

## DİNAMİK YÜKLÜ KAYMALI YATAKLARDAKİ SÜRTÜNME KUVVETİNİN ÖLÇÜLMESİ

*Ertuğrul Durak<sup>1</sup> Aydın Bıyıklıoğlu<sup>2</sup> Cahit Kurbanoğlu<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, ISPARTA  
Tel: 0.246.2370428 E-Mail: edurak@mmf.sdu.edu.tr, kurban@mmf.sdu.edu.tr

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, TRABZON  
Tel: 0.462.3253223

### ÖZET

Dinamik yüklü kaymalı yataklardaki sürtünmeyi ölçmek amacıyla bir deney düzeneği tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Sistemde yükleme hidrolik dört adet pabuçla sağlanmıştır. Yatağın çevresi boyunca yükün yatay, düşey ve polar değişimleri gözlenebilmektedir. Test yatağının bulunduğu parçalar ile ana gövde arasındaki metalik temas sıkışan yağ kama etkisi ile önlenmiştir. Yapılan elektriksel direnç ölçümü ile de temasın olmadığı tespit edilmiştir.

Tasarlanan ölçüm sisteminin prensibi, hazırlanan test yatağının bulunduğu konstrüksiyon sürtünme kuvveti ile döndürülmeye zorlanmıştır. Dönmeye çalışan bu konstrüksiyon, üzerinde strain-gauge'lerin bulunduğu çelik çubukları eğmeye zorlamaktadır. Böylece çalışma anında meydana gelen gerilim değişimleri vasıtasıyla yataktaki sürtünme kuvvetini yatak çevresi boyunca ölçülebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik Yük, Kaymalı Yatak, Sürtünme

### 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda, yüksek hızlı rotorlarda veya gidip gelme hareketine sahip piston-biyel-krank bağlantılarında kullanılan kaymalı yataklara uygulanan kuvvetin yönü, doğrultusu ve şiddeti değişkendir. Dolayısı ile yatakta oluşan sürtünme kuvveti de yatağın çevresi boyunca değişmektedir. Bir radyal kaymalı yatağa istenilen şekilde, büyüklükte ve frekansta değişken yük uygulayabilen, yükün değişimini, genliğini belirlemeye imkan veren ve bu nitelikleriyle yatak yüzey yorulması ile birlikte diğer yatak parametrelerinin ölçülmesinde, etkilerinin araştırılmasında kullanılabilen bir deney düzeneği Bıyıklıoğlu (1986) tarafından tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği [1],[2],[3] nolu referanslarda detaylı olarak tanıtılmıştır. Bu çalışmada, dinamik yüklü yatakta çalışma anında meydana gelen sürtünme kuvvetini, yatağa yağ giriş sıcaklığını, krank açısının ölçümünü gerçekleştirebilmek için düzenekte konstrüksiyonel değişiklikler tasarlanarak imalatı K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nün atölyesinde imal edilip montajdan sonra deneyler yapılmıştır.

### 2. DENEY DÜZENEGİNİN ÖZELLİKLERİ

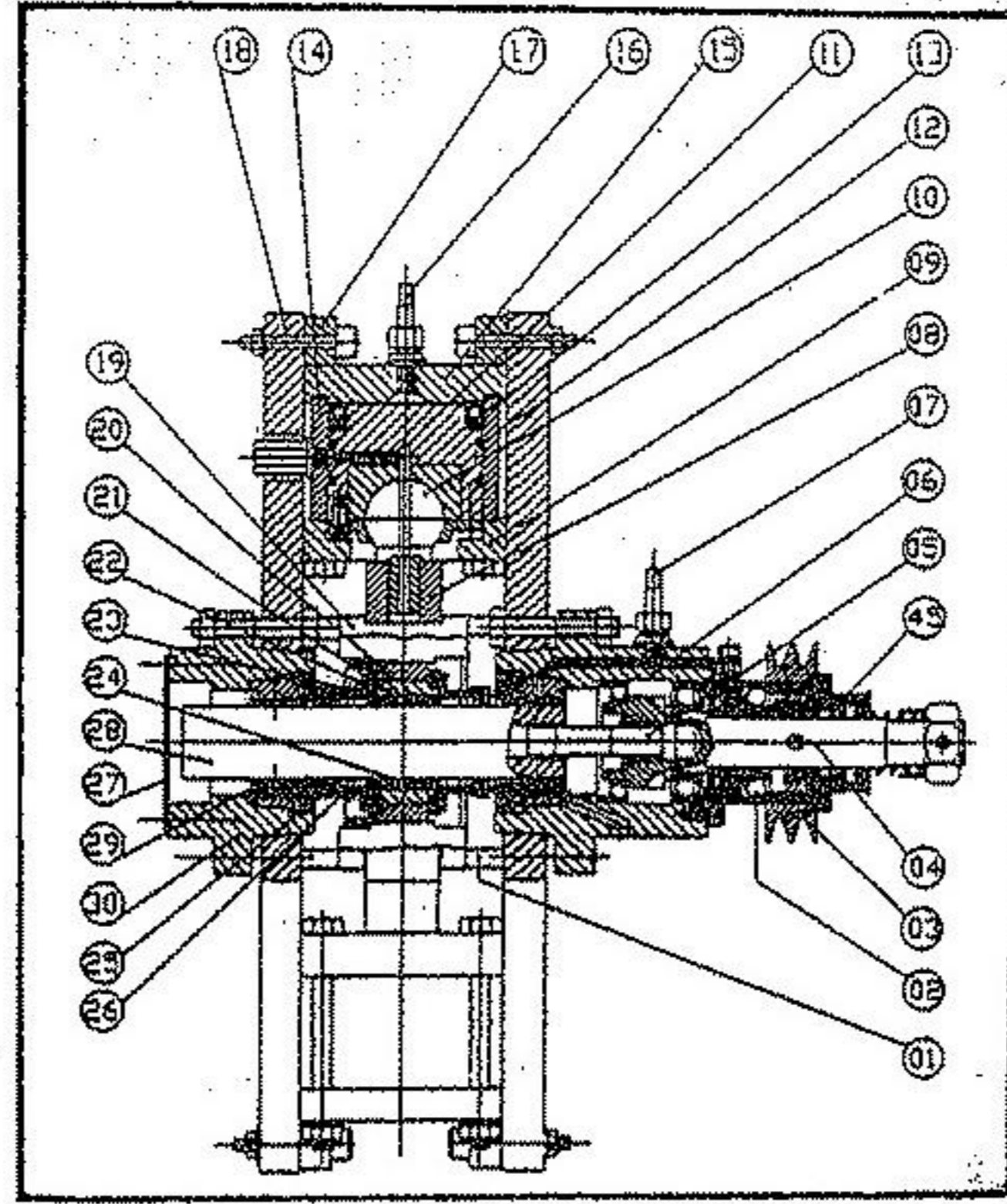
Deney düzeneğinde yükün şekli ve büyüklüğü değiştirilebilmekte, bir yük örneğinden bir başkasına kolayca geçilebilmektedir. Yatak bir eksen doğrultusunda yüksüz durumda iken diğer eksen boyunca yüklenebilmektedir. Milin bir devrine tekabül eden krank açısı 15 ° aralıklarla ölçülebilmektedir. Bir periyot boyunca yükün değişimi hem yatay ve düşey bileşenler olarak hem de polar olarak ölçülüp kayıt edilebilmektedir. Bir periyot boyunca



yatakta sürtünme kuvvetinin değişimi ölçülebilmektedir. Yağlayıcı belli koşullarda verilebilmektedir. Yağlayıcı yağın giriş sıcaklığını kontrol etmek için bir adet 1 mm çapında Bakır – Konstanta termokupoll yağ giriş kanalının içerisine yerleştirilmiştir. Dijital bir milivoltmetreye bağlanan termokupoll ile ölçme yapılmadan önce sıcaklığı  $\pm 0.02$  °C aralığında sabit tutabilen bir banyo (Refrigerated Bath Circulator Haake ) içerisine daldırılarak termokupoll 0°C 'den 60°C arasında kalibre edilmiştir.

### 2.1. Deney Düzeneginin Yapısı

Deney düzeneginin mil eksenine boyunca alınmış kesiti Şekil 1.'de, mil eksenine dik kesiti ise Şekil 2.'de, sürtünme kuvveti ölçümü için tasarlanan konstrüksiyonun detay montaj resmi Şekil 3. 'te verilmiştir. Gövdeyi aynı özellikteki karşılıklı iki ana gövde plakası (18) oluşturmaktadır. Test yatağının iki yanında yer alan ve deney milini (28) yataklayan bronz destek yatakları (29) bu plakalara yerleştirildiğinden ana gövde plakalarının (18) delik eksenleri çakışacak şekilde merkezlenmesine özen gösterilmiştir. Plakalar sıkı geçme toleransında işlenen gövde bağlantı saplamalarıyla bağlanarak rijit bir blok oluşturulmuştur. Ana gövde plakaları (18) arasında, düşey ve yatay eksen boyunca karşılıklı olarak yerleştirilmiş dört adet hidrolik yükleme silindiri bulunmaktadır. Her silindirin içinde, farklı ısı genleşmelerden ötürü sıkışmaları önlemek amacıyla, aynı malzemedeki yapılmış ve her türlü sızdırmazlık önlemleri alınmış birer piston (11) bulunmaktadır. Silindir kapaklarının altına bakır conta yerleştirilmiştir. Alt taraftaki silindirde pistonun ağırlığı, bir karşı yayla dengelenerek yük dağılımında meydana getireceği hataların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Test yatağı yuvasını dört taraftan saran yükleme pabuçları (8) pistonlarına birer küresel mafsalla ( 10 ) bağlanmıştır. Böylece yatak yuvasının (19) gerekli oynaklığa sahip olması, o andaki şartların gerektirdiği konumu rahatça alabilmesi amaçlanmıştır.

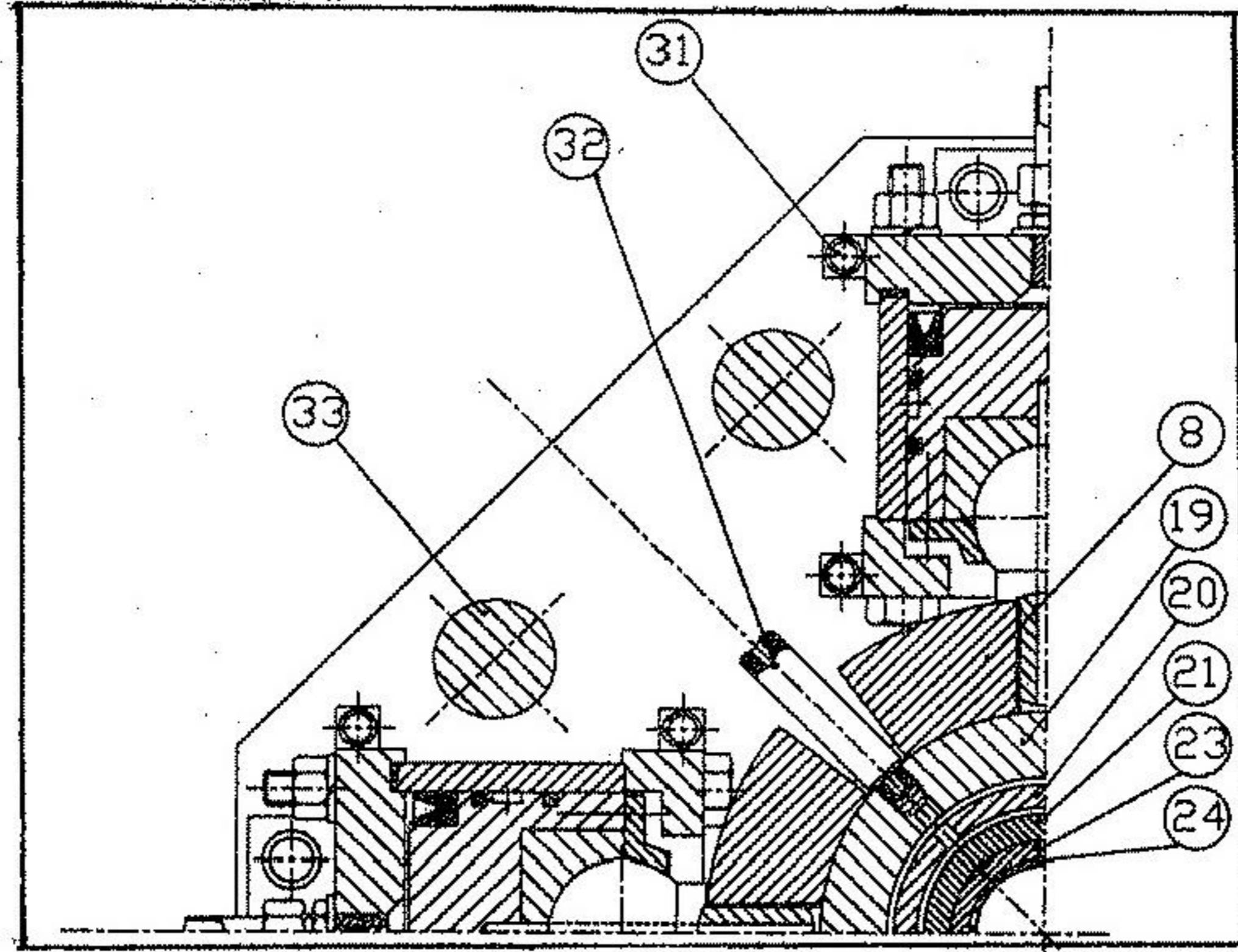


- |   |                                 |             |
|---|---------------------------------|-------------|
| 01-Test Yatağı Yuvası Konum Belirleyicisi | 06- Tahrik Yuvası               | 11-Piston   |
| 02-Yuvarlanmalı Yatak                     | 07-Destek Yatak Yağ Bağlantısı  | 12-O-ring   |
| 03-Tahrik Kasnağı                         | 08-Yükleme Pabucu               | 13-Nut-ring |
| 04-Tahrik Mili                            | 09-Hidrolik Silindir Alt Kapağı |             |
| 05-Kamalı Mil                             | 10-Küresel Mafsal               |             |

Şekil 1. Deney düzeneginin mil eksenine boyunca kesiti



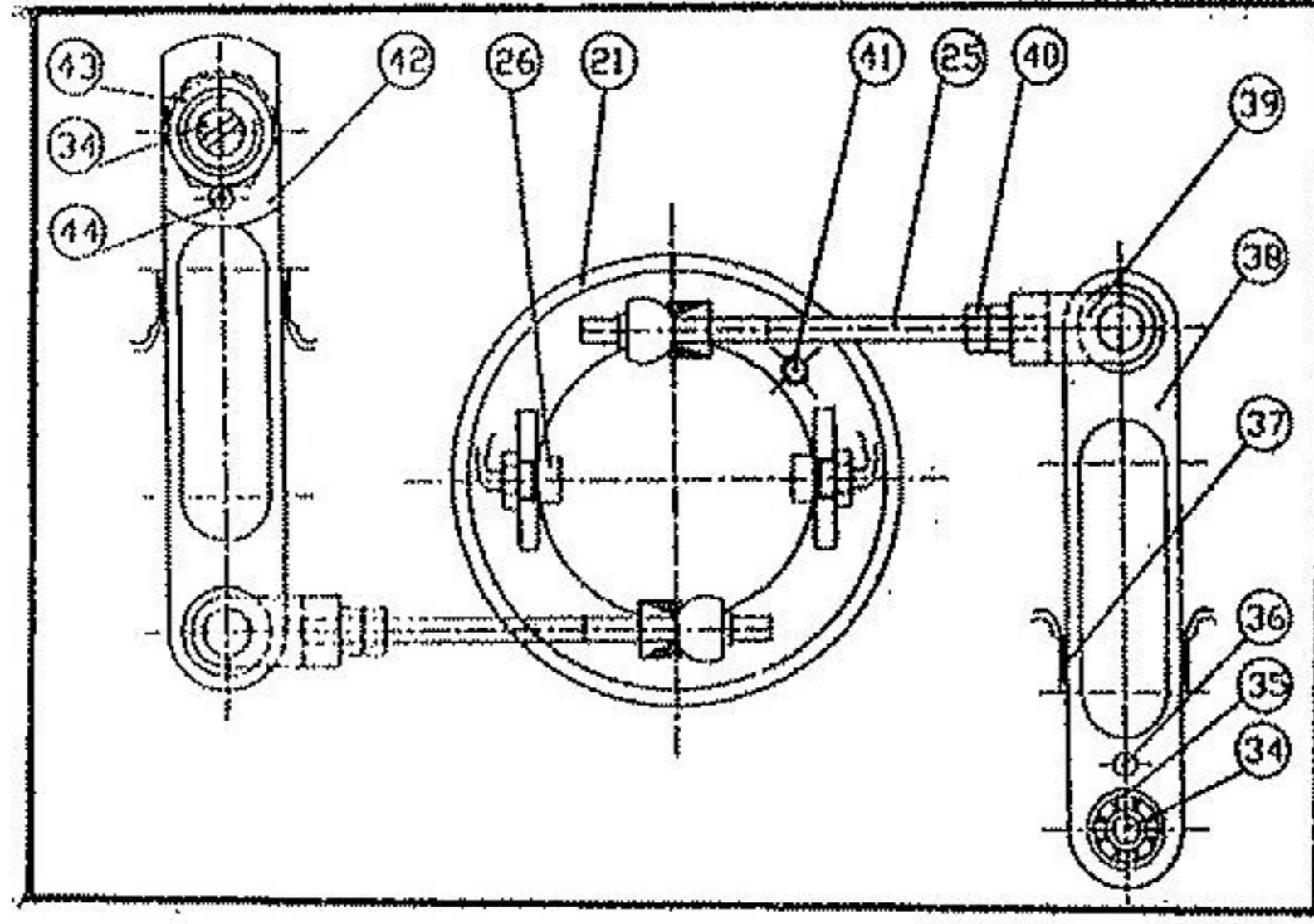
St 70 malzemeli milin (28) yüzeyi semantasyon ile sertleştirilerek iki yandan 0.025 mm radyal boşluklu bronz destek yataklarıyla (29) yataklanmıştır. Eksenel yük, milin serbest ucuna yerleştirilen yuvarlanmalı yatak (2) tarafından taşınmaktadır. Diğer uç ise bir kamalı mil ile tahrik miline (5) bağlıdır. 5.5 kW 'lık bir elektrik motorundan gelen güç kayış - kasnak sistemiyle (3) ayrıca yataklanmış olan tahrik miline gelmekte, kamalı mil (5) aracılığıyla deney miline ulaşmaktadır. Kamalı mil burada herhangi bir nedenle iki milin eksenleri üst üste düşmese bile eğilme, açılma ve eksenel kasılma ve sıkışmaları önleyerek önemli bir dengeleme görevi yapmaktadır.



14-Silindir Gömleği	21-Squeeze Filmlü Silindirik Parça	28-Mil
15-Hidrolik Silindir Kapağı	22-Dairesel Ölçüm Plakası	29-Destek Yatağı
16-Servo-Vana Yağ Bağlantısı	23-Yatak Kepi	30-Destek Yatak Yuvası
17- Hidrolik Silindir Destekleri	24- Test Yatağı	31-Konum Belirleyiciler
18-Ana Gövde Plakaları	25-Küresel Başlı Çekme Kolları	32-Squeeze Yağ Bağlantısı
19-Test Yatağı Yuvası	26-İndüktif Algılayıcı	33-Gövde Plaka Saplamaları
20-Konik Bilezik	27-Kapak	

Şekil 2. Deney düzeneğinin mil eksenine dik kesiti





34-Perno	38-Çelik Çubuk	42-Çelik Çubuk Bağlantı Pabucu
35-Yuvarlanmalı Yatak	39-Mafsal	43-Pabuç Bağlantı Somunu
36-Tespit Pim Deliği	40-Kontra Somunlar	44-Çelik Çubuk Tespit pimi
37-Strain-gauge	41-Yatak Yağ Bağlantısı	45-Dişli Kayış Kasnağı

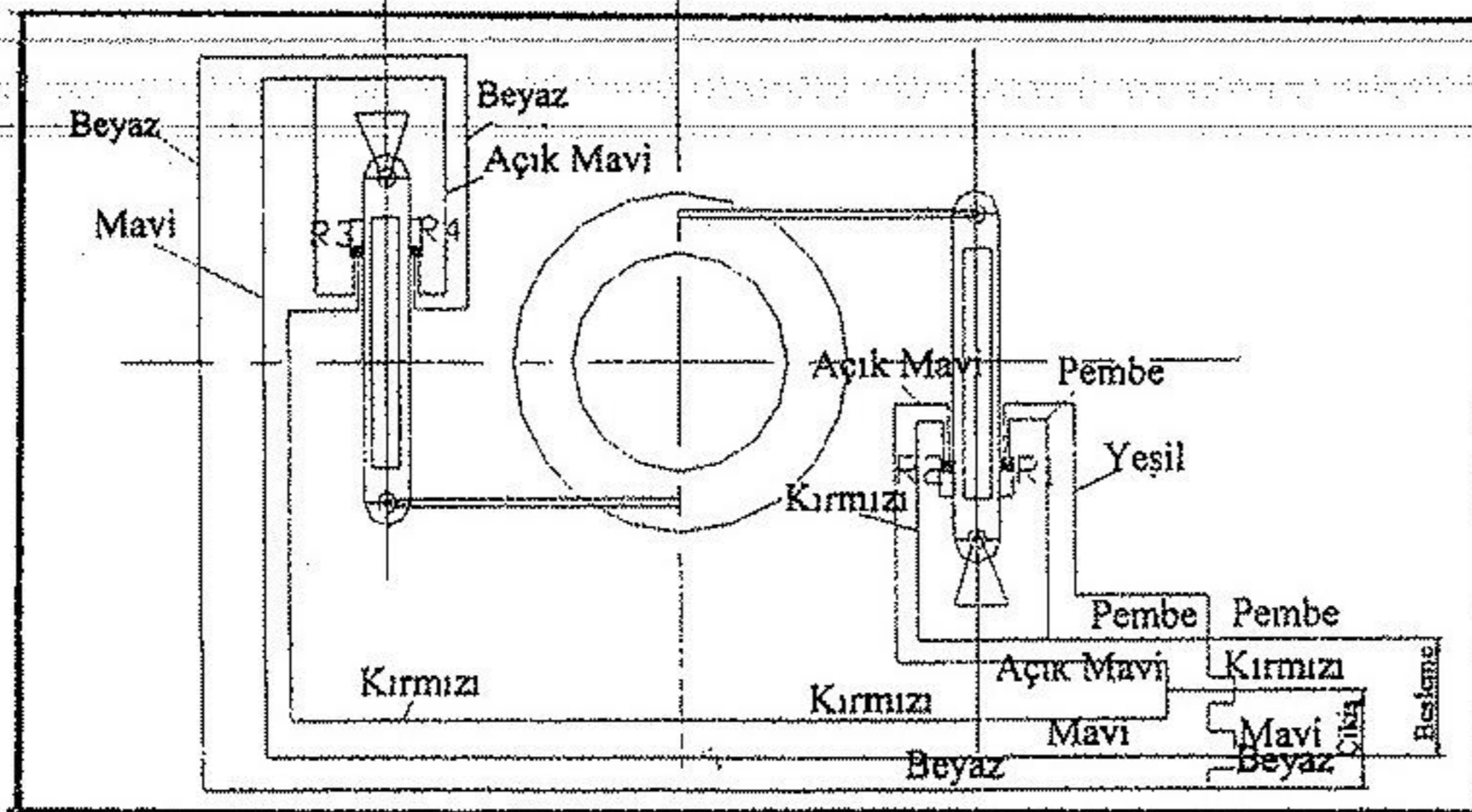
Şekil 3. Deney düzeneğine ait detay görünüm

## 2.2. Test Yatağının Montajı ve Sürtünme Kuvvetinin Ölçümü

İki parçalı test yatağının yarı parçaları ( 24 ) önce yatak kepi (23) içine yerleştirilmiştir. Yatak kepi de iki parça halinde olmakla birlikte bir bütün olarak işlenmiş ve sökölüp takma işlemleri sonunda daireselliğin bozulmaması için yanlardan hassas bir şekilde kılavuzlanmıştır. Yatak kepinin dış yüzeyinde çevresel bir yağ kanalı ve her bir parçada iki yağ deliği bulunmaktadır. Sahip olduğu et kalınlığı sayesinde oldukça rijit bir yapı veren yatak kepleri (23) test yatağı (24) yarı parçalarının daireselliği bozulmadan alın altına getirilmelerini sağlamaktadır. İçindeki test yatağı ile birlikte yatak kepi, sıkışmış yağ (squeeze) filmin oluşacağı silindirik parçanın (21) içine presle sıkıca yerleştirilmiştir. Sıkışmış filmin oluşacağı silindirik parçanın (21) dış yüzeyi taşlanarak iyi kaliteli bir yüzey elde edilmeye özen gösterilmiştir. Test yatağı, yatak kepi ile birlikte silindirik parçanın (21) tek yan yüzeyine çekme kollarının (25) bağlandığı dairesel ölçüm plakası (22) presle sıkıca yerleştirilmiştir. Hazırlanan konstrüksiyonun açık tarafından konik bilezik (20) geçirilmiştir. Silindirik parçanın (21) diğer boş tarafına, diğer dairesel ölçüm plakası (22) presle yerleştirilmiştir. İki dairesel ölçüm plakasının (22) arasında serbest halde bulunan konik bilezik (20) ile silindirik parça arasında metalik teması önlemek ve test yatağı (24) ve kepinin (23) serbestçe hareket etmesine imkan sağlamak için iki yüzey arasına çalışma süresince düşük basınçlı yağ gönderilmektedir. Buradaki boşluk miktarı 60 µm 'dir. Uygulanan yük bu boşlukta oluşturulan sıkışmış yağ filmi tarafından taşınmaktadır. Konik bileziğin (20) yan yüzeyleri hassas işlendikten sonra taşlanarak bir yatak yüzeyi kalitesi elde edilmeye çalışılmıştır. Konik bileziğin (20) yan yüzeyleri ile dairesel ölçüm plakaları (22) arasında 20 µm boşluk bırakılarak burada da yağ filminin oluşmasına imkan verilmiştir. Yan yüzeyler de çalışma süresince sürekli yağla beslenerek yüzeylerde herhangi bir metalik temasın oluşması önlenmektedir. Bu yüzeylerde herhangi bir metalik temas olmadığı deney süresince Ohmmetre vasıtasıyla elektrik direncinin ölçülmesi ile kontrol edilmiştir. Daha sonra konik bilezik (20) yine konik olarak işlenmiş yatak yuvasına (19) yerleştirilmiştir. Burada montajı tamamlanmış konstrüksiyon ile (test yatağı, yatak kepi, ölçme plakaları, silindirik parça, konik bilezik vs.) ekseni ile yatak yuvasının (19) eksenlerinin çakışmasına dikkat edilmiştir. Böylece yatağın tam orta ekseninden yüklenmesi sağlanmıştır. Konik yuvası oturtulduktan sonra emniyet somunu ile sistem rijit hale getirilmiştir. Mil tahrik edildiği zaman, tasarlanan konstrüksiyonda mil



dönme yönünde yatak boşluğundaki yağ test yatağı(24), yatak kepi(23), dairesel ölçme plakaları(22), silindirik parçanın (21) meydana getirdiği konstrüksiyonu dönmeye zorlamaktadır. Dönmeye zorlayan moment ise yatak sisteminde oluşan sürtünme momentidir. Dönmeye çalışan dairesel ölçme plakalarındaki kuvvet, çekme kolları (25) ile çelik çubuğu (38) eğmeye zorlamaktadır. Dairesel ölçme plakalarının her biri iki adet ters yönlerde küresel başlı çekme kolları (25) ile bağlanarak daha rijit bir yapı elde edilmektedir. Çekme kollarının (25) ölçme plakalarındaki bağlantısı küresel başlıklı yapılarak hem temasın çizgisel olarak gerçekleşmesi hem de tasarlanan sistemdeki titreşimlerden dolayı tasarlanan konstrüksiyonunun hareketine engel olmayacak bir serbestliğin sağlanması hedeflenmiştir. Çelik çubuk (38) gövde plakalarına (18) pabuçlarla (42) bir ucu ankastre, diğer ucu serbest olacak şekilde monte edilmiştir. Çelik çubuğun (38) içi boşaltılarak çok küçük bir kuvveti dahi algılaması sağlanmıştır. Çelik çubuğun (38) alt yüzeylerindeki büzülmeleri ve üst yüzeyindeki uzamaları algılayan HBM marka strain-gauge'ler (37), temizlenmiş yüzeylere özel yapıştırıcılarla yapıştırılmıştır. Strain-gaugeler tam Wheaston köprüsü oluşturulmuştur. Strain - gaugelerin bu şekilde bağlanması ile küresel başlı çekme kollarının (25) çalışma anında, tek bir kolun ve/veya her ikisinin aynı anda yüklenmesi halinde toplam uzama değişimini vermektedir. Bunun doğruluğu kalibrasyon işlemi yapılırken, çekme çubukların her biri önce ayrı ayrı yüklenip daha sonra her iki kol beraber yüklendiğinde elde edilen uzamaların sistemin toplam uzamasını verdiği tespit edilmiştir. Böylece çalışma anında kasma ve işletme şartlarından dolayı sadece bir tek kol yüklenmiş olsa bile sistemde toplam uzamayı dolayısıyla toplam sürtünme kuvvetini vermektedir. Strain-gauge'lerden alınan sinyaller önce KWS 3072 ve 3073 tiplerinde olan HBM marka kuvvetlendiriciye (amplifikatör) gönderildikten sonra kuvvetlendiriciden alınan sinyaller DSO 400 tipi GOULD marka osiloskoplara gönderilerek yüzeylerdeki şekil değişimi milivolt cinsinden ölçülmektedir. Pabuçlar (42) gövde plakalarına (18) hassas işlenen deliklerden kaymalı olarak monte edildikten sonra somun (43) ile sıkılarak rijit bir yapıya kavuşturulmaktadır. Çelik çubuk, perno (34) ile bağlantı pabuçlarına (42) sıkı geçme toleransları içinde vidalanarak tespit edilmiştir. Ayrıca küresel başlıklı çelik çubukları (25) hem merkezlemek hem de bir ucunun tam ankastre olması için pimler (44) vasıtasıyla hem pabuca (42) hem de gövde plakalarına (18) beraber belirli bir sıklıkla ve pimin ucundaki vidalarla tespit edilmiştir. Sürtünme kuvvetinin ölçümü için tasarlanan konstrüksiyonda strain-gauge'lerin elektriksel bağlantısı Şekil 4.'de, deney düzeneğine ve çalışma şartlarına ait veriler Tablo 1.'de verilmiştir.



Şekil 4. Strain-gauge'lerin elektriksel bağlantısı



TABLO 1. Deneysel veriler

Yatak iç çapı (mm)	47.750
Mil çapı (mm)	47.700
Radyal boşluk (mm)	0.050
Yatak genişliği (mm)	28
Mil hızı (d/d)	1250
Yatak besleme basıncı (bar)	1.5
Sıkışmış film için yağ besleme basıncı (bar)	1.8
Yağ debisi (lt/dakika)	0.25
Yağın spesifik gravitesi (15°C)	0.872
Yağın kinematik viskozite(cSt) ( 40°C)	22.6
Yağın kinematik viskozite(cSt) (100°C)	5.28
Viskozite indeksi (VI)	175
Yağın yatağa giriş sıcaklığı(°C)	29

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Deney ölçümlerinin osiloskoptan hem fotoğraf hem de video kamerasıyla görüntüleri alınmıştır. Krank açısını ölçmek için kullanılan optik algılayıcının çıkışı osiloskopta bir kanala, sürtünme kuvveti de diğer bir kanala bağlanarak osiloskopta sürtünme kuvvetinin değişimini, diğer bir osiloskopta ise yatay ve düşey yüklerin değişimini periyot boyunca görüntülenmiştir. Şekil 5.'de seçilen yük örneğinde yatağa uygulanan bileşke yük ile yatakta oluşan sürtünme kuvvetinin bir periyottaki değişimi verilmiştir. Bu yük örneğinde şekilden de görüldüğü üzere yatağa etkiyen yük sadece yatağın üst parçasına etkimektedir. Sistemde yükleme yatağın tespit edildiği gövdeden yapıldığı için yük şiddetinin en büyük olduğu bölgede mil yatağa daha fazla yaklaşmaktadır. Yük şiddetinin büyük olduğu bölgelerde sürtünme kuvveti de büyük, yükün küçük olduğu bölgelerde sürtünme kuvveti de küçük olmaktadır.