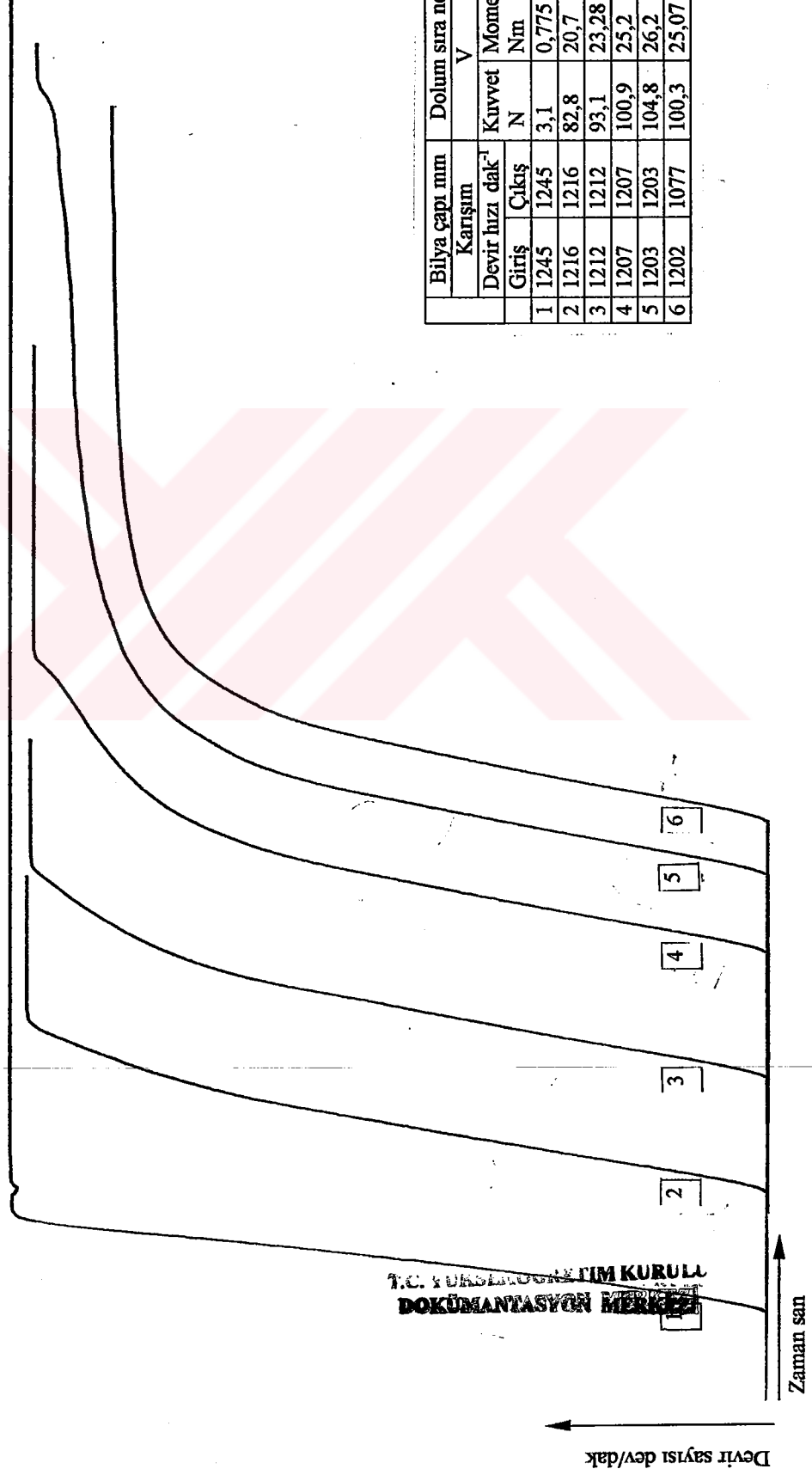


	1	2	3	4	5	6	7
Dolum si						1100	1100
VI						989	98
Kuvvet							
N							
3							
76,9							
85,8							
93,6							
97,2							
102							
23,5							
24,5							
no							
ment							
Zaman							
sn							
1,5							
2,6							
3,5							
4,3							
6,1							
13,5							
-							
Kettle kg							
2,274							

	Bilya çapı mm		Dolum sara no		Kütle kg	
	8		VIII		3,032	
	Devir hızı dak ⁻¹		Kuvvet N		Moment Nm	
	Giriş	Çıkış	Zaman sn			
1	841	841	2,7	0,67	1,2	
2	833	833	64,6	16,15	2,2	
3	829	829	72,8	18,2	2,8	
4	829	829	76,1	19,02	3,5	
5	828	828	77,8	19,45	8,1	
6	826	770	75,2	18,8	-	

Devir sayısı dev/dak

Zaman san



	Bilya çapı mm		Dolum sıra no		Kütle kg	
	Karışım		V		1,895	
	Devir hızı dak ⁻¹		Kuvvet		Moment	
	Giriş	Çıkış	N	Nm	sn	Zaman
1	1245	1245	3,1	0,775	1,6	
2	1216	1216	82,8	20,7	2,7	
3	1212	1212	93,1	23,28	3,3	
4	1207	1207	100,9	25,2	4,8	
5	1203	1203	104,8	26,2	12,7	
6	1202	1077	100,3	25,07	-	

T.C. KURUMSAL YATIRIM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ