

**BİLYALI SANTRİFÜJ KAVRAMA KARAKTERİSTİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI İÇİN
DENEY SETİ TASARIMI**

İsmail TÜRK BAY Vedat SAVAŞ

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

ÖZET

Santrifüj kavramalar yük momentinin büyüklüğüne göre, belirli bir devir sayısında kendiliğinden devreye giren ve sürtünme ile moment ileten kavramalardır. Bu kavramalar elektrik motorunun yük altında harekete başlaması istenen yerlerde, bu amaca uygun olarak görev yapabilmektedir.

Bu çalışmada tasarımı yapılarak imalatı gerçekleştirilen bir bilyalı santrifüj kavramanın performans karakteristiklerinin tayini için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği elektrikli dinamometre, çizici, V kayış kasnağı ve elektrik motorundan meydana gelmektedir. Deneylerde, devir sayısı ve bilya kütlesi değişimlerinde kayma momentleri ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Bilyalı santrifüj kavrama, Kayma momenti.

**AN EXPERIMENT SET DESIGN TO INVESTIGATE OF THE CHARACTERISTICS OF A BALL
CENTRIFUGAL CLUTCH**

ABSTRACT

Centrifugal clutches are the clutches which run automatically at a certain rotation speed depending on the magnitude of the load torque and transmitted this torque by friction. These clutches can be able to task as fitting to this aim, where wants to starting under the load of electricity motor.

In this study an experimental set was prepared to determine the performance characteristics of a ball centrifugal clutch designed and produced. The set consist of an electrical dynamometer, plotter, V belt pulley and an electricity motor. In the experiments, the slipping torques in changes the ball mass and rotation speed were measured.

Key Words : Ball – centrifugal clutch, Slipping torque.

1. GİRİŞ

Santrifüj kavramalar, belirli bir devir sayısına kadar yüksüz olarak devreye giren, kayma yapabilen, devir sayısına bağlı olarak ilettiği moment artan, sürtünme kuvveti ile moment ileten kavramalardır. Santrifüj kavramalarda aktarma elemanı olarak, sürtünme parçaları görev yapar. Bu parçalar santrifüj kuvvete bağımlı olup, santrifüj kavramanın dönen ve döndürülen kısımları arasında sürtünme kuvveti bağı oluştururlar. Moment, döndüren kısımdan döndürülen kısma sürtünme kuvveti ile aktarılmaktadır. Yüklerin çok çabuk değişebildiği işletmelerde, donanımı korumak için santrifüj kavramalar kullanılır [1]

Santrifüj kavramaların en büyük dezavantajı, devreye girip çıkması ile çalışma esnasında meydana gelen sürtünmelerden ve titreşimlerden dolayı ömürlerinin azalmasıdır. Günümüzde değişik çalışma şartları için birçok santrifüj kavrama çeşitleri kullanılmaktadır. 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 bilya, masura veya metal tozu biçimindedir. Şekil 2'de santrifüj kavrama çeşitlerinin sınıflandırılması görülmektedir [2].

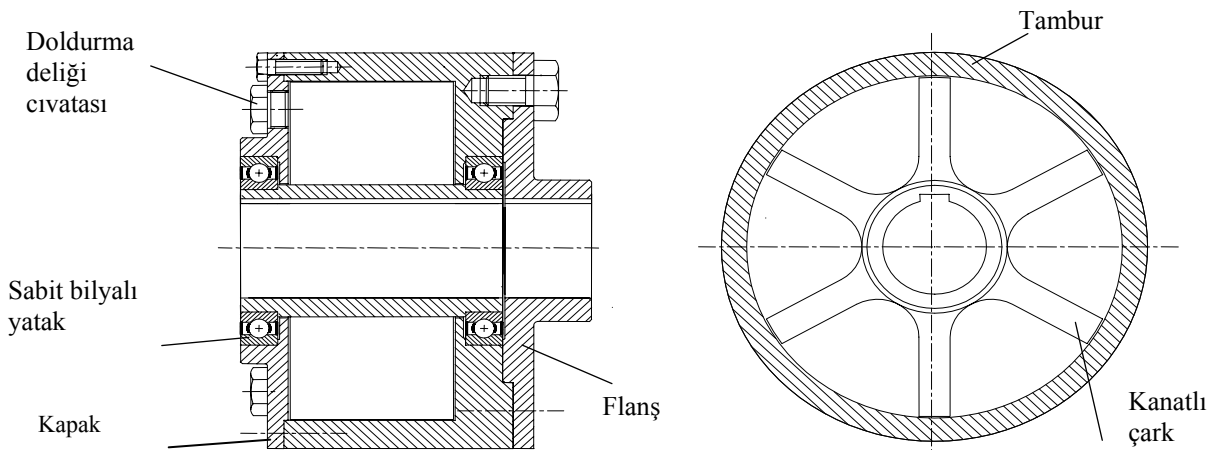
2. BİLYALI SANTRİFÜJ KAVRAMA

Şekil 1'de görülen bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark, tambur ve dolgu maddelerinden meydana gelmiştir. 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 girme süresinde, bilyalarda yuvarlanma sürtünmesi ile birlikte kayma meydana gelir. Bilyalı santrifüj kavrama devreye girme süresi sonunda, herhangi bir kayma olmaksızın statik sürtünme vasıtasıyla sürtünme kuvveti ile moment iletimini sürdürür [3].

Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresinde meydana gelen sürtünme ısı, dış kısımları az bir miktar ısıtırken, dolgu maddesini oldukça fazla ısıtmaktadır. Döndüren mile sabit bağlı olan kanatlı çark tambur içini eşit hacimli bölmelere böler. Bu bölmeler, ihtiyaç duyulan bilyalı santrifüj kavrama gücüne bağlı olarak çelik bilyalarla tamamen veya kısmen doldurulur. Döndüren mil döndüğü zaman, çelik bilyalar tambur içinde bir çember şekli 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 yüklerle karşı motoru ve iş makinasını korur, 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. [4]

Bilyalı santrifüj kavramanın devreye girmesi santrifüj kuvvete bağlı olduğundan, nominal momentinden daha fazlasını iletemez. Eğer döndüren makina çalışmaz veya işlemez hale gelirse bilyalı santrifüj kavrama kaymaya başlar, böylece makina veya işletme birimlerinin zarara uğraması önlenir [5].

Bilyalı santrifüj kavrama tambur, kanatlı çark, kapak, flanş, iki adet örtme kapaklı sızdırmaz sabit bilyalı yatak, bağlama civataları ve bir adet doldurma deliği civatasından ibarettir (Şekil 1). Kanatlı çark döndüren mile kama ile bağlanmıştır ve tambur kanatlı çark üzerine döner yataklanmıştır. Kanatlı çarkın kanat sayısı altıdır. Bilyalar, kapak yan yüzeyinde bulunan civata sökülerek kanatlı çark bölmelerine doldurulur. Bu civatanın dönme esnasında dengesizlik oluşturmaması için aynı ölçülerdeki civata başı kapağın karşı tarafına simetrik olarak kaynak edilmiştir. Deneyde kullanılan bilyalı santrifüj kavramanın tambur iç yarı çapı $R=90$ mm ve iç genişliği $b=80$ mm'dir. Montajlı toplam kütlesi 23,750 kg ve kanatlı çarkın kütlesi ise 4,870 kg'dır.



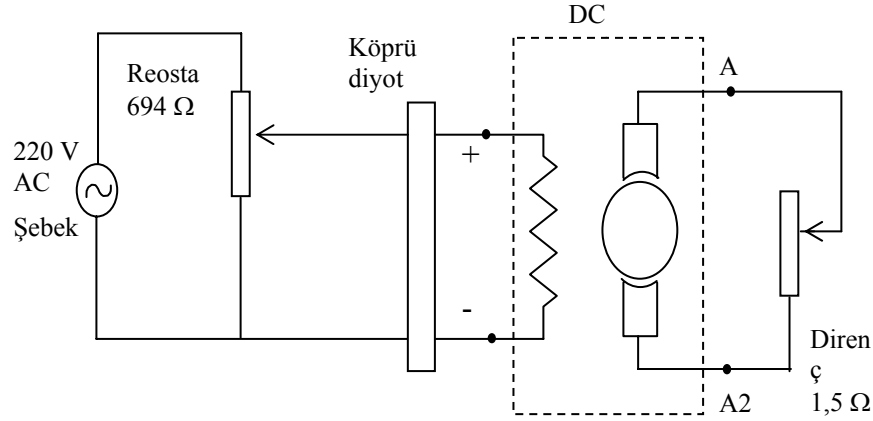
Şekil 1. Bilyalı santrifüj kavrama elemanları

Santrifüj Parçalı Kavramalar		Dolgu Malzemeli Kavramalar
<p>Serbest pabuçlu</p>	<p>Cıvalı</p>	<p>Bilyalı</p>
<p>Yay kontrollü pabuçlu</p>	<p>Hidrolik kontrollü</p>	<p>Serbest bilyalı</p>
<p>Papuçları mafsallı</p>	<p>Bilyalı konik</p>	<p>Masuralı</p>
<p>Çelik bantlı</p>	<p>Tozlu</p>	

Şekil 2. Santrifüj kavrama çeşitlerinin sınıflandırılması [2]

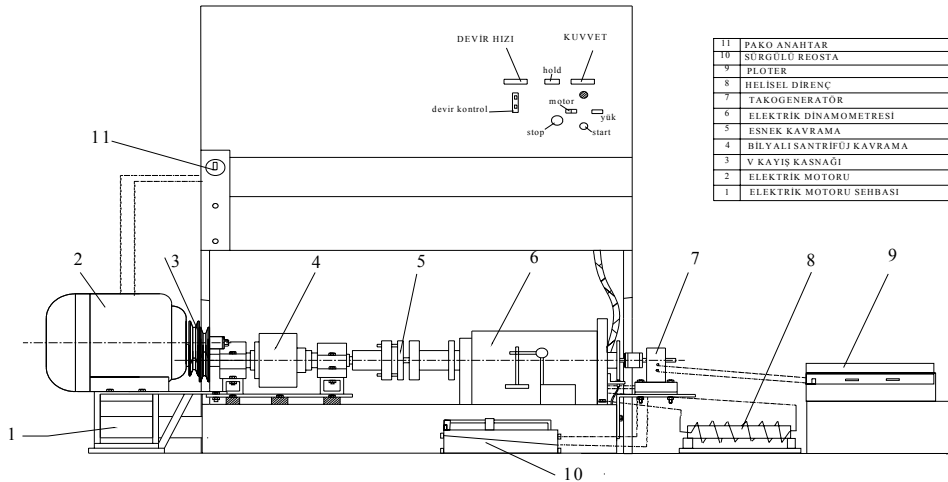
3. DENEY SETİ

3.1. Elektrikli dinamometre



Şekil 3. Elektrikli dinamometre yükleme bağlantı şeması

Deneysel ölçümlerinde maksimum ($P=10$ kW, $n=4000$ dev/dak ve $M=30$ Nm) çalışan Cussons marka DC elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama bir elektrik motoru ile döndürülmekte olup, çıkış mili bir esnek kavrama ile elektrikli dinamometresi giriş miline bağlanmıştır. Elektrikli dinamometrenin yüklenmesi, AC akımı DC akıma dönüştüren (köprü diyot) bir voltaj dönüştürücüsü ve sürgülü reosta vasıtasıyla elektromotor kuvvet değiştirilerek gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Bu F kuvveti, elektrikli dinamometre mil merkezinden $0,25$ m mesafede çalışan, istenildiğinde kalibre edilebilen yük hücreleri yardımı ile ölçülmekte ve değeri pano üzerindeki dijital göstergeden okunmaktadır. Deneysel olarak kullanılan elektrikli dinamometre giriş mili momentini veya bilyalı santrifüj kavramanın ilettiği moment $M = F \times 0,25$ Nm bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Deneysel sırasında elektrikli dinamometreyi yükleyerek, bilyalı santrifüj kavrama çıkış milini frenlemek için bir sürgülü reosta kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Deneysel seti

Elektrikli dinamometre rotoru bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili tarafından döndürüldüğünde, üretilen elektrik enerjisine bağlı olarak statorun zıt bir elektromotor kuvvet oluşur ve stator rotorun dönme yönünde dönmek ister. Bilyalı santrifüj kavramanın aktardığı güç veya elektrikli dinamometreden çekilen elektriksel güç ne kadar fazla olursa, stator da o kadar büyük bir momentle dönmek ister. Stator bu şekilde oluşan moment, bilyalı santrifüj kavrama çıkış milindeki döndürme momentine eşittir. Bu momentin ölçülmesi amacıyla stator iki ucundan yataklanmıştır. Elektrikli dinamometrenin statoruna bağlı moment kolu bir baskül sistemine etki ettirilerek, statora etki eden moment ölçülmektedir.

3.2. Elektrik motoru

Yapılan deneylerde bilyalı santrifüj kavramanın yük altında harekete başlayacağı ve şebekeden yüksek değerlerde akım çekeceği göz önünde bulundurularak, üç fazlı, 10 kW gücünde, nominal 1000 dev/dak ve 380 V gerilimle çalışan bir elektrik motoru seçilmiştir. İlk çalıştırmada elektrik motorunun kalkışı esnasında, şebekeden çekilen akımı azaltmak amacıyla yıldız üçgen bağlantılı şalter kullanılmıştır. Elektrik motoru önce yıldız konumunda çalıştırılmış, daha sonra şalter üçgen konumuna alınmıştır. Bu yönlendirme için 25 A döner pako şalter kullanılmıştır.

3.3. Çizici

Leybold marka SE 790 model xy çizici, 0-250 V, elektro mıknatıs ile kağıt tutma özelliğine sahiptir. Çizici üzerinde x eksenini zamanı ve y eksenini de devir sayısını göstermektedir.

3.4. Deney Seti Montajı

Bilyalı santrifüj kavramanın giriş mili kanatlı çarka, çıkış mili flanşa bağlanmıştır. Giriş ve çıkış milleri üzerine yerleştirilen oynak rulmanlı yataklar, dik yatak yuvalarına yerleştirilerek bağlanmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama çıkış mili ile elektrikli dinamometre arasına bir oynak lastikli kavrama yerleştirilerek, iki milin eksen kaçıklıkları ve hareket verme mekanizmalarının sebep olduğu mekanik titreşimlerin elektrikli dinamometreye geçmesi önlenmiştir.

Elektrik motoru mili ile bilyalı santrifüj kavrama döndüren mili arasındaki güç iletimi iki kademeli V kayış-kasnak mekanizması ile sağlanmıştır. V kayış kasnaklarının biri elektrik motoru miline diğeri bilyalı santrifüj kavramanın döndüren miline monte edilmiştir. Ölçümler esnasında bilyalı santrifüj kavrama giriş miline ve elektrik motoru miline sıra ile bağlanan, beş adet iki kademeli V kayış kasnağı kullanılmıştır. Her bir kademeli kasnaktan iki ve toplam on farklı devir sayısı elde edilmiştir.

Şekil 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 çiziciye gönderilmektedir. Böylece bilyalı santrifüj kavrama çıkış milinin dönmeye başlamasıyla, tam kavrama gerçekleşinceye kadar süre arasındaki, zaman ile devir sayısı değişimi grafikleri çizdirilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Devir sayılarının ölçülmesi

Bilyalı santrifüj kavramanın giriş ve çıkış devir sayısının ölçümünde, 5-99999 dev/dak olan Taiwan yapımı Lutron marka DT-2234 foto tip dijital takometre kullanılmıştır. Bilyalı santrifüj kavrama kapağının ve döndüren mile bağlı V kayış-kasnağının alın yüzeylerine 5 mm genişliğinde fosforlu bant yapıştırılarak giriş ve çıkış devir sayıları ölçülmüştür.

4.2. Bilya dolulukları

Dolumlarda kullanılan 6 mm çapındaki çelik bilyalardan 71 adedinin kütlesi $m=63,17$ gr olarak tartılmış, dolular için bu kütle esas alınmıştır. Deneylerde, bu çelik bilyalar doldurma deliğinden, kanatlı çark bölmelerinin her birine eşit miktarda $m=63,17$ gr doldurulmuştur. Her bir deney başlangıcında bilyalardan toplam $m = 63,17 \times 6 = 379$ gr kanatlı çark bölmelerine doldurularak, 8 ayrı deney yapılmıştır. Her bir deneyde, kanatlı çark bölmeleri içerisindeki bilyaların toplam adedi ve kütle miktarı Tablo 1'de verilmiştir. Bilya kütlesi ölçümlerinde, dijital göstergeli Oertling marka, 1/100 gr hassasiyetli elektronik terazi kullanılmıştır.

Tablo 1. 6 mm çaplı bilyada dolun verileri

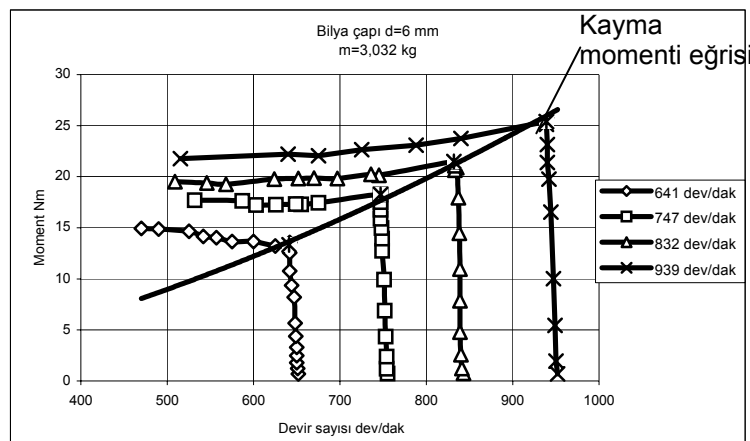
Dolum sırası	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bilya kütlesi kg	0,379	0,758	1,137	1,516	1,895	2,274	2,653	3,032
Bilya sayısı	426	852	1278	1704	2130	2556	2982	3408

4.3. Deneilerin Yapılması

Bilyalı santrifüj kavrama kanatlı çark bölmeleri içine Tablo 1’de verilen bilya kütleleri ile 8 dolun yapılarak deneyler yapılmıştır. Devreye girme süresinde, sürtünmelerin neden olduğu aşınmaları minimuma indirmek için doldurma deliğinden $m=50$ gr dişli yağı doldurulmuştur. 1 ve 2 nolu bilya dolunlarında yapılan deneylerde, elektrikli dinamometre yüklenmediği durumda bile yeterli bir sürtünme kuvveti sağlanamadığından bilyalı santrifüj kavramada sürekli bir kayma meydana gelmiştir. Deneilerin sonuçları Şekil 6’da gösterilmiştir.

Sürgülü reosta sıfır konumunda olduğunda, elektrikli dinamometre yük direnci sıfırdır. Çiziciye mili metrik bölüntülü kağıt yerleştirilmiş, çizici kalemi hareket ettirilmiş ve kalem yatay çizgi çizmeye başlamıştır. Pako şalter yıldız konumuna getirilerek elektrik motoru çalıştırılmıştır. Elektrik motorunun kalkışı sağlandıktan sonra, pako şalter yıldız konumundan üçgen konumuna getirilmiştir. Daha önce (x) zaman eksenini yönünde hareket eden çizici kalemi (y) eksenini yönünde devir sayısı değişimini de çizmeye başlamıştır. Çizici kaleminin (y) eksenini yönündeki ilerleyişinin, bilyalı santrifüj kavrama devir sayısının yükselmesi ile birlikte arttığı görülmüştür. Bilyalı santrifüj kavrama sabit devir sayısına ulaştığında, çizici kalemi yatay çizgi çizmeye başlamıştır. Göstergeden F kuvveti değeri, takometre ile giriş ve çıkış devir sayıları okunarak mili metrik bölüntülü kağıda kaydedilmiştir.

Bilyalı santrifüj kavrama yük momentini artırmak için sürgülü reostanın sürgüsü hareket ettirilerek devreye giren direnç miktarı artırılmış ve yukarıda yapılan işlemler tekrar edilmiştir. Giriş devir sayısı ile çıkış devir sayısı arasında bir farkın meydana geldiği nokta, bilyalı santrifüj kavramanın ileteceği nominal momentidir. Bu nokta kayma momenti eğrisinin geçtiği yerdir. Daha sonra elektrikli dinamometre yük direnci artırılarak deneylere devam edilmiştir. Bilyalı santrifüj kavrama giriş mili devir sayısının moment iletimi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, giriş miline bağlı kasnak değiştirilerek farklı giriş devirlerindeki momentler ölçülmüştür.



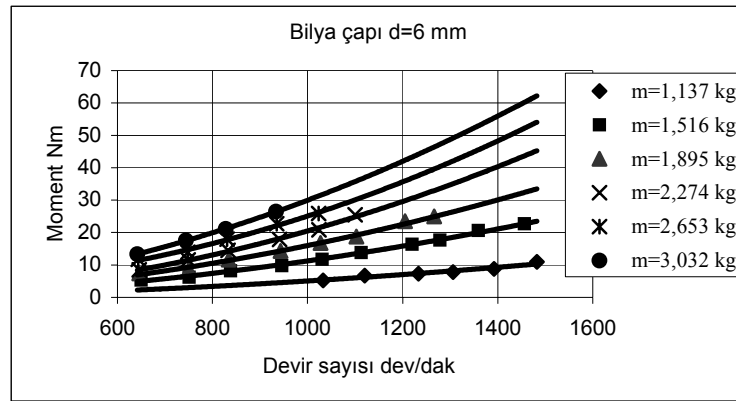
Şekil 5. Bilyalı santrifüj kavramanın kayma momentinden önce ve sonra ilettiği momentler

Şekil 5’de $m=3,032$ kg bilya dolununda ve $n=(641, 747, 832$ ve $939)$ devir sayılarında yapılan deneyler için moment, devir sayısı değişimi diyagramı çizilmiştir. Moment iletimi sırasında, çıkış mili sükunet halinden harekete geçmekte ve giriş mili devir sayısına ulaşmaya kadar hızlanmaktadır. Bu hızlanma sırasında, bilyaların merkezkaç kuvvetinin etkisi ile meydana getirdiği sürtünme kuvveti de artmaktadır. Sabit bilya

kütlesi ve sabit giriş devir sayısında, bilyalı santrifüj kavramanın devreye girme süresi artan yük momenti ile artmaktadır.

Kayma momentinden sonra, bilyaların tambur yüzeyi üzerinde kayarak hareket etmesi sürtünme katsayısının azalmasına neden olmakta ve iletilen moment de değişmektedir. Bu nedenle kayma momenti noktasına kadar olan bölgede statik sürtünme katsayısı, kayma momenti noktasından sonraki bölgede kinetik sürtünme katsayısı geçerli olur. Statik sürtünme katsayısı, bilyalar ve tamburun sürtünen yüzeyinin şekline bağlı değildir fakat sürtünen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Kinetik sürtünme katsayısı, sürtünen yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünden başka kayma devir sayısına ve yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Kayma momenti noktasına kadar, bilyalı santrifüj kavramanın giriş ve çıkış devir sayıları arasındaki hız farkı sıfırdır. Kayma momenti noktasından sonra artırılan yük momenti ile birlikte giriş ve çıkış devir sayıları arasındaki fark da artmaktadır. Artan devir sayısı farkı kinetik sürtünme katsayısının azalmasına ve buna bağlı olarak iletilen momentin de azalmasına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 5'de $n=939$ dev/dak için çizilen grafikte açıkça görülmektedir.

Bilyalı santrifüj kavramada, bilya kütlesi moment iletim büyüklüğünü büyük ölçüde etkilemektedir (Şekil 6). Bu parametrenin moment iletim büyüklüğü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bilyalı santrifüj kavrama farklı miktarlarda bilya ile doldurularak deneyler yapılmıştır. Sabit devir sayısında bilya kütlesi arttıkça iletilen momentin yükseldiği görülmektedir. Sabit kütle miktarlarında artan devir sayısı ile de iletilen momentin arttığı görülmektedir. Bu durum, bilyalı santrifüj kavramanın ilettiği momentin açısal hızın karesi ile arttığı sonucuna uygun gelmektedir.



Şekil 6. Sabit bilya kütlelerinde devir sayısı, kayma momenti eğrileri

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Bilyalı santrifüj kavramanın giriş mili devir sayısı artırıldığında, bütün bilya dolmuş kütleleri için iletebileceği momentin de arttığı görülmüştür. Bilyalı santrifüj kavramada iletilen moment devir sayısı ve bilya kütlesine bağlı olarak incelenmiştir. Buna göre düşük devirlerde çalışılırken bilya kütlesinin daha etkili olduğu, devir sayısı arttıkça bilya kütlesi etkisinin giderek azaldığı, devir sayısı etkisinin hızlı bir şekilde arttığı sonucuna varılmıştır. Bilyalı santrifüj kavramada kaymalar sırasında oluşan aşınmaları azaltmak için bir miktar dişli yağı ilave edilebileceği, bu yağın moment iletim kapasitesi üzerinde aşırı bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. 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. Yük altında harekete başlayan sistemler için bilyalı santrifüj kavrama kullanmanın önemli avantajlar sağladığı ve rahatlıkla kullanılabilmesi açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. John, St., Richard, C., “**Centrifugal Clutch Has Gentle Touch**”, Power Transmission Design, vol. 17, pp. 40-42, 1975.
2. Türkbay, İ., “**İki Fazlı Aktarıcılı Kavramaların Karakteristiklerinin Matematiksel ve Deneysel Araştırılması**”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
3. Schalitz, A., **Kupplungs-Atlas**. A. G. T. Verlag Georg Thum. Württ, 1968.
4. Dittrich, O., Schumann, R., **Anwendungen der Antriebstechnik Band II: Kupplungen** Graphischer Betrieb. Mainz, 1974.
5. Goodling, E.C., “**Fighting High Energy Costs With Centrifugal Clutches**”, Machine Design, vol. 46, pp. 119-124, 1974