

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ YAKITLARININ YAĞLAMA YAĞINA KARIŞMASI DURUMUNDA TALL
YAĞI ASİDİ KATKISININ SEGMAN-SİLİNDİR GÖMLEĞİ ARASINDAKİ
SÜRTÜNME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

OLCAY SERT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖRKEM KÖKKÜLÜNK

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENİZ YAKITLARININ YAĞLAMA YAĞINA KARIŞMASI DURUMUNDA TALL
YAĞI ASİDİ KATKISININ SEGMAN-SİLİNDİR GÖMLEĞİ ARASINDAKİ
SÜRTÜNME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Olca SERT tarafından hazırlanan tez çalışması 23.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Aykut SAFA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz DENİZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Deniz yakıtlarının yağlama yağına karışması durumunda tall yağı asidi katkısının segman-silindir gömleği arasındaki sürtünme davranışlarının incelendiği yüksek lisans tez çalışmalarımda değerli bilgi ve birikimi ile bana rehberlik eden, çalışmanın gerçekleşmesinde kendi özverili çalışmasıyla da desteklerini benden esirgemeyen tez danışmanım sayın Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana rehberlik edip yardımını esirgemeyen, çalışmalarım sırasında beni çokça kez yönlendirip yardımcı olan, güzel fikirlerini benden esirgemeyen hocam Arş. Gör. Zafer AYDIN'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Gerek eğitim öğretim hayatım gerekse yaşamla ilgili mücadelelerimde yanımda olan özverili yardımlarını benden esirgemeyen, yüksek lisans sürecinde maddi manevi tüm desteklerini sunan, moral ve umut kaynağım sevgili babam Tuncay SERT'e ve annem Aynur SERT'de minnet ve saygıyla teşekkür ederim.

Mayıs, 2019

Olçay SERT


İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	25
1.3 Hipotez	25
BÖLÜM 2	
MATERYAL VE METOT	27
2.1 Yağlayıcı, Yakıtlar ve Katkı maddesi	27
2.2 Deney Düzeneği	30
2.3 Sürtünme Kuvvetlerinin Belirlenmesi	32
BÖLÜM 3	
DENEYSEL SONUÇLAR	34
3.1 Standart Yağlama Yağı Deneyleri.....	34
3.1.1 Sıcaklığın Etkisi	34
3.1.2 Devir Sayısının Etkisi	36
3.2 Yağlama Yağının MDO ile Kirlenme Durumu	36
3.2.1 Sıcaklığın Etkisi	36
3.2.2 Devir Sayısının Etkisi	39

3.2.3	Kirletici (MDO) Miktarı	41	
3.3	Yağlama Yağı-HFO İçeren Ölçümler	43	
3.3.1	Sıcaklığın Etkisi	43	
3.3.2	Devir Sayısının Etkisi	45	
3.3.3	Kirletici (HFO) Miktarı	47	
3.4	Yağlama Yağına Katkı Maddesi İlavesi Durumu	49	
3.4.1	Sıcaklığın Etkisi	49	
3.4.2	Devir Etkisi	51	
3.4.3	Katkı Miktarı	54	
3.5	Yağlama Yağı-MDO-Katkı Maddesi İçeren Ölçümler	55	
3.5.1	Sıcaklığın Etkisi	56	
3.5.2	Devir Sayısının Etkisi	62	
3.5.3	Katkı Maddesi Miktarının Etkisi	68	
3.6	Yağlama Yağı-HFO-Katkı Maddesi İçeren Ölçümler	73	
3.6.1	Sıcaklığın Etkisi	74	
3.6.2	Devir Sayısının Etkisi	80	
3.6.3	Katkı Maddesi Miktarının Etkisi	86	
BÖLÜM 4			
SONUÇ VE ÖNERİLER			91
KAYNAKLAR			94
ÖZGEÇMİŞ			102

SİMGE LİSTESİ

cSt Centistoke (Santistok)
°C Derece Celcius
µm Mikrometre



KISALTMA LİSTESİ

Al	Alüminyum
CO	Karbonmonoksit
Cu	Bakır
Fe	Demir
Fe ₃ O ₄	Magnetit
HFO	Heavy Fuel Oil
MDO	Marine Diesel Oil
MoS ₂	Molibden Disülfür
Ni-P	Nikel Fosfat
SAE	Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
Si	Silisyum
SRV	Schwingung, Reibung, Verschleiß (Titreşim, Sürtünme, Aşınma)
TiN	Titanyum Azodür
TBN	Toplam Baz Sayısı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Deney düzeneğinin şematik gösterimi..... 31
Şekil 2. 2	ABB ACS150 Inverter 31
Şekil 2. 3	Kistler 9027C 3 Yönlü kuvvet sensörü 32
Şekil 2. 4	Kistler 5073 Şarj Amplifikatörü 32
Şekil 2. 5	ManuWare yazılımı arayüzü 33
Şekil 3. 1	Standart Yağlama Yağı için sıcaklığın etkisi 35
Şekil 3. 2	Standart Yağlama Yağı için devir sayısının etkisi..... 36
Şekil 3. 3	%10 MDO için sıcaklığın etkisi..... 37
Şekil 3. 4	%20 MDO için sıcaklığın etkisi..... 37
Şekil 3. 5	%30 MDO için sıcaklığın etkisi..... 38
Şekil 3. 6	%10 MDO için devir sayısının etkisi 39
Şekil 3. 7	%20 MDO için devir sayısının etkisi 39
Şekil 3. 8	%30 MDO için devir sayısının etkisi 40
Şekil 3. 9	80 °C için kirletici (MDO) miktarı etkisi 41
Şekil 3. 10	120 °C için kirletici (MDO) miktarı etkisi 42
Şekil 3. 11	%10 HFO için sıcaklığın etkisi 43
Şekil 3. 12	%20 HFO için sıcaklığın etkisi 44
Şekil 3. 13	%30 HFO için sıcaklığın etkisi 44
Şekil 3. 14	%10 HFO için devir sayısının etkisi..... 45
Şekil 3. 15	%20 HFO için devir sayısının etkisi..... 46
Şekil 3. 16	%30 HFO için devir sayısının etkisi..... 46
Şekil 3. 17	80 °C için kirletici (HFO) miktarı..... 47
Şekil 3. 18	120 °C için kirletici (HFO) miktarı 48
Şekil 3. 19	%5 Katkı için sıcaklığın etkisi 49
Şekil 3. 20	%10 Katkı için sıcaklığın etkisi 50
Şekil 3. 21	%15 Katkı için sıcaklığın etkisi 51
Şekil 3. 22	%5 Katkı için devir sayısının etkisi..... 51
Şekil 3. 23	%10 Katkı için devir sayısının etkisi..... 52
Şekil 3. 24	%15 Katkı için devir sayısının etkisi..... 53
Şekil 3. 25	80 °C için Katkı miktarı etkisi..... 54
Şekil 3. 26	120 °C için katkı miktarı etkisi 55
Şekil 3. 27	%10 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi..... 56
Şekil 3. 28	%10 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi..... 56

Şekil 3. 29	%10 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	57
Şekil 3. 30	%20 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	58
Şekil 3. 31	%20 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	58
Şekil 3. 32	%20 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	59
Şekil 3. 33	%30 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	60
Şekil 3. 34	%30 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	60
Şekil 3. 35	%30 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi.....	61
Şekil 3. 36	%10 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	62
Şekil 3. 37	%10 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi	62
Şekil 3. 38	%10 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi	63
Şekil 3. 39	%20 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	64
Şekil 3. 40	%20 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi	64
Şekil 3. 41	%20 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi	65
Şekil 3. 42	%30 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	66
Şekil 3. 43	%30 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi	66
Şekil 3. 44	%30 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi	67
Şekil 3. 45	80 °C, %10 MDO için Katkı miktarı	68
Şekil 3. 46	120 °C, %10 MDO için Katkı miktarı	69
Şekil 3. 47	80 °C, %20 MDO için Katkı miktarı	70
Şekil 3. 48	120 °C, %20 MDO için Katkı miktarı	71
Şekil 3. 49	80 °C, %30 MDO için Katkı miktarı.....	72
Şekil 3. 50	120 °C, %30 MDO için Katkı miktarı	73
Şekil 3. 51	%10 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi	74
Şekil 3. 52	%10 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi	74
Şekil 3. 53	%10 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi	75
Şekil 3. 54	%20 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi	76
Şekil 3. 55	%20 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi	76
Şekil 3. 56	%20 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi	77
Şekil 3. 57	%30 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi	78
Şekil 3. 58	%30 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi	78
Şekil 3. 59	%30 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi	79
Şekil 3. 60	%10 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	80
Şekil 3. 61	%10 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi	80
Şekil 3. 62	%10 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi.....	81
Şekil 3. 63	%20 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	82
Şekil 3. 64	%20 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi.....	82
Şekil 3. 65	%20 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi	83
Şekil 3. 66	%30 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi	84
Şekil 3. 67	%30 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi	84
Şekil 3. 68	%30 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi	85
Şekil 3. 69	80 °C, %10 HFO için Katkı miktarı	86
Şekil 3. 70	120 °C, %10 HFO için Katkı miktarı	87
Şekil 3. 71	80 °C, %20 HFO için Katkı miktarı	88
Şekil 3. 72	120 °C, %20 HFO için Katkı miktarı	88
Şekil 3. 73	80 °C, %30 HFO için Katkı miktarı	89
Şekil 3. 74	120 °C, %30 HFO için Katkı miktarı	90

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Kullanılan yağlayıcının özellikleri	27
Çizelge 2. 2 Kullanılan Marine Diesel Oil özellikleri	28
Çizelge 2. 3 Kullanılan Intermediate Fuel Oil özellikleri	28
Çizelge 2. 5 Kullanılan Tall Yağı katkısının özellikleri	29

**DENİZ YAKITLARININ YAĞLAMA YAĞINA KARIŞMASI DURUMUNDA TALL
YAĞI ASİDİ KATKISININ SEGMAN-SİLİNDİR GÖMLEĞİ ARASINDAKİ
SÜRTÜNME DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Olca SERT

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK

Dizel motorlarda normal çalışma şartları altında birbirinden farklı istenmeyen güç kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpların azaltılması için günümüzde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Dizel motorlarda meydana gelen bu kayıpların büyük bir kısmını sürtünme kayıpları oluşturmaktadır. Ayrıca, dizel motorlar farklı dinamik şartlar altında çalıştılarından, temas eden hareketli yüzeylerinde mutlaka sürtünme oluşmaktadır. Dizel motorlarda meydana gelen bu sürtünmeleri azaltmak amacıyla çeşitli önlemler alınmıştır. Bu alınan önlemlerle sürtünmelerin azaltılması ile veriminin artırılması sağlanmış olur. Ayrıca hareketli parçaların üretildiği malzemeler, geometrisi ve arayüzeylerinin yağlanması gibi farklı faktörlerle sürtünme azaltılmaya çalışılmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda yakıttan elde edilen enerjinin bir kısmı güç üretmek için kullanılırken bir kısmı da kayıp halinde sistemde farklı enerji türlerine dönüşmektedir. Bu kayıpların büyük bir bölümünü sürtünme kayıpları oluştururken bunlar içerisinde piston segmanı- silindir gömleği sürtünmesinin etkisi oldukça fazladır. Silindir içerisinde yanan yakıtın etkisiyle birlikte yüksek basınçlar ve yüksek ısılar meydana gelmektedir. Meydana gelen değişken koşullarla birlikte piston segmanı-silindir gömleği arasında farklı zamanlarda farklı büyüklüklerde sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır.

Dizel motorlarda piston segmanı-silindir gömleği arasında yağlamayı sağlamak amacıyla yağlama sistemi tasarlanmaktadır. Bu yağlama sistemi ile piston segmanlarının

hareketinin de yardımıyla yağ filmi oluşturarak bölgedeki sürtünmelerin azaltması amaçlanmaktadır. Bu bölgede oluşan yağ filminin performansında motor devri, silindir gömleği sıcaklığı ve yağlayıcı içeriği önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, motorun çalışması sırasında yakıt, pistonun üzerine püskürtülmekte ve bu sırada yakıtın yağlama yağının içeriğine karışması kaçınılmaz olmaktadır. Yağlama yağının içerisine karışan yakıtla birlikte yağlama performansını etkileyen parametreler de değişmektedir. Bunu gidermek amacıyla uygulamada farklı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu katkı maddeleri yağlama yağının, yağlama performansını korumasını sağlayarak farklı koşullar altında yağ filminin bozulmasına engel olmayı amaçlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada, içten yanmalı bir motorun piston ve silindir gömleği tribolojik testlerin gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla modifiye edilmiş bir test düzeneğinde farklı koşullar altında sürtünme davranışları incelenmiştir. Serbest halde bırakılan silindir gömleğine bir kuvvet sensörü bağlanarak sürtünme kuvvetleri ölçülmüştür. Yapılan deney çalışmalarında 100 d/d, 150 d/d, 200 d/d olmak üzere üç farklı motor devirleri; 80 °C ve 120 °C olmak üzere iki farklı silindir gömleği sıcaklıkları için ölçümler alınmıştır. Yağlayıcı olarak standart yağlama yağı; içeriğinde MDO kirleticisi bulunan yağlayıcı, içeriğinde HFO kirleticisi bulunan yağlayıcı, tall yağı katkısı içeren yağlayıcı ve MDO ile kirlenmiş yağlama yağına tall yağı katkısı katılan yağlayıcı kullanılmıştır.

Yapılan deneylerin sonucunda sıcaklığın ve devir sayılarının sürtünmede önemli parametreler olduğu görülmüştür. Sıcaklık arttıkça piston segmanı- silindir gömleği arasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin arttığı ve devir sayılarının artmasıyla sürtünme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Yağlama yağının MDO ile kirlenmesi durumunda bölgede ölçülen sürtünme kuvvetlerinin arttığı ve yağlama yağının HFO ile kirlenme durumunda bölgedeki sürtünme kuvvetlerinin bir miktar azaldığı fakat HFO miktarının artmasıyla birlikte artış gösterdiği görülmüştür. Tall yağı asidi katkısının her iki yakıt kirlenme durumunda etkili olduğu görülmüştür. Belirli miktarlarda tall yağı asidi katılmasıyla hem MDO hem de HFO kirlenme durumlarında bölgede oluşan sürtünmenin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme, Segman, Silindir Gömleği, Tall Yağı, Gemi Dizel Makinesi

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF TALL OIL FATTY ACID ADDITIVE ON
PISTONRING-CYLINDER LINER FRICTION BEHAVIOR IN CASE OF MARINE
FUELS IN LUBRICATION OIL**

Olcay SERT

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Görkem KÖKKÜLÜNK

In diesel engines there are different unwanted power losses that occur under normal operating conditions. There are various studies to reduce these losses. Most of the losses in the machines are caused by friction losses. Because of the machines operating under different dynamic conditions, friction forms on their contacting moving surfaces. Different precautions have been taken to reduce these frictions that occur in the machines. The precautions that have been taken enables the machines to work more efficient and to have less frictions. Friction is tried to be reduced by different parameters such as the materials in which moving parts are manufactured, the geometry of these parts and the lubrication of the interfaces of these parts.

Some of the energy obtained from the fuel in internal combustion engines is used to generate power, whereas some of them cannot be used in favor of the engine due to their malfunctional energy transformation which do not work for the system. Most of these losses are caused by friction losses, while the piston ring-cylinder liner friction is the significant one in these losses. High pressures and high heat occur with the effect of fuel burning in the cylinder. With various conditions forming, different amounts of frictions occur at different periods between piston ring and cylinder liner.

There is a lubrication system to ensure lubrication between the piston ring and cylinder liner. This lubrication system aims to reduce the friction in the area by forming the oil film with the help of the movement of the piston rings. Engine speed, cylinder liner temperature and lubricant content play an important role in the performance of the oil film formed in this area. During the operation of the engine, the fuel is injected on the piston and it getting mixed with the content of the lubricating oil is unavoidable. Due to the fuel that get mixed with the lubricating oil, the parameters that affect the lubrication performance are changed. In practice, different additives are used to solve this problem. These additives are used to prevent the deterioration of the oil film under different conditions by ensuring that the lubricating oil maintains its lubricating performance.

In the study, the piston and cylinder liner of an internal combustion engine were examined under different conditions in a modified test equipment to enable the tribological tests to run. The friction forces were measured by attaching a force sensor to the cylinder liner, which was loose. In the experimental study, measurements were taken for three different engine cycles, 100, 150, 200 rpm and two different cylinder liner temperatures of 80 ° C and 120 ° C. Standard lubricating oil, MDO contaminative lubricating oil, HFO contaminative lubricating oil, lubricating oil with the tall oil additive and MDO contaminative lubricating oil with the tall oil additive are used in the experiment.

As a result of the experiments, it was found that temperature and speed numbers are important parameters in friction. It was determined that the friction forces between piston ring and cylinder liner increased while the temperature increased, and it is determined that friction forces decrease with increasing engine speed. It was observed that the friction forces measured in the area increased when the lubricating oil was contaminated with MDO, and In case of contamination of lubricating oil with HFO, it has been found that the friction forces in the region decrease according to standard oil measurements but friction forces increased with increasing amount of HFO. Tall oil acid additive was found to be effective in both fuel contamination conditions. It has been observed that the friction in the region is reduced in both MDO and HFO contamination conditions by adding certain amounts of tall oil acid.

Keywords: Friction, Piston Ring, Cylinder Liner, Tall Oil, Marine Engine

GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda verimliliği arttırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İçten yanmalı motorlar nispeten düşük termal ve mekanik verimleri içerir, motorun çalışması sonucunda kullanılmayan atık enerji, yakıttan elde edilen ısı enerjisinin çok önemli bir kısmı oluşturur [1]. Yakıttan üretilen ısının diğer bir kısmı ise sürtünmeler veya ısı transferiyle dışarı atılmasına harcanır. Bu durum motor performansını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Motor performansını iyileştirme çalışmalarında daha çok yakıt tüketiminin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, motorun temas halindeki bileşenlerinin göreceli hareketlerine bağlı olarak sürtünme kaybının ve mekanik kayıpların içerisindeki yerinin büyük ölçüde doğru olarak tahmin edilmesi önem arz eder [2]. Motor kayıplarının nedenleri termodinamik ve parazitler olarak sınıflandırılabilir. Termodinamik kayıplar: Motor yüzeyleri boyunca iletme, yağlayıcı üzerinden konveksiyon yoluyla ve egzoz kaynaklı taşınma yoluyla meydana gelen ısı kayıplarının sonucu oluşur. Parazitik kayıplar: Pompalama kayıpları, mekanik dengeleri, gürültüyü, titreşimi ve sürtünme gibi hareketli parçalardan kaynaklanan verim kayıplarını kapsar [3].

Motorlarda verimliliği arttırmak için yakıttan elde edilen enerjinin ne kadarının yararlı işe dönüşebildiği önemlidir. Yararlı iş miktarını arttırmak için ise motorlardaki iş kayıplarını en aza indirmek gerekir. İçten yanmalı bir motordaki mekanik kayıplar, tüketilen yakıtın toplam enerjisinin yaklaşık %10'unu oluşturur. Bu miktar, tam yükte etkin gücün yaklaşık %25'ini temsil eder [4]. Bu iş kayıplarının içerisinde sürtünmenin büyük bir yere sahip olduğu görülmektedir. Motorlardaki sürtünme seviyeleri, daha yüksek yanma basınçları ve bunun sonucunda tasarım geometrisindeki farklılıklar

nedeniyle daha belirgindir. Bu nedenle motor sürtünmesini azaltmak, araçların enerji verimliliğini arttırmada önemli bir rol oynamaktadır [5]. Hem farklı parametrelerden etkilenmesi ile çeşitli müdahale mekanizmalarına sahip olması hem de tüm kayıpların içerisinde büyük yer kaplaması, sürtünme kuvvetini önemli bir konu haline getirmiştir. Sürtünme kayıplarındaki azalma, enerjinin korunumu için hayati bir gerekliliktir, ancak karmaşık hareket durumlarından dolayı, kayıpların mekanizmasını tam olarak belirleyebilmek çok zordur [6]. Sürtünme kayıpları, termodinamik döngü sırasında pistondaki gazların yaptığı net çalışmadan doğrudan çıkarılır. Buna göre, sürtünme kayıplarındaki herhangi bir azalma, ısı verimi doğrudan arttırmaktadır [7].

Sürtünme kuvvetlerinin içerisinde önemli bir paya sahip olan piston segmanı- silindir gömleği çifti, sürtünme konusunda en etkili noktalardan biridir. Bu nedendir ki piston düzeneği sürtünmesinin azaltılması, mekanik verimi arttırmanın önemli bir yoludur. Çünkü piston düzeneği sürtünmesi, motorun toplam mekanik güç kaybının çoğunluğunu oluşturur. Piston segmanlarının hareketli yüzeyleri ve bir silindir gömleğinin tribolojisi, artan motor gücü ile son derece karmaşık olayları içerir [8]. Piston segmanı-silindir gömleği sürtünmesi: Yanma odasıyla etkileşimi, farklı kuvvet yönleri ve büyüklüklerine maruz kalması ve farklı hızlarda dinamik çalışma koşuluna sahip olması sebebiyle birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda piston segmanı-silindir gömleği çiftinin sürtünmesini etkileyen bazı faktörler belirlenmiş ve bazı çalışmalarda ise bu faktörlerin etkilerini azaltmaya yönelik konuların etkinliği incelenmiştir. Piston segmanları yalnızca motor sürtünmesi üzerinde değil aynı zamanda emniyet gibi motor performansını etkileyen diğer önemli faktörler üzerinde de güçlü bir etkiye sahiptir [9]. Bu nedenle piston segmanı- silindir gömleği arasındaki yağlama performansını arttırmak için çeşitli çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Piston segmanı- silindir gömleği arasındaki sürtünme çalışma prensipleri gereğince meydana gelmek zorundadır. Çünkü segmanlar sızdırmazlığı sağlayarak yanma basıncının yanma odasında kalmasını sağlamak ve sıkıştırma görevlerini yerine getirmek zorundadır. Bu nedenle segmanlar sahip oldukları tansiyonla birlikte silindir gömleği üzerine bir kuvvet uygulamaktadır. Bu sayede sızdırmazlığı sağlayıp aynı zamanda da silindir gömleği üzerinde bir sürtünme kuvveti oluşturmaktadır. Yapılacak

olan çalışmalarda ana amaç sürtünme kuvvetini ortadan kaldırmak yerine segmanların görevlerini yerine getirirken bu noktada oluşan sürtünmeleri azaltmak olmalıdır.

1.1 Literatür Özeti

Tung ve diğerleri; daha verimli motor bileşenleri, geliştirilmiş motor yağları ve yüksek performanslı kaplama malzemeleri gibi motorla ilgili gelişmeleri ele almışlardır. Bu sayede piston segmanı-silindir gömleği sisteminin tribolojik performansı üzerindeki etkilerini inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmanın asıl amacının, sıcaklık, yük, yağ bozulması, yüzey pürüzlülüğü ve malzeme özelliklerinin etkilerini göz önünde bulundurarak piston segmanı-silindir gömleği sistemi için abrazif bir aşınma modeli geliştirmek olduğunu belirtmişlerdir. Önermiş oldukları yeni aşındırıcı; aşınma modelinin sıcaklık, yük, yağ bozulması, yüzey pürüzlülüğü ve malzeme özelliklerinin etkilerini ele aldığını söylemişlerdir [10].

Livanos ve diğerleri motor piston düzeneği için bir sürtünme modeli geliştirmişlerdir. Yaptıkları analizlerde, sıkıştırma segmanlarının, yağ kontrol segmanlarının, piston eteğinin ve piston piminin sürtünme durumlarını dikkate almışlardır. Deney modelini dört zamanlı (orta devirli) gemi dizel motoruna uygulamışlar ve motor hızı ile yükün sürtünme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında diğer deneysel modellerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarında piston eteğinin sürtünme kuvvetlerine etkisi en yüksek eleman olduğunu ve piston piminin ise en düşük etkiye sahip eleman olduğunu gözlemlemişlerdir. Tüm silindir-piston ekipmanları içerisinde sürtünme kayıplarının, yakıttan elde edilen gücün %2,6-%5 ve toplam fren gücünün %5,8-%13,6'lık kısmını oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar piston tertibatındaki sürtünmelerin %20 azalma, yakıt tüketiminde %0,52-1 oranında azalacağını belirtmişlerdir [11].

Felter ve diğerleri, sürtünme ve aşınma performansını arttırmak için, piston segmanları ve silindir gömleği arasındaki tribolojik arayüz konusunu hem deneysel hem de teorik bakış açısıyla ele almışlardır. Kaviteleşmenin modellenmesi için basınç-yoğunluk ilişkisini kullanmışlardır. Deneyleri farklı geometrilere ve çalışma hızları koşullarına bağlı olarak yapılmıştır. Deney sırasında sürtünme kuvveti ile simüle edilmiş değerler arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada iki zamanlı dizel motorlarda piston

segmanı ile silindir gömleği arasındaki arayüzü doğru bir Şekilde modelleyebilmenin ilk adımlarını atmıŐlardır [12].

Choi, Lee ve Park tek boyutlu Reynolds denklemini kullanarak, bir dizel motordaki birinci sıkıştırma segmanı ile silindir gömleği arasındaki yağlamanın sayısal bir simülasyonunu oluşturmuşlardır. Sabit yağlama rejiminde ve sabit motor hızında yağlama miktarı deđiŐtirilerek oluşturulan ŐeŐitli yanma basınĉları iĉin kavitasyon sınırlarını, sürtünme kuvvetlerini, sürtünme katsayılarını, yağlama rejimlerini ve gĉ kayıplarını belirlemişlerdir. Yapılan analiz sonucunda, üst ve alt ölü nokta yakınlarında kavitasyon oluŐmadıđını belirtmişlerdir. Simülasyon sonucunda, sınır sürtünme kuvvetinin viskoz sürtünme kuvvetinden ĉok daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Gĉ kaybının, silindir gömleğinin orta bölümlerinde meydana geldiğini tespit etmişlerdir. [13].

Pettavino ve diğerleri, iĉten yanmalı motorun yakıt tüketimini azaltmanın önemli olduğunu belirterek motor sürtünmesini en aza indirmek amacıyla bir matematik model oluşturmuşlardır. Yapılan bu ĉalıŐmada ana sürtünme kaynağını piston segmanı-silindir gömleği sürtünmesi olarak kabul etmişlerdir. ĉalıŐmalarında parabolik Őekilli bir parĉa ile düz bir parĉadan oluşan bir piston segmanının, sürtünme ve yük taşıma kapasitesini analiz etmişlerdir. Sınırsız geniŐlikteki segman iĉin, sürtünme kuvveti değerini L uzunluklarına bağlı bir fonksiyon olarak vermiŐlerdir [14].

Hamid ve diğerleri, yaptıkları ĉalıŐmada piston dinamiği ve yağlama iĉin sayısal bir model sunmuşlardır. Yağlayıcı ve piston etek tasarımı parametrelerinin, piston dinamiği ve yağlama performansı üzerindeki adyabatik etkisini incelemişlerdir. Adyabatik ısıtmanın piston yanal hareketini ve yağlama performansını önemli lĉde etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Yağlama yağı sıcaklığındaki kayda değer bir artışın; yağlama yağının viskozitesini düŐürdüđünü, bundan dolayı da yağlama yağı taşıma kapasitesinin azaldığını göstermişlerdir. Pistonun, hareketleri dolayısıyla silindir gömleğine uygulamıŐ olduğu yanal kuvvetlerdeki artışın, yağ filmi kalınlığını azalttığını belirtmişlerdir. Bu nedenle de piston eteğine etkiyen sürtünme kuvvetinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir [15].

Ma ve diğeri, yaptıkları çalışmada piston segmanlarının tribolojik performansı incelenmişlerdir. Bu durumun, piston montaj tasarımında önemli bir rol oynadığını belirterek piston segman tertibatının yağlamasının kapsamlı bir analizini geliştirmişlerdir. Kullanmış oldukları modelde film kalınlığının tek tip olduğu durumlarda elde edilen simülasyon sonuçları, modern bir benzin motorunda piston segman takımını simüle etmiş, modelin özelliklerini göstermiş ve bazı önemli faktörlerin performans özelliklerine etkilerini anlatmışlardır. Yazarlar, geliştirilen modelin, içten yanmalı motorlar için hem dairesel hem de bozulmuş yüzeye sahip silindir gömleği-segman ikililerinin tribolojik performansını analiz etmekte kullanılabileceğini belirtmişlerdir [16].

Cho ve diğeri piston segmanlarının sürtünme davranışını incelemek için bir sürtünme kuvveti ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Ölçüm sistemini, ikincil piston hareketinin etkisi ile silindir çeperinin ve yağın sıcaklığını kontrol etmek için tasarlamışlardır. Kovan şeklindeki piston segmanı ile silindir gömleği arasındaki sürtünme kuvveti, tam yağlama koşullarında ölçülmüştür. Baskın yağlama şekillerini sınır, karışık ve hidrodinamik yağlama ile orta bölge, ölü noktalarda bunların kombinasyonları olarak beş sürtünme moduna göre sınıflandırmışlardır. Bu modları sürtünme katsayılarının hem orta bölgede hem de ölü noktalarda değerlendirildiği bir Stribeck diyagramında tanımlamışlardır [17].

Bhatt ve diğeri yaptıkları çalışmada içten yanmalı bir motorun performansını etkileyen temel tribolojik parametrelerin incelenmesine odaklanıp ortalama Reynolds denkleminde yararlanarak bir matematik model geliştirmişlerdir. Parametrik çalışmalarını 2 zamanlı içten yanmalı motorlar için gerçekleştirmişlerdir. Yağ filmi kalınlığı, piston sürtünme kuvveti ve segman sürtünme varyasyonlarını; motor hızı, yağlayıcılar ve farklı segman geometrisi gibi birçok parametre altında simüle etmişlerdir. Piston sürtünme kuvveti, segman sürtünme kuvveti ve yağ filmi kalınlığının hesaplanmış sonuçlarını, yayınlanmış literatürle karşılaştırmışlardır [18].

Fox, çalışmasında bir simülasyon oluşturmuştur. Bu simülasyonun amacının, kayan arayüzlerde, sürtünmeyi azaltmaya yönelik işlemlerin yakıt ekonomisi iyileştirmelerini hesaplamak olduğunu belirtmiştir. Simülasyonun tipik bir uygulamasını

büyük kamyon motorlarında gerçekleştirmiştir. Çalışmasının sonucunda, motorun yüzey aşınmasına karşı korunabildiği durumda, yüzey işleme yöntemi ve yağ viskozitesinin azaltılması aynı anda gerçekleştiği durum için %4'ü aşan yakıt ekonomisi sağlanabileceğini belirtmiştir [19].

Bolander ve Sadeghi, bir piston segmanı-silindir gömleği temas yüzeyindeki yağlama durumunu ve sürtünme kayıplarını araştırmak için bir deney cihazı ile analitik bir model geliştirmişlerdir. Piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünmeyi çeşitli koşullar altında ölçmek için deney düzeneği kullanmışlardır. Deneysel ve analitik sürtünme sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda birbirleriyle paralel değerler elde etmişlerdir. Modelin, çapraz çizgili yüzeye sahip piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünmeyi analiz etmek için kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır [20].

Stanley ve diğerleri, piston segman takımının ve piston eteğinin basitleştirilmiş bir segman düzeneği sürtünme modelini geliştirmişlerdir. Segman modelinin hem karma hem de hidrodinamik yağlamayı dikkate almakta olduğunu; piston eteği modelinin sadece hidrodinamik yağlamayı dikkate almakta olduğunu belirtmişlerdir. Piston eteği modeli için sürtünme kuvvetinin; etek geometrisi, piston hızı, yağ viskozitesi ve varsayılan sınır koşulları arasında ilişki oluşturduğunu söylemişlerdir. Segmanlar arası yetersiz yağlamanın, sınır koşullarının uygun şekilde değiştirilmesiyle ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Son olarak, geliştirdikleri modelleri tek silindirli dizel motorda yapılan ölçümlerle karşılaştırmış; teorik hesaplamalar ölçülen verilerin gerçeğe uygun olduğunu görmüşlerdir [21].

Garner ve diğerleri çalışmalarında belirlemiş oldukları gerçekçi sınır koşulları için, çok fazlı bir akışın Navier-Stokes çözümünü sunmuşlardır. Sıkıştırma segmanı-silindir gömleği arasındaki boşluğun, kısmi yağlama rejimine neden olduğunu belirtmişlerdir. Analizlerinin sonunda segman temas yüzeyinin, tribolojik koşulları optimize etmekteki etkisini belirlemişlerdir. Belirlenen sonuçlardan film kalınlığını ve sürtünmeyi optimize edecek bir optimal segman yüzey genişliğinin bulunamadığını belirtmişlerdir. Malzeme ve üretim kısıtlamaları ile birlikte, pratikte segman eksenel yüzey genişliği seçiminin, çalışmada vurgulanan sonuçlarından daha düşük değişiklik sınırlarına sahip olduğunu bulmuşlardır [22].

Mishra çalışmasında, bir piston segman takımının ve silindir gömleğinin teması sırasında gerçekleşen motor sürtünme kaybı kaynaklarını analiz etmek için model geliştirmiştir. Yağ film kalınlığı, film hidrodinamik basıncı, temas basıncı, aşınma oranı, silindir içi gaz kaçışları ve yağ tüketimi gibi yağlama performans parametrelerini değiştiren etmenle, ayrı grafikler kullanılarak hesaplamış ve analiz etmiştir [23].

Usman ve Park gerçek motor koşulları altında çalışan piston segmanlarının yağlama özelliklerini değerlendirmek ve optimize etmek için karma yağlama modeli geliştirmişlerdir. Farklı şekillerde ve yönlerde yüzey dokusu desenlerini dikkate alarak enerji kaybını en aza indirmek için model üzerinde optimizasyon yapmışlardır. Optimize etmiş oldukları doku desenlerinin performansları karşılaştırmışlardır. Silindir gömleği ile değişken derecelerde uyumluluk gösteren segmanlar için, optimize edilmiş geometrik parametreleri değerlendirmişlerdir. Kayma yönündeki normal yüzey olukları, hidrodinamik rejimde en iyi performansı göstermişken, mikro çukurlar pistonun ölü noktalardaki yön değişimlerinde daha iyi performans göstermiş olduğunu gözlemlemişlerdir [24].

Bolander ve diğerleri yüzey değişikliklerinin, yağlama durumuna ve piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünme kaybına etkilerini araştırmak için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Sınır koşullarının ve karışık yağlama rejiminin etkilerini, pistonun hareketi boyunca temas bölgesinin detaylı bilgilerini hesaplamışlardır. Bir karışık yağlama modelini kullanarak çalışmaya dahil etmişlerdir. Silindir gömleği yüzeyinde, dairesel profilli çukurlar oluşturmuşlar ve etkilerini incelemişlerdir. Modifiye edilmiş silindir gömleğinin, ortalama sürtünme katsayısını %55-65 oranında azalttığı, pistonun tam döngüsü başına toplam enerji kaybının %20-40 oranında azaldığı belirtmişlerdir [25].

Xu ve diğerleri çalışmalarında iki piston segmanı ve silindir gömleği içeren yağlama modelleri ile deneysel sonuçları birbiriyle karşılaştırarak modelin gerçekleştirilebilirliğini değerlendirmişlerdir. Üst sıkıştırma segmanının simülasyonundaki sayısal sonuçlarında, oluşturdukları modelin piston segmanının ve silindir gömleğinin gerçek yüzey topografilerine bağlı olarak hidrodinamik, karışık ve sınır yağlama rejimlerini sergilediğini gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda geliştirmiş oldukları modellerin,

deneysel çalışmalar sırasında ortaya çıkıp sonuçları etkileyen faktörleri ortadan kaldırarak sürtünme mekanizması analizinin kolaylaşacağını belirtmişlerdir [26].

Green ve Lewis yapmış oldukları derleme makalelerinde dizel motorun ürettiği kurumun bir kısmının yağlama yağına karıştığını belirterek, kurum ile kirlenen yağlayıcının önemli miktarda aşınmaya sebep olduğunu söylemişlerdir. Yağlayıcı içerisinde bulunan kurum miktarının, aşınmayı daha da artırabileceği olduğu ve böylece yağlama ihtiyacını arttırdığını göstermişlerdir. Yüksek kurum konsantrasyonlarının ortamın asiditesini artıracaklarını belirterek yüksek sıcaklıklarda, pistonun etrafında korozyon oluşturabileceğini söylemişlerdir. Çalışmalarında, kurum nedeniyle motor aşınmasının mevcut mekanizmasını ve yapılan önceki araştırmaları gözden geçirmişlerdir [27].

Charoo ve diğerleri SAE 20W50 motor yağında farklı miktarlarda hegza-bor nitrür nanopartiküllerinin sürtünme ve aşınma davranışı çeşitli yüklerde incelemişlerdir. Deneylerinde yağlama yağına hegza-bor nitrür katarak karışımın aşınma önleme özelliklerini aşınma test cihazında incelemişlerdir. Ayrıca, oluşturdukları yağlama yağı karışımının piston segmanı-silindir gömleği üzerindeki sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Yağlayıcı içine karıştırılan hegza-bor nitrür nanoparçacıklarının iyi bir yağlama performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Ölçümlerin çoğunda, katkı maddesi olarak hegza-bor nitrür nanoparçacıklarının, çeşitli yüklerde aşınma kaybını %30-70 oranında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır [28].

Douglas ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, çeşitli dizel motorlarda piston segmanları-silindir gömleklere arasındaki etkileşimi inceleyebilmek için kesintisiz ses yayılımı ölçümlerinin kullanımını incelemişlerdir. Motorun çalışması sırasında üretilen ses yayılımının enjektör ve valf aktivitesi gibi birkaç farklı kaynaktan açığa çıktığını belirtmişlerdir. Deneylerini yaparken motor devri, yük ve yağlama gibi çeşitli faktörlerin etkilerini göz önünde bulundurmuşlardır. Araştırmacılar ses yayılımı izleme yönteminin piston segmanı- silindir gömleği arasındaki tribolojik davranışların araştırılması için hem küçük boyutlu 4 zamanlı hem de büyük boyutlu 2 zamanlı motorlarda kullanılabilir olduğunu ortaya çıkarmışlardır. [29].

Orijinal parça üreticileri tarafından oluşturulmuş olan bir çalışma grubu, Ocak 2004'te "Salınım, Sürtünme, Aşınma" test ekipmanları kullanan motorlar için segman ve silindir gömleği malzemelerinin ve motor yağlarının test edilmesi için çeşitli mantıksal çerçeve, kavram ve test prosedürleri geliştirmiştir. Yine orijinal parça üreticileri tarafından kullanılan SRV test prosedürlerini derleyip kendilerine çalışma grupları oluşturmuşlardır. Çalışma grubu, kullanılmış yağlar için üst ölü bölgede karma, sınır yağlama altında sürtünme ve aşınma; karışık, sınır yağlama altında aşırı basınç yükü ve hidrodinamik sürtünme konularına odaklanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklı türlerde tribolojik testler geliştirilmesinin mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca en az dört adet, piston segman-silindir gömleği tribolojik çalışma koşullarını ve performansını inceleyen yöntem geliştirmişlerdir [30].

Tan ve Ripin yaptıkları çalışmada sürtünme kuvvetini deneysel ölçümler yardımıyla incelemişlerdir. Çalışmalarında motor hızı, yağ ile yağ-yakıt karışımı miktarı ve karışım oranlarını değiştirerek deney yaptıklarını belirtmişlerdir. Yağ miktarı arttıkça sürtünme kuvvetinin yüksek hızda, ölü noktalarda azaldığını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonuçlarında Pearson katsayısı ile piston devir açısı sürtünme kuvveti ve yüksek devir sayısı arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Piston ikincil hareketinin piston segmanları sürtünme kaybına olan katkısını belirlemişlerdir. Son olarak, yağ-yakıt karışımı oranı 1:25'ten 1:50'ye düştüğünde pistonun hareketi boyunca sürtünme kuvvetinde belirgin bir artış oluştuğunu kaydetmişlerdir [31].

Johansson ve diğerleri çalışmalarında sürtünme, aşınma ve yüzey morfolojisindeki değişimleri incelemişlerdir. Tribometre testi için dinamik viskozite, hız ve temas basıncı parametrelerinin anlamlı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda düşük sürtünme katsayılı bir malzemeden üretilmiş yüzey için, dinamik viskozite ve hızın öneminin arttığı, yüksek sürtünme katsayılı bir malzemeden üretilmiş yüzey için sadece temas basıncının önemli olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır. [32].

Kapsız ve diğerleri yapmış oldukları çalışmalarında silindir gömleği-piston segmanı çiftinin tribolojik özelliklerinin inceleyen deneysel bir çalışma yapmışlardır. Pistonlu aşınma işlemi parametrelerin, üç durum için analiz etmişlerdir: Kayma hızı, uygulanan yük ve yağ tipi. Çalışmalarında bu parametreleri karışık L16 Taguchi ortogonal

tasarımına dayalı minimum ağırlık kaybı ve sürtünme için optimize etmişlerdir. Kayma hızının silindir gömleği-piston segmanı çiftinin hem ağırlık kaybı hem de sürtünme özellikleri üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu görülmüşlerdir. Kayma hızı ve yağ tipi etkileşimi, segmanın ağırlık kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucunu bulmuşlardır. [33].

Tan ve diğerleri yaptıkları çalışmada piston eteğinin ve silindir gömleğinin aralıklı geçici teması, pistonun ikincil hareketi ile ilgili olduğunu ortaya koymuşlardır. Lazer yer değiştirme sensörleri kullanılarak ölçtükleri anlık piston sekonder hareketi, piston eteğinin silindir gömleğiyle temas halinde olup olmadığını gösterebileceğini söylemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarında, piston etek sürtünme kuvvetinin, toplam piston düzeneği sürtünme kuvvetinin %44'üne katkıda bulunduğunu ortaya çıkarmışlardır. Piston eteği ve piston segmanı arasındaki sürtünme kuvveti bileşenlerini, ölçülen toplam piston sürtünme kuvveti yardımıyla hesaplamışlardır. Sürtünme katsayısı, yüksek devir sayılarında ile arttığını ortaya çıkarmışlardır [34].

Söderfjäll ve diğerleri yapmış oldukları deneysel çalışmalarında, yapılan modifiye edilmiş bir ağır hizmet dizel motorunu kullanmışlardır. Basitleştirilmiş silindir gömleği yağlama yöntemini kullanarak tam yağlanmış silindir gömleği ile segman arasındaki boşluğu doldurmak amacıyla bir test düzeneği geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirmiş oldukları test düzeneğini gerçek motor şartlarına uygun devir sayılarında çalıştırmışlardır. Silindir gömleğinin montajı sırasında sürtünmede sapma oluştuğunu bulmuşlardır. Ayrıca farklı yağ segmanı kombinasyonlarını deneyerek üst iki segman için etkilerini analiz etmişlerdir. Yağ segmanın üstünde bulunan iki segman için bir yağ kullanım modelinin gerekli olduğu sonucuna ulaşmışlardır [35].

Zabala ve diğerleri yaptıkları çalışmada deney düzeneği ve simülasyon oluşturup sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deneylerinde kontrol ettikleri parametreler; yağlayıcı tipi, yağlama gereksinimi, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey kaplamalarıdır. Çeşitli kaplamalarla kaplanmış piston segmanlarının yağlama testlerinde iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Elmas benzeri karbon kaplı segmanların, yapılan testlerde en düşük sürtünme ve aşınma oranlarına sahip olduğu sonucunu bulmuşlardır. Yağlama yağı olarak 50W30 yağını kullandıkları deneylerinde, bu yağ ile yağlanmış

segmanların kendiliğinden koruyucu bir yağ katmanı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmada her iki yöntemle de elde ettikleri verilerin birbirleriyle iyi bir biçimde eşleştiği sonucunu ortaya çıkarmışlardır [36].

Jia ve diğerleri çalışmalarında, sürtünme mekanizmalarını gözden geçirerek, benzer büyüklüklere sahip bir serbest pistonlu motor ile krank mili motorunu karşılaştırmışlardır. Sürtünme mekanizmalarını, piston segmanları-piston eteği, valf sistemi olacak şekilde belirlemişlerdir. Krank milli motor için krank ve yatak sistemi; serbest pistonlu motor için elektrik jeneratörü içeren piston tertibatı kullanmışlardır. Sonuç olarak serbest pistonlu motorun krank milli motora göre piston segmanı sürtünme kuvveti üzerinde avantaj göstermediğini ve piston segmanındaki sürtünme kaybının daha da yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca krank mili sistemini ortadan kaldıran, serbest pistonlu motorda sürtünme kaybının azaldığını gözlemlerken, toplam sürtünme kaybının krank milli motordakinin yaklaşık yarısı kadar olduğunu gözlemlemişlerdir [37].

Kkuchia ve diğerleri piston sürtünmesini azaltmanın motor sürtünmesini iyileştirmek için etkili bir araç olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, doğrudan enjeksiyonlu bir tek silindri motorun kullanılmasıyla silindir yağlamasının piston sürtünme özelliği üzerindeki etkilerine odaklanmışlardır. Çalışma, silindir yağlamasının sıkıştırma zamanı sırasındaki piston sürtünmesini azalttığını belirtmişlerdir. Bu durumun, yakıtın kirletici etkisinin neden olduğu silindir gömleği yüzeyindeki yağlama yağının viskozitesinin değişmesi ile açıklanabileceğini söylemişlerdir [38].

Mufti ve Priest çalışmalarında piston düzeneği için sürtünme kuvvetlerinin ölçümü yapmışlardır. Tek pistonlu bir benzinli motorda ortalama indike efektif basınç yöntemini kullanmışlardır. Deneyleri gerçekçi motor hızlarında ve farklı yüklerde gerçekleştirmişlerdir. Piston düzeneğinde, oluşan anlık sürtünme kuvveti ve ortalama sürtünme kuvvetini farklı yağlama sıcaklıklarında, silindir içi ateşleme koşulları altında ölçmüşlerdir. Piston düzeneğine etki eden kuvvetleri, silindir içi basıncını ve krank mili açısal hızını ölçmüşlerdir. Yağlayıcı viskozitesi, silindir içi basınç, motor devri, yağlama rejimi ve yağlayıcı türünün sürtünme kuvveti için etkili parametreler olduğunu görmüşlerdir [39].

Truhan ve diğeri ağır hizmet dizel motorunda gerçekleştirdikleri çalışmalarında piston segmanı-silindir gömleği makine bileşenlerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemek için bir test yöntemi geliştirmişlerdir. Test sırasında gerçek silindir gömleği ve segmandan kesmiş oldukları materyaller üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar deneylerde elde etmiş oldukları sonuçları gerçek bir motor ile karşılaştırmışlardır. Motorda ölçülen aşınma oranlarına kıyasla, segman aşınmasının daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Temel aşınma mekanizmasının abrazif aşınma olarak gerçekleştiğini, motordaki ile aynı olduğunu belirtmişlerdir. Kurum konsantrasyonunun gömlek aşınması üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu, fakat segman aşınması üzerinde hiçbir etkisi olmadığını görmüşlerdir [40].

Dellis yaptığı çalışmada sürtünme kuvveti ölçümleriyle alt ve üst ölü noktadaki maksimum sürtünme kuvveti değerlerinin yük, hız ve sıcaklık parametreleriyle değişimini gözlemlemişlerdir. Ayrıca bir yağlama yağı grubu kullanarak yüksek sıcaklık ve yüksek kayma viskozitesi koşullarında sürtünme kuvvetlerini gözlemlemiştir. Farklı eğriliğe sahip piston segmanları da test edilmiştir. Her test durumu için sürtünmenin neden olduğu güç kayıplarını gösterilmiştir. Çalışması sonucunda düşük sürtünmeye sahip, enerji verimliliği yüksek, yanma işlemi sırasında daha az yağ tüketen ve düşük emisyonlu motorlar geliştirmenin mümkün olacağını gösterilmiştir [41].

Goenka ve diğeri üç farklı piston eteği için yağlama analizi ve yağlamanın gerçekleşmediği durum analizi yaparak sonuçları karşılaştırmışlardır. Yağlama analizinden elde edilen sürtünme sonuçları, bir piston sürtünme platformundan elde edilen deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar üç piston tasarım parametresinin; piston boşluğu miktarı, pistonu pimi kaçıklığı ve piston kütlesinin piston eteği sürtünmesi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Sonuçlardan bazıları beklenenin dışında gerçekleştiğini belirterek, özellikle kütlenin etkisinin çok küçük olabileceğini söylemişlerdir [42].

Dearlove ve diğeri, piston segmanı- silindir gömleği sürtünmesinin ölçüldüğü pistonlu test cihazı geliştirmişlerdir. Silindir orta bölümündeki yağlama yağı filmi kalınlığı lazer floresan tekniği kullanılarak segman hareketiyle aynı anda ölçülmüştür. Çalışmalarında, farklı viskozitelere sahip beş yağlama yağı; üç farklı ortalama piston

hızı; ve üç farklı segman normal yükü için ölçümler yapılmıştır. Silindir orta bölümünde, segmanın altındaki yağ filmi kalınlığı yaklaşık 0,5 ila 4 μm ; sürtünme katsayısı yaklaşık 0.2-0.1 kaydettiklerini belirtmişlerdir. Test edilen tüm yağlayıcılar için sürtünme katsayısının normal yükler arttıkça arttığını ve piston hızı arttıkça azaldığını görmüşlerdir. Deneyler sırasında hem karma hem de hidrodinamik yağlama rejimleri gözlemişlerdir [43].

Liao ve diğerleri iki parçalı Twin-Land-Yağ-Kontrol-Segmanlarının yağlanması için bir teorik model geliştirerek modifiye edilmiş tek silindireli bir motordan alınan deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Ek olarak, piston eteğinin toplam sürtünmeye katkısını en aza indirmek için piston açıklığı düşük olan bir piston ile Twin-Land-Yağ-Kontrol-Segmanı kullanmışlardır. Üç farklı yağlama rejiminin de deneylerde gözlenebilmesini sağlamak için motor hızı, silindir gömleği sıcaklığı, segman gerginliği ve segman yuvası genişliklerini farklı aralıklarda değiştirmişlerdir. Her farklı segman yuvası tasarımı için farklı motor devri, gömlek sıcaklığı ve segman gerginliği durumlarında sürtünme katsayılarını ölçmüşlerdir. Sonuç olarak deneysel bulgular ve teori arasında makul bir karşılaştırma yapılabilecek basit sınır koşulları için uygulanabilen model geliştirdiklerini kanıtlamışlardır [44].

Liao yapmış olduğu tez çalışmasında piston segmanı sürtünmesinde önemli kabul edilen faktörler; segman ve silindirin elde edildiği materyalleri, yağlayıcı türlerini inceleyerek bunların etkilerini göstermiştir. Çalışmasının sonucunda Twin-Land-Yağ-Kontrol segmanı sürtünmesinin segman, silindir gömleği ve yağlayıcılar arasındaki ilişkiye bağlı olarak belirlenebileceğini söylemiştir. Sürtünmeyi en aza indirmek için, segman, gömlek ve yağlama maddesinin kombine olarak etkilerini optimize etmek gerektiğini belirtmiştir. Genel olarak daha küçük segman yuvası genişliğinin, düşük viskoziteli yağlayıcılar kullanmanın ve iyi tasarlanmış silindir gömleğinin Twin-Land-Yağ-Kontrol segmanında daha az sürtünmeye neden olacağını gözlemlemiştir [45].

Ma ve diğerleri, bir piston segman-silindir gömleği tribokimyasal etkileşimini, molibden ditiyokarbamat katkısı ile takviye edilmiş yağlama yağını kullanarak laboratuvar şartlarında test etmişlerdir. Testlerde modifiye GF-2 yağının sürtünmeyi hızın artmasıyla yüksek oranda azalttığını görürken, modifiye GF-3 yağı için ise uzun test

süresi boyunca sabit ve daha düşük bir sürtünme katsayısı gözlemlemişlerdir. GF-3 kullanılan deneylerde GF-2'ye göre daha düşük aşınma olduğunu belirtmişlerdir. GF-3 yağının tüm bileşenlerde yağ filmi oluşturma ve tribolojik performansta GF-2 yağından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtilmiştir. Dökme demir silindir gömleği numunelerinin yüzey morfolojisi bakımından, modifiye GF-3 yağı ile yağlanmış yüzeylerin, modifiye GF-2 yağa kıyasla daha düz yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu gözlemlerin, kullanılan nitritin piston segmanlarının tipine bağlı olmadığını da belirtmişlerdir [46].

Truhana ve diğerleri çalışmalarında bir segman parçası ve gri dökme demirden imal edilmiş silindir gömleklerinde yağlama koşullarına duyarlılığını değerlendirmek için; jet yakıtı, mineral yağ, kullanılmamış ve bir motorda kullanılmış çeşitli yağlayıcılar kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda sabit yükteki aşınma testleri için; segman ve dökme demirden imal edilmiş silindir gömleğinin aşınma oranlarının, gerçek şartlar altında çalışan bir motorda gözlemlenenden daha düşük oranda olduğunu gözlemlemişlerdir. Segmandakine kıyasla silindir gömleği aşınma oranının, gerçek şartlar altında motordan çok daha yüksek hesaplandığı sonucuna ulaşmışlardır [47].

Keskin ve diğerleri yaptıkları çalışmada, alternatif dizel yakıt olarak tall yağını ve reçine asitlerini araştırılmışlardır Test yakıtları için metil ester, reçine asitleri ve dizel yakıtın karışımları kullanılmıştır. Yakıtların performans ve emisyon testlerini; tam yük şartlarında, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme kuvvetleri için %5 reçine asidi-dizel karışımında küçük bir düşüş; %30 metil ester-dizel karışımı ve %30 metil ester-%5 reçine asidi-dizel karışımında küçük bir artış gözlemlenmiştir. CO emisyonunun ve duman seviyesinin sırasıyla %23,91 ve %19,40 oranlarında düştüğünü gözlemlemişlerdir. Genel olarak, NO_x emisyonlarının karışım yakıtlarla birlikte artış eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Karışım yakıtlarının yakıt özellikleri, dizel yakıt özelliklerine genel olarak benzer olsa da %30 metil ester-dizel karışımı ve %30 metil ester-%5 reçine asidi-dizel karışımı; yüksek oksijen içeriğine sahip, düşük kükürt içerikli, daha yüksek setan sayısı ve parlama noktasına sahip olan dizel yakıtla karşılaştırıldığında önemli avantajları olduğu sonucuna varmışlardır [48].

Hu ve diğerleri tall yağının iki çeşit ultra-düşük kükürtlü dizel motorunun yağlanması üzerindeki etkisini, aşınma izi çaplarını ve sürtünme katsayılarını inceleyerek değerlendirmişlerdir. Deney sonuçlarında, aşınma önleyici katkının, ultra düşük kükürtlü katkı maddesi içermeyen dizelin yağlama özelliklerini etkili bir şekilde artırabileceğini gözlemlemişlerdir. Hem aşınma izi çapları hem de sürtünme katsayılarında önemli ölçüde azalma gözlemlemişlerdir. Tall yağının aşınma önleyici katkı içeriği 0'dan 500 mikrogram/ gram seviyesine yükseldiğinde, katkı maddesi içermeyen dizel ile yapılan deneylerdeki aşınma izi çapları ilk 630 mikrometreden 250 mikrometreye düştüğünü gözlemleyerek %60,3 oranında azalma olduğunu hesaplamışlardır. Sürtünme katsayısının 0.47'den 0.02'ye yani %95.7 azaldığını belirtmişlerdir. Tall yağında bulunan aşınma önleyici katkı ayrıca dizel sürtünme çözültisindeki metal içeriğini azaltma eğilimi gösterdiği ve katkı maddesi içermeyen dizelin diğer fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir etkisi bulunmadığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, tall yağının ultra-düşük kükürt oranına sahip yakıtların yağlanmasını da arttırabileceğini söylemişlerdir. Tall yağındaki kutupsal organik maddelerin, sürtünme yüzeyinde açığa çıkma yönünde eğilim gösterdiğini, tall yağının kayganlaştırıcı koruyucu madde oluşturarak sürtünme ile aşınmayı etkin bir şekilde azalttığı böylece dizelin yağlayıcılığını arttırmak için güçlü etkiye sahip olduğunun sonucuna ulaşmışlardır [49].

Cesur ve diğerleri yaptıkları çalışmada, yağlama yağı olarak kullandıkları motor yağının, dizel yakıtın, yağ-dizel yakıtı karışımın ve iki farklı biyodizel yakıtın segman-silindir gömleği temas yüzeylerindeki aşınmaya etkilerini farklı motor devirleri ve yükleri için incelemişlerdir. Motor yağının yağlayıcı olarak kullanıldığı ölçümlerde minimum aşınma, yağlayıcı olarak dizel yakıt kullanıldığı ölçümlerde ise maksimum aşınma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak; araştırmacılar yanma odasına enjekte edilen yakıtın, silindir duvarında bulunan yağ tarafından emilebileceğini söylemişlerdir. Ayrıca biyodizel veya biyodizel-yakıt karışımı kullanıldığında, motor yağının ömrünün saf dizel yakıt kullanımına oranla daha uzun olacağını görmüşlerdir [50].

Aydın ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmalarında, piston segmanı-silindir gömlekleri çifti arasındaki sürtünme davranışını silindir yağında kirletici olarak farklı yakıt türlerinin etkilerini yük, devir ve sıcaklığa bağlı olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak,

yağlayıcı tipi ve motor devir sayısının sürtünme davranışı üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir. Araştırmacılar yağlama maddesi tipi, yük, hız ve sıcaklığın en az %99 etkili olduğu tespit etmişlerdir. Yağlayıcı tipi, yük, hız ve sıcaklığın, sürtünme katsayısında sırasıyla %33, %32, %30 ve %14'lük etkiye sahip olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Yakıtın yağlama yağını kirletmesi nedeniyle sürtünme katsayısı arttığını da söylemişlerdir [51].

Eiadtrong ve diğerleri çalışmalarında, damıtılmış hurma yağı-dizel karışımlarının, ağırlıkça %0–100 aralıklarında ve oda sıcaklığında faz davranışları gözlemlemişlerdir. Ayrıca, ön ısıtma olmadan tek silindirli bir dizel motorda karşılaştırmalı olarak, 2200 devir/dakikada, farklı yükler altında yakıt özelliklerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, damıtılış hurma yağının soğuk ortamda akış özelliklerinin kötü olmasına rağmen, ağırlıkça %10'dan daha düşük olduğu durumda uzun vadeli, stabil sıvı karışımların hazırlanabileceğini belirtmişlerdir. Ağırlıkça %5 ve %10 damıtılış hurma yağı karışımlarının düşük duman, düşük karbon monoksit ve yüksek azot oksitler parametrelerinde normal dizel yakıtı ile benzer sonuçları olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda %10 oranına sahip karışımın ekonomik açıdan kazançlı bir yakıt katkısı olabileceğine ulaşmışlardır [52].

Balakumara ve diğerleri, çalışmalarında atık Ayurvedik yağının sürtünme performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Motor yağlama yağı olan SAE 15W40, yakıtın kirletici etkisini gözlemleyebilmek için belirli miktarda hazırlanan biyoyakıt-yağ karışımlarını oluşturmuşlardır. Silindir gömleği-piston segmanı malzemelerinin uyumluluğunu, pin-on-disk tipi tribometre ile analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, tribolojik deneylerini, 5 kg'lık bir yük uygulayarak; 300 devir/dakika hızında çalışan motor ile bir saatlik süre içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Benzer deney koşulları altında, %20 yağ içeren karışımı için, diğer karışımlarla ve dizel ile karşılaştırıldığında en iyi sonuçları elde etmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmalarının sonucunda Ayurvedik yağ metil ester karışımının ticari olarak kullanılan piston segmanı- silindir gömleği çiftinin sürtünmesinde olumlu etkileri olduğunu sonucuna varmışlardır [53].

Singh ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada *Phyllanthus emlica* (Bektaşi üzümü) özütünü SAE 20W40 yağlama yağı ile %0, 10, 20 ve %30 oranlarında karıştırarak silindir

gömleği-piston segmanı arasındakisürtünme kuvvetini ve aşınmaları deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak; Phyllanthus emblicadan elde ettikleri biyodizelin yağlayıcı ile %10 karıştırıldığı durumda, test edilen diğer durumlara kıyasla daha iyi bir yağlama performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir [54].

Arumugam ve Siriram çalışmalarında farklı yağlama koşullarında dizel motor silindir gömleği piston segmanı kombinasyonlarının sürtünme ve aşınma özelliklerini pin-on-disc aşınma tribometresi ile incelemişlerdir. Silindir gömleği-piston segmanı sürtünmesinin karakteristiğini incelemek amacıyla deney çalışmasında yağlayıcı olarak; dizel içeren kolza tohumu yağı bazlı biyo-yağlayıcı, dizel içeren ticari sentetik yağı ama yağı, biyodizel içeren ticari sentetik yağlama yağı ve kullanılmış ticari sentetik yağlama yağı kullanmışlardır. Sonuç olarak; kolza tohumu yağı bazlı biyo-yağlayıcı ve biyodizel içeren sentetik yağlayıcının benzer çalışma koşulları altında aşınma, sürtünme mekanizması ve sürtünme kuvveti bakımından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [55].

Xu ve diğerleri farklı dizel yakıtların silindir gömleği-segman arayüzeylerinin tribolojik özellikleri üzerindeki etkilerini bir motor silindir gömleği piston segmanı test düzeneği kullanarak araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, biyo-yağ ile yağlanan silindir gömleği-piston segmanının, daha düşük bir sürtünme katsayısına sahip olduğunu, ancak dizel ile yağlanan bir yağdan daha yüksek aşınma gözlemlendiğini ve daha yüksek yüzey pürüzlülüğü olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca sonuçların emülsife edilmiş biyo-yağ ile sürtünme ve aşınma sonucu kütle kaybını düşürebileceğini gösterdiğini söylemişlerdir. Emülsife edilmiş biyo-yağın kullanıldığı ölçümlerde daha düşük korozyon ve daha düşük aşınma gözlemlenmişlerdir [56].

Arumugam ve Sriram yaptıkları çalışmada kolza tohumu yağını kimyasal olarak dizel motor için yağlama yağı olabilecek şekilde işlemişlerdir. Bu çalışmada, dizel içeren kolza yağı biyo-yağlayıcısı ve dizel içeren ticari sentetik yağlama yağı numunelerini silindir gömleği-piston segmanı için sürtünme ve aşınma özellikleri açısından incelemişlerdir. Kimyasal olarak değiştirilmiş kolza yağı biyo-yağlayıcısının iyi oksidatif stabiliteye sahip olduğu, gelişmiş soğuk akış özelliği gösterdiğini ve sürtünme karakteristiği açısından daha

iyi sonuçlar verdiği aynı zamanda sürtünme kuvvetini de azalttığı sonucuna varmışlardır [57].

Arumugam ve diğerleri petrol bazlı sentetik yağlayıcının değişken sıkıştırma oranlı dizel motordaki kolza yağı esaslı biyo-yağlayıcı ile değiştirilmesi durumunu araştırmışlardır. Aşınma önleyici davranışı geliştirmek için kolza yağına nano bakır oksit aşınma önleyici bir nano katkı maddesi eklenmiştir. Formüle edilmiş biyo-yağlayıcının uyumluluğunu incelemek için, sentetik yağlama maddesi ve standart bir sıkıştırma oranı kullanılarak %20 kolza yağı-biyo dizel yakıtlı dört zamanlı değişken sıkıştırma oranlı motorda iki dayanıklılık testi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaların sonucunda, kolza tohumu yağı-biyo yağlayıcı kullanımının, biyo yakıt-SAE 20W40 kombinasyonuna kıyasla Fe, Al, Cu (bunları da kısaltmalara ekle) aşınmasını ve kurum ile kül içeriğini azalttığını görmüşlerdir [58].

Mobarak ve diğerleri hazırlamış oldukları derleme makalelerinde bitkisel yağ bazlı bir biyo-yağlayıcı potansiyelini alternatif bir kayganlaştırıcı (yağlayıcı mı) olarak sunan çalışmalar üzerinde durmuşlardır. Biyo-yağlayıcının kaynağını, özelliklerini, avantajlarını ve dezavantajlarını tartışmışlardır. Bitkisel uygulamalar için bitkisel yağ bazlı biyo-yağlayıcı maddelerin potansiyel yağlayıcı maddeler olarak kullanımına değinmişlerdir. Ayrıca, dünyadaki biyolojik yağ sektörü pazarını ve gelecekteki beklentilerini değerlendirmişlerdir. Biyo-yağlayıcı maddeler, düşük toksisite, iyi yağlama özellikleri, yüksek viskozite indeksi, yüksek ateşleme sıcaklığı, artan ekipman kullanım ömrü, yüksek yük taşıma yetenekleri, iyi aşınma önleme özelliği, düşük sürtünme katsayısı, düşük buharlaşma oranları ve atmosfere düşük emisyonlar, doğal çok dereceli özellikler nedeniyle potansiyel alternatif yağlayıcılar olduğunu belirtmişlerdir [59].

Singh çalışmasında madeni yağ ile karıştırılmış Jatropha yağının Al-7% Si alaşımından imal edilmiş yüzeylerin tribolojik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, jatropha yağ yüzdesi faktörünün, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemiştir. Ayrıca, aşınma izi çapının, yağlama yağı yükünün artmasıyla arttığı ve Jatropha yağı yüzdesiyle azaldığını belirtmiştir. Yaptığı deneyin genel sonuçlarında, baz yağlayıcıya %15'lik Jatropha yağı karışımının, çevre dostu

olduğunu ve petrol bazlı yağlama maddesinin kullanımını önemli ölçüde azaltabileceğini söylemiştir [60].

Richardson çalışmasında, dizel motorlarda güç stroğunda meydana gelen sürtünmesi ile genel mekanik sürtünmenin farklı sürtünme ölçüm yöntemleri ile karşılaştırılmasını yapmıştır. Oluşturdukları modeli kullanarak sürtünme kuvvetlerini gerçek şartlara uygun bir şekilde tahmin etmişlerdir. Ayrıca modelin farklı yöntemler karşısında avantajlarını belirterek uygulanabilirliğinin önemini vurgulayarak zaman ve maliyet açısından fayda sağladığını belirtmişlerdir [61].

Bedajangam ve Jadhaw geliştirmiş oldukları sürtünme modellerini, farklı kapasiteye sahip özel piston segman sistemi için kurgulamışlardır. Kullanmış oldukları değişken parametrelerin; piston hızı, motor hızı, yağ viskozitesi, gaz basıncı, krank açısı, filmi kalınlığı ve sürtünme katsayısı olduğunu belirtmişlerdir. Değişken olmayan parametrelerin ise sistem sabiti, silindir iç çapı, segman gerginliği, segman genişliği, sıkıştırma oranı, karşıt kütle miktarı, piston segman alanı ve piston segmanı profili olduğunu söylemişlerdir. Oluşturdukları modelin deney çalışması yapmadan sürtünme kuvvetlerini tahmin etmede avantajlı olduğu ve motorun gerçek çalışma şartlarına uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır [62].

Priest ve Taylor yapmış oldukları çalışmalarında, daha fazla yakıt tasarrufu sağlayan ve pozitif çevresel etkiye sahip, kompakt otomobil motorları geliştirmek konusunda çalışmaların arttığını dile getirmişlerdir. Tribolojik açıdan baktıklarında bunu gerçekleştirmek için, motorun ana sürtünme bileşenlerine; piston ekipmanları, valfler ve kaymalı yataklarına ve bunların yağlanacağı daha düşük viskoziteli motor yağlarına etkileyen yüklerin, hızların ve sıcaklıkların arttırılması anlamına geleceğini belirtmişlerdir. Sayılan değişiklikleri gerçekleştirdikleri takdirde ana sürtünme bileşenlerinin etkileşimli yüzeyleri arasındaki yağ filmi kalınlığının azalacağı ve iki yüzeyin topografyası ile yüzey profili için tribolojik performansı belirlemede daha önemli rol oynayacağına değinmişlerdir. Çalışmada araştırmacılar motor triboloji, yüzey topografisinin potansiyel olarak getirdiği aşırı karmaşıklıklarla başa çıkarak, içten yanmalı motorun piston tertibatında, valflerde ve kaymalı yataklarında karşılaşılan yüzeylerin doğasını ve matematiksel modellerin nasıl olduğunu belirtmişlerdir [63].

Ronen ve diğeri motor bileşenlerinin tribolojik özelliklerini geliştirmek ve mikro-yüzey yapısının potansiyel olarak mikro gözenekler halinde kullanımını incelemek için bir model sunmuşlardır. Sonuç olarak, optimum yüzey dokularının motor bileşenlerinde sürtünme kayıplarını önemli ölçüde azaltabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır. Yağ filmi boşluğunun bir devirdeki maksimum değişiminin, yağ kalınlığının gözenek derinliğinin %30' undan az olması sırasında gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Gözlemleri sonucu, sürtünme kuvvetindeki krank açısı ile meydana gelen değişikliğin, kayma hızındaki değişiklikten kaynaklandığını söylemişlerdir.[64].

Johansson ve diğeri yaptıkları çalışmada, yüzey topografyası, segman-silindir gömleği yüzeyleri dokularının yönü, yağ kalınlığı ve sürtünme üzerindeki etkileri deneysel ve bir simülasyon programı ile modelleyerek gerçekleştirmişlerdir. Kayma honlaması yapılan yüzeyde düşük aşınma, düz silindir gömleği yüzeylerinde düşük sürtünmelerin görüldüğünü kanıtlayan simülasyon sonuçlarını deneysel çalışma ile desteklemişlerdir. Yağ tüketiminin yüzey pürüzlülüğü ile azaldığını motor testlerinden hem deneysel hem de simülasyon üzerinden gözlemleyebilmişlerdir. Simülasyonda ortalama sürtünmenin daha pürüzsüz bir yüzeyle azaltılabileceğini görmüşlerdir [65].

Peng, Chengqing ve Zhiwei yaptıkları çalışmalarında silindir gömleği-piston segmanı test düzeneği kullanarak sürtünme karakteristiklerini ve yağlama mekanizmasını incelemişlerdir. Deney sonuçlarında silindir gömleğinin iç yüzeyinde büyük çukurların ve olukların uygun şekilde uygulanmasının, yüksek devir sayılarında silindir gömleği-piston segmanının sürtünme performansını artırabileceğini görmüşlerdir. Düşük devirlerde yağ filminin parçalandığı bunun da sürtünme açısından kötü sonuçlandığını görmüşlerdir. Silindir gömleğinin iç kısmına uygulanan çukurların yarıklara göre yağ filmi oluşmasına izin vermesi açısından daha başarılı olduğunu ortaya çıkarmışlardır.[66].

Guo ve diğeri çalışmada, piston segmanı silindir gömleği temasının tribolojik özelliklerini bir dizel motor test düzeneği kullanarak, silindir gömleklerinin farklı yüzey işleme yöntemleriyle tasarlanmış farklı yüzey dokularını incelemişlerdir. Sonuç olarak, sürtünme çiftlerinin tribolojik özelliklerinde ve farklı aşınma yüzey dokusu özelliklerinde önemli farklılıklar olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada elde

edilen bilgilerin gemi dizel motorlarında silindir gömleği piston segmanı çiftinin tribolojik tasarımı ve üretimi için gerçek pratik temeli sağladığını söylemişlerdir [67].

Grabon ve diğerleri bir pistonlu test cihazı ile yağ cepleri olan ve olmayan silindir gömleklerinin tribolojik davranışları deneysel olarak incelemişlerdir. Sürtünme testlerini üç ortalama kayma hızında gerçekleştirmişlerdir. Deneyle normal yük ile en düşük yükten başlayarak 50-300 N aralığında gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, fazladan oluşturulmuş silindir gömleği yüzey dokusunun, kötü yağlama koşullarında sürtünme direnci üzerindeki olumlu etkisinin daha düşük olduğunu görmüşlerdir [68].

Mohamad ve diğerleri çalışmalarında, farklı boyut ve yoğunluklarda yağ oluklarına sahip silindirde, delikli yüzey şekli kullanımının potansiyelini ve piston segmanı-silindir gömleği temasındaki yağlama özelliklerini iyileştirme potansiyelini incelemek için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Optimum sonuçları düşük derinlik alanı, yüksek derinlik-genişlik oranına sahip oluklar için elde ettiklerini belirtmişlerdir. Bu kombinasyonların, karışık yağlama bölgelerinde daha yüksek bir hidrodinamik basınç sağladığını ve yüzeyleri doğrudan temastan korumak için küçük hidrodinamik rulmanlar gibi davrandığını keşfetmişlerdir [69].

Mohamad ve diğerleri yüzey dokularının simüle ederek dokuların sürtünme kuvvetleri üzerindeki etkilerini analiz etmişlerdir. İki zamanlı gemi dizel motoru için piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünme kuvvetlerini incelemişlerdir. Taban şeklinin, hareketli yüzeyler arasındaki sürtünmeyi olumlu yönde etkileyebileceği sonucuna varmışlardır. Yağ ceplerinin en boy oranı viskoz sürtünme kuvveti üzerinde göz ardı edilebilir bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Daha düşük derinlik alanı olan, daha yüksek derinlik-genişlik oranına sahip olan numunelerde en iyi sonuçları elde etmişlerdir. Bu kombinasyonların, karışık yağlama bölgelerinde daha yüksek bir hidrodinamik basınç sağladığını ve yüzeyleri doğrudan temastan korumak için küçük hidrodinamik rulmanlar gibi davranabildiklerini söylemişlerdir. [70].

Pawlus ve diğerleri, aşınma deneylerini yağlama koşulları altında salınımlı, aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Silindir gömleği örneklerini gri dökme demirden, honlama ve plato honlama işlemlerini uygulayıp gerçek silindir gömleklerinden keserek elde etmişlerdir. Segman örneklerini ise krom kaplı sıkıştırma

segmanından kesmişlerdir. 80 ° C sıcaklıkta yapmış oldukları testlerinde, strok uzunluğu 3 mm olacak şekilde deney düzeneğini kurmuşlardır. Tek işlem uygulanan yüzeylerin, 0.5 saatlik test süresi boyunca iki işlem uygulanan yüzeylerden daha küçük sürtünme katsayısına yol açtığını bulmuşlardır. Sürtünme direncinin, honlama açısı arttıkça arttığını görmüşlerdir [71].

Peng ve diğerleri çalışmalarında biyo-yağ ile yağladıkları piston segmanı-silindir gömleği sürtünme çiftlerinde yüksek sürtünme ve aşınmayı azaltmak için, dört çeşit kaplama (Ni-P, Ni-P-MoS₂, Ni-P-Grafen oksit ve Ni-P-MoS₂-Grafen oksit) kullanarak testler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; Ni-P-MoS₂-Grafen oksit kaplamalı piston segmanlarının, test sırasında oluşan yağ filminin hem kaplama bileşenleri hem de yağlama yağı arasındaki reaksiyonlardan oluştuğu göstermişlerdir. İçten yanmalı motorlarda biyo-yağ uygulamasını hızlandırmak için büyük potansiyele sahip olduğunu bulmuşlardır [72].

Söderfjäll ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, piston segmanı sürtünmesinin değerlendirilmesi için yüksek hızlı test düzeneği kullanmışlardır. Ayrıca, yağ segmanı için sayısal bir simülasyon modelini ve hazırlamış oldukları sürtünme deney sonuçlarını karşılaştırarak doğrulamışlardır. Sonuç olarak, pürüzsüz plato yüzeyli silindir gömleğinin, ağır hizmet tipi dizel motoru segman setine sahip, standart honlanmış silindir gömleğine kıyasla sürtünme konusunda faydalı olduğunu bulmuşlardır. Çalışmada segman teğetsel yükünün, bir yağ kontrol segmanı için sürtünme kayıpları üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu da göstermişlerdir. Ayrıca, yazarlar tarafından geliştirilen sayısal bir modeli, yaptıkları bu çalışma ile doğrulamışlardır. Model ile öngörülen sürtünmenin, deneysel olarak ölçülen sürtünme ile iyi bir korelasyon gösterdiğini belirtmişlerdir [73].

Guo ve diğerleri silindir gömleği yüzeyi doku modellerinin ve yüzey işleme yöntemlerinin fayda sağladığı mekanizmaları belirlemek amacıyla silindir gömleği-piston segmanının tribolojik sistemini incelenmişlerdir. Silindir yüzeyinde farklı işleme yöntemleri kullanılarak iki tip yüzey dokularına sahip yüzeyler oluşturmuşlardır. Sürtünme katsayıları, aşınmış yüzey dokusu özellikleri ve yağ filminin karakteristik özellikleri üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Elde etmiş oldukları

sonuçlarda yüzey dokusunun işleme yönteminin, silindir gömleği piston segmanı çiftlerinin performansını etkilediğini görmüşlerdir. Silindir gömleği piston segmanının aşınma performansı üzerinde yüzey dokularının etkisi olduğunu belirtmişlerdir.[74].

Grabon ve diğerleri yağlama koşulları altında salınımlı aşınma test cihazı kullanılarak tribolojik deneyler yapmışlardır. Deneyler esnasında, piston segmanından elde edilmiş test bileşenini, silindir gömleğinden elde edilmiş karşı bileşene doğru kaydırmışlardır. Çalışmalarında farklı yüzey dokularına sahip silindir gömleğinin yüzeylerine honlama ve plato honlama işlemleri uygulamışlardır. Yapmış oldukları testleri, 80 °C'lik bir sıcaklıkta 100 N ve 300 N'luk iki normal yük koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; sürtünme katsayısında en yüksek azalmayı 100 N'luk normal yük altında 5 dakikalık ölçüm süresinin başlarında kaydetmişlerdir. Sürtünme kuvvetindeki artışın silindir gömleği yüzey pürüzlülüğünden kaynaklandığını dile getirmişlerdir. Deneyin sonucunda silindir gömleğinin yüzeyinde aşınma ve plastik deformasyon oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Silindir gömleğinin yüzeyinde, yükseklik, eğim ve eğikliklerin azaldığını söylemişlerdir [75].

Xua ve diğerleri yaptıkları çalışmada motorlarda piston segmanı-silindir gömleği çiftinin tribolojik performansını artırmak için, Ni-P-TiN kaplamalı piston segmanları hazırlamışlardır. Ayrıca Fe_3O_4 , MoS_2 nano kompozitlerini yağlama yağı katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Çalışmada kaplamalardaki TiN nano parçacıklarının konsantrasyonunun, tribolojik performansları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Ni-P-1.5TiN kaplamaların sürtünme katsayısı ve aşınma kaybının, yalnızca Ni-P kaplamaya göre sırasıyla ağırlıkça %23,8 ve ağırlıkça %64,3 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Nano- MoS_2 ve nano- Fe_3O_4 ile Fe_3O_4 , MoS_2 karşılaştırdıklarında, yağ katkı maddesi olarak bulunan nano kompozitlerin, kaplamaların ve nano kompozit katkı maddelerinin karşılıklı etkileri nedeniyle, Ni-P-TiN kompozit kaplamanın sürtünmesini ve aşınmasını azaltmada daha iyi bir etkiye sahip olduğunu söylemişlerdir [76].

Tian ve diğerleri piston segmanı takımının yağ filmi kalınlığını ve sürtünmesini öngörmek için karışık yağlama modeli geliştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün hem hidrodinamik hem de sınır yağlama üzerindeki etkilerini değerlendirmek için bir

ortalama akış modeli ve bir pürüzlülük temas modeli kullanmışlardır. Bu parametrelerin tümünü; yağ kontrol segmanının ulaşamadığı üst ölü nokta bölgesinde yağ transferini, kaba teması ve sürtünmeyi incelemek için kullanmışlardır. Yaptıkları modeli hem tek silindirli bir dizel motor için hem de tek silindirli bir benzinli motor için kullanılmıştır. Elde ettikleri parametreler ile sürtünme ve aşınma olaylarının öngörülmesinde, gerçek şartlara uygun bir model oluşturduklarını belirtmişlerdir [77].

Jocsak ve diğerleri çalışmalarında piston segmanı silindir gömleği arasındaki yağ filmi kalınlığının, sürtünme ve yağ transferi işlemlerinin öngörülmesi amacıyla bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacının, doğal gaz ile çalışan pistonlu motorda piston segmanı-silindir gömleği arasındaki ek yüzey parametrelerinin sürtünme üzerindeki etkilerini anlamak olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında motor silindiri yüzeyinin işlenmesi durumundaki sürtünme kayıplarının azaltmasına yönelik etkilerinin detaylı bir analizi yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda kurgulamış oldukları sürtünme durumunda, geliştirdikleri modelin gerçeğe uygun ve doğru sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [78].

Mezghani ve diğerleri pürüzlülük özelliklerinin, piston segmanı ile silindir gömleği arasındaki yağlama durumunu ve sürtünme üzerindeki etkilerini araştırmak için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Modellerinde, silindir gömleğinin gerçek yüzey topografyalarına dayanan ortalama Reynolds denklemini çözmeyi amaçladıklarını belirtmişlerdir. Yüzey düzensizliklerinin hidrodinamik yağlama koşulları altında yağlama maddesi yırtıldığını söylemişlerdir. Sayısal sonuçlarda, sürtünmeyi ve ardından zararlı emisyonları azaltmak için optimum yanal çizgi şeklinde işlenmiş yüzey olduğunu bulmuşlardır [79].

Morris ve diğerleri silindir gömleği-piston segmanı sürtünmesi ve aşınmasını incelemek için oluşturdukları modeli basınç ve kaymaya bağlı akış faktörlerine dayanan Reynolds denkleminin ortalama akış modeli gösterimi kullanılarak elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, sıkıştırma segmanının aksel profilinin, kendi genişliği boyunca ve temas ettiği yüzey topografyası üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yağlama işlemini iyileştirmek için segman geometrisinin optimize edilebileceği, sızdırmazlık kayıpları nedeniyle yağ kaybını veya bozulmasını önlemek için özen gösterilmesi gerektiği önermişlerdir.

Sürtünmeyi öngörebilmek için, uygun yüzey parametrelerinin, segmanın aşınma durumuna göre kullanılması gerektiği göstermişlerdir. Çalışmanın sonuçlarının, analitik bir çözüm sunarken, segman yüzey genişliği geometrisinin ve aşınmanın sürtünme üzerindeki etkisini ortaya çıkardığını belirtmişlerdir [80].

Peng ve diğerleri piston segmanı- silindir gömleği arasındaki yüksek sürtünme ve korozif aşınmayı azaltmak için dört farklı kaplama (Ni-P, Ni-P-MoS₂, Ni-P-Grafen Oksit ve Ni-P-MoS₂-Grafen Oksit) kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinin sonucunda, piston segmanlarının aşınmış yüzeylerinde sırasıyla Ni-P, Ni-P- MoS₂, Ni-P- Grafen Oksit ve Ni-P-MoS₂- Grafen Oksit kaplamalarla; adezif aşınma, çizilme, parçalanma hafif aşınma gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Ni-P-MoS₂- Grafen Oksit kaplamalı piston segmanlarının mükemmel sürtünme azaltıcı ve aşınma önleyici performans gösterdiğini göstermişlerdir. İçten yanmalı motorlarda biyo-yağ uygulamasını ivmelendirmek adına bu kaplama türünün büyük potansiyele sahip olduğunu söylemişlerdir [81].

1.2 Tezin Amacı

Piston segmanı-silindir gömleği arasında oluşan sürtünmenin giderilmesine yönelik literatürde gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan bu konunun ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Dünya üzerindeki motorlar içerisinde hem emisyon değerleri hem de yakıt tüketimi açısından büyük bir öneme sahip olan gemi dizel makinelerinin, emisyon değerlerini azaltmak ve yakıt ekonomilerini geliştirmek adına sürtünme kayıplarının azaltılması büyük bir önem taşımaktadır. Sürtünmeyi azaltabilmek için literatürde de belirtildiği gibi farklı yöntemler mevcuttur. Hem yapılabirliği hem de maliyetleri açısından yağlama yağına katkı maddelerinin eklenmesi, sürtünme kuvvetlerini azaltma yöntemleri arasında öne çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında sürtünme deneylerine izin verecek şekilde modifiye edilmiş olan test düzeneği üzerinde farklı sıcaklık, farklı devir ve yağlayıcı madde kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde yağlama yağının yağlayıcı özelliğine etki edilen parametreler belirlenerek, uygun yağlayıcı şartlarının ve karışımlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Tall yağı asidi katkısının yağ performansına etkileri yukarıda sayılan parametreler eşliğinde belirlenmeye çalışılmaktadır.

1.3 Hipotez

Gemi dizel makinelerinde meydana gelen kayıpların büyük bölümünü oluşturan, sürtünme kayıpları içerisinde en büyük paya sahip olan, piston segmanı- silindir gömleği çiftinin makine performansı üzerindeki etkileri bilinmektedir. Gemi yakıtı ile kirlenmiş olan yağlama yağının içerisinde tall yağı asidi katkısı katılarak oluşturulan karışımın, içeriğinde katkı bulunmayan yağlayıcıya göre farklı şartlar altında daha iyi sürtünme performansı göstereceği ön görülmektedir.



BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOT

İçten yanmalı motorlarda soğuk çalışma ve durdurma koşullarında, yanma odasında kalan yanmamış yakıt, piston segmanları tarafından sıyrılır ve yağlama yağının biriktiği yağ karterine ulaşmaktadır. Dizel yakıtıyla motor yağının sınırlı miktarda karışması olağan bir durumdur ve tüm dizel motorlarda gerçekleşmektedir [82]. Motor devri, yüzey sıcaklıkları ve yağlayıcı içeriği sürtünme karakteristiğini büyük ölçüde etkilemektedir. Belirtilen şartlar altında sürtünme özelliklerini incelemek adına deney düzeneği oluşturulmuştur. İncelenen her bir parametre için kombinasyonlar oluşturulup ölçümler yapılmıştır.

2.1 Yağlayıcı, Yakıtlar ve Katkı maddesi

Deneylerde gemi dizel motorlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir yağlama yağı kullanılmıştır. Kullanılan yağlama yağına ilişkin teknik bilgiler Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2. 1 Kullanılan yağlayıcının özellikleri

PARAMETRE	DEĞER
VİSKOZİTE (cSt)	12.5-16.3
TBN (mgKOH gr)	29-31
PARLAMA NOKTASI (°C)	Min. 246
AKMA NOKTASI (°C)	Max -18

Ticari gemilerde günümüzde çoğunlukla kullanılan yakıt tipi düşük sülfürlü MDO ve düşük sülfürlü HFO yakıtlarıdır [83]. Bu yakıtlar IMO'nun kükürt oksit ve partikül madde regülasyonu 14'e göre kükürt içeriğini sınırlayan kurallarına uygun yakıtlardır [84]. Bu amaçla ölçümler gerçekleştirilirken, düşük sülfürlü MDO ve düşük sülfürlü HFO yağlama yağına kirletici olarak eklenmiştir. Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. 2 Kullanılan Marine Diesel Oil özellikleri [85]

PARAMETRE	DURUM	DEĞER
YOĞUNLUK (15 °C)	EN ÇOK	890 kg/m ³
VİSKOZİTE (40 °C)	EN ÇOK	2-6 mm ² /s(cSt)
SETAN İNDEKSİ	EN AZ	40
PARLAMA NOKTASI	EN AZ	60 °C
SÜLFÜR ORANI	EN ÇOK	0,1 % (m/m)
SU ORANI	EN ÇOK	0,3 % (v/v)
TOPLAM SENDİMENT ORANI	EN ÇOK	0,1 % (m/m)
AKMA NOKTASI (YAZ)	EN ÇOK	0 °C
AKMA NOKTASI (KIŞ)	EN ÇOK	-6 °C
KÜL İÇERİĞİ	EN ÇOK	0,01 %
KARBON ARTIKLARI	EN ÇOK	0,1 % (m/m)
TOPLAM ASİTLİK SAYISI	EN ÇOK	0,5 mg KOH/g
ALT ISIL GÜCÜ	EN AZ	9800 kcal/kg min

Çizelge 2. 3 Kullanılan Intermediate Fuel Oil özellikleri [86]

PARAMETRE	DURUM	DEĞER
YOĞUNLUK (15 °C)	EN ÇOK	950 kg/m ³
VİSKOZİTE (40 °C)	EN ÇOK	380 mm ² /s(cSt)

Çizelge 2. 4 Kullanılan Intermediate Fuel Oil özellikleri (devam)

PARLAMA NOKTASI	EN AZ	90 °C
SÜLFÜR ORANI	EN ÇOK	1-3,5 % (m/m)
SU ORANI	EN ÇOK	0,5 % (v/v)
TOPLAM SENDİMENT ORANI	EN ÇOK	0,1 % (m/m)
AKMA NOKTASI	EN ÇOK	+30 °C
KÜL İÇERİĞİ	EN ÇOK	0,1 %
ALT ISIL GÜCÜ	EN AZ	9500 kcal/kg min

Motorlarda çalışma sırasında yağlama yağının içerisine bir miktar yakıt karışmaktadır. Yağın içerisine karışan yakıt ile yağlama yağının, birtakım özellikleri değişmektedir. Bu değişen özellikler yağlama yağının görevini yerine getirebilmesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu negatif etkiyi gidermek amacıyla yağlama yağına katkı maddeleri eklenmektedir. Deney sırasında yağlayıcı katkı maddesi olarak Tall yağı içerikli katkı maddesi kullanılmıştır ve bu yağın özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. 5 Kullanılan Tall Yağı katkısının özellikleri [87]

PARAMETRE	DURUM	DEĞER
YOĞUNLUK (15 °C)	EN ÇOK	909 kg/m ³
VİSKOZİTE (40 °C)	EN ÇOK	22 mPa.s
PARLAMA NOKTASI (KAPALI KAPLARDA)	EN AZ	205 °C
ASİT DEĞERİ	EN AZ	193
GARDNER RENK SKALASI DEĞERİ, FOTOMETRE	EN ÇOK	5
SERBEST REÇİNE ASİTLERİ ORANI	-	2,1 %
SABUNLAŞMAYAN MADDE ORANI	-	2 %
BUHARLAŞMA NOKTASI	EN AZ	-2 °C

Çizelge 2. 6 Kullanılan Tall Yağı katkısının özellikleri (devam)

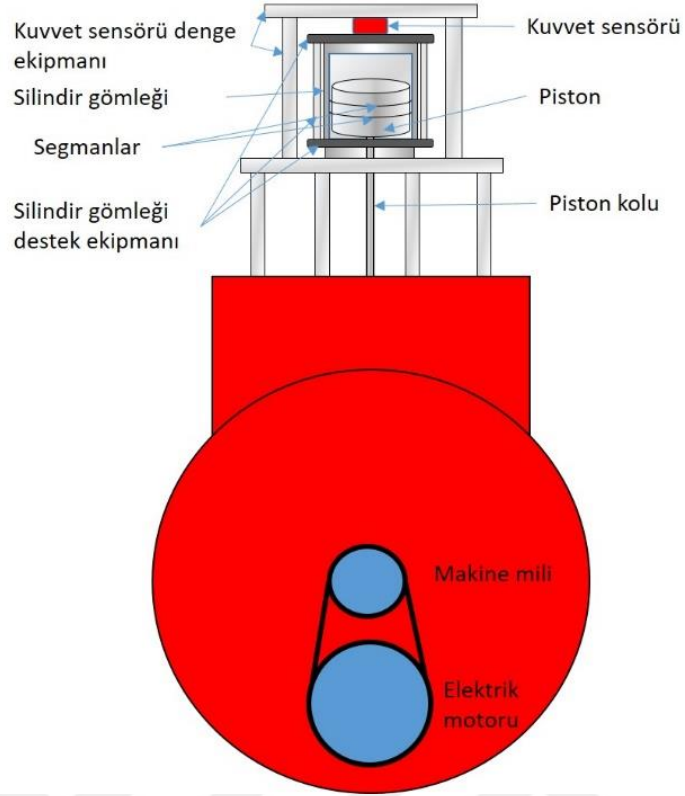
SERBEST YAĞ ASİDİ ORANI	-	1.9
AKMA NOKTASI	EN AZ	-12 °C
İYOT DEĞERİ	-	154

2.2 Deney Düzeneği

Deney düzeneği içten yanmalı bir motorun çalışma şartlarına uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Pistonun hareketini aldığı elektrik motoru 0.75 kW güce sahiptir. Kullanılan motor Volt marka VM 90S-6 model elektrik motorudur. Yapılacak deneylere uygun olarak tek silindirli bir dizel motor modifiye edilmiştir. Dizel motorun sahip olduğu silindir kaveri yerinden çıkartılıp yerine ölçüm ve deneylere uygun bir piston-silindir gömleği sistemi oluşturulmuştur.

Deney düzeneğinde kullanılan silindir gömleği, piston ve piston koluna göre konumlandırılmıştır. Bunu yaparak pistonun deney sırasında oluşabilecek yanal kuvvetlerin ve piston-silindir gömleği konumdaki yanlışlıklardan doğacak sürtünme artışlarının önüne geçilmiştir. Kuvvet sensörü dışında silindir gömleğinin herhangi bir yere bağlantısı bulunmamaktadır. Silindir gömleğinin bu şekilde serbest olması sayesinde sürtünme kuvvetini etkileyen deney dışı bir kuvvet oluşmasına imkân tanınmamıştır. Piston doğrusal olarak hareketini yaparak segmanlar vasıtasıyla silindir gömleğine itme ve çekme kuvveti uygulamaktadır. Böylece silindir gömleği üzerindeki kuvvet sensörü vasıtasıyla sürtünme kuvvetleri okunmaktadır. Şekil 2.1 'de deney düzeneği verilmiştir.

Deney sırasında yapılan ölçümlerde sıcaklığın etkisini gözlemlemek amacıyla silindir gömleği yüzeyi ısıtıcı fişekler yardımıyla farklı sıcaklıklarda ısıtılmıştır. Sıcaklık kontrolü Enda 2416 sıcaklık kontrol ünitesi ile yapılmıştır.



Şekil 2. 1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deney düzeneğinde motora ABB marka ACS150 model frekans değıştirici(inverter) monte edilerek farklı devirlerde çalışması sağlanmıştır. Şekil 2.2’de frekans değıştirici gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 ABB ACS150 Frekans Değıştirici [88]

2.3 Sürtünme Kuvvetlerinin Belirlenmesi

Deney düzeneğinde sürtünme kuvvetlerinin ölçümünde Kistler 9027C üç eksenli kuvvet sensörü kullanılmıştır. Bu sayede kuvvet sensörü yalnızca segman ile silindir gömleği arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmektedir. Şekil 2.1'den de anlaşılacağı gibi silindir gömleği üzerinde yalnızca denge ekipmanları bulunmakta ve silindir gömleğinin bunun dışında herhangi bir yere bağlantısı bulunmamaktadır. Kullanılan kuvvet sensörü üzerinden tek yönde veri alarak yalnızca sürtünme kuvvetine ait olan değerler kaydedilmiştir. Şekil 2.3'de kuvvet sensörü görünmektedir.



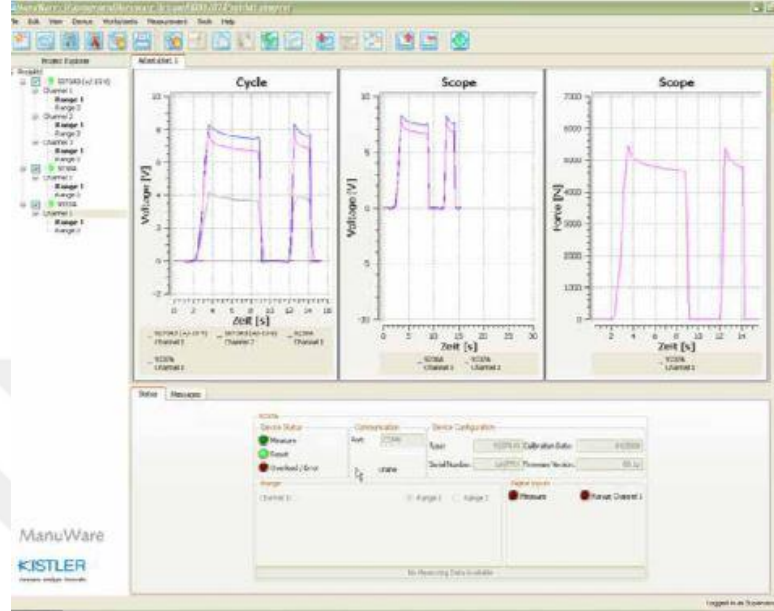
Şekil 2. 3 Kistler 9027C Üç Yönlü kuvvet sensörü [89]

Kuvvet sensöründen alınan analog verilerin seviyesinden yükseltilmesi için Kistler 5073 şarj amplifikatörü kullanılmıştır. Kullanılan amplifikatör Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 Kistler 5073 Şarj Amplifikatörü [90]

Şarj amplifikatöründen alınan yükseltilmiş dijital veriler RS-232 veri iletişim standardı yoluyla bilgisayar üzerine aktarılmıştır. Alınan veriler bilgisayarda bulunan ManuWare yazılımı üzerinden okunarak kaydedilmiştir. Şekil 2.5'te yazılımın arayüzü görülmektedir.



Şekil 2. 5 ManuWare yazılımı arayüzü [91]

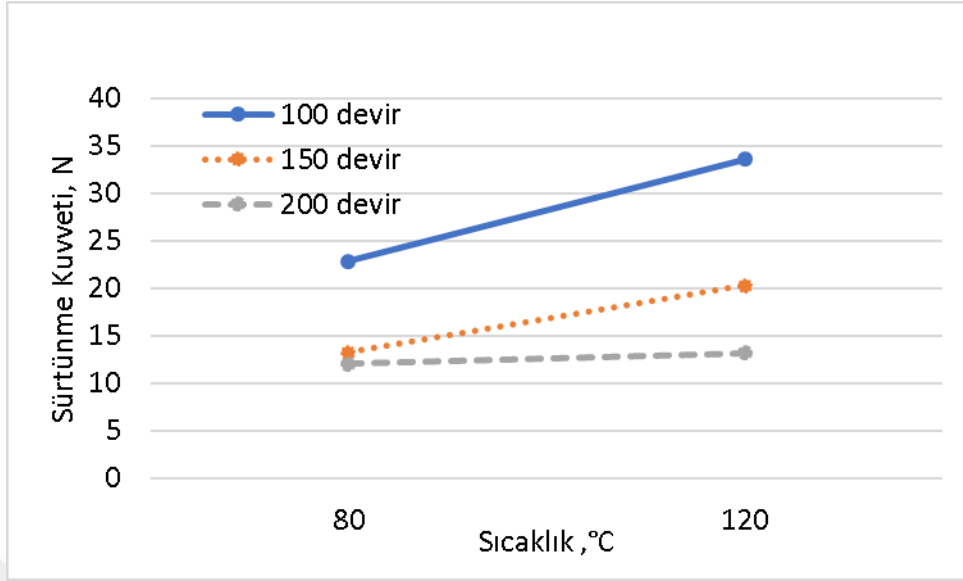
DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalar altı başlık halinde verilmiştir. Standart yağlama yağı kullanma durumu, yağlama yağının MDO ile kirlenme durumu, yağlama yağının HFO ile kirlenme durumu, yağlama yağına yalnızca katkı ilavesi durumu ve HFO veya MDO ile kirlenmesi durumlarında görülecek sürtünme kayıplarının katkı maddesi kullanılarak iyileştirilmesi durumları ayrı ayrı verilmiştir. Her bir başlık altında devir sayısı ve silindir cidar sıcaklığının sürtünme kuvvetleri üzerindeki etkileri de ayrıca incelenmiştir. Devir sayısı için 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d olmak üzere üç farklı seviye seçilmiş; silindir sıcaklıkları için ise 80 °C ve 120 °C olmak üzere iki farklı sıcaklık noktasında ölçüm gerçekleştirilmiştir.

3.1 Standart Yağlama Yağı Deneyleri

%100 yağlama yağı ile yapılan herhangi bir katkı veya kirleticinin olmadığı deneyler, referans oluşturması açısından bu bölümde ele alınmıştır.

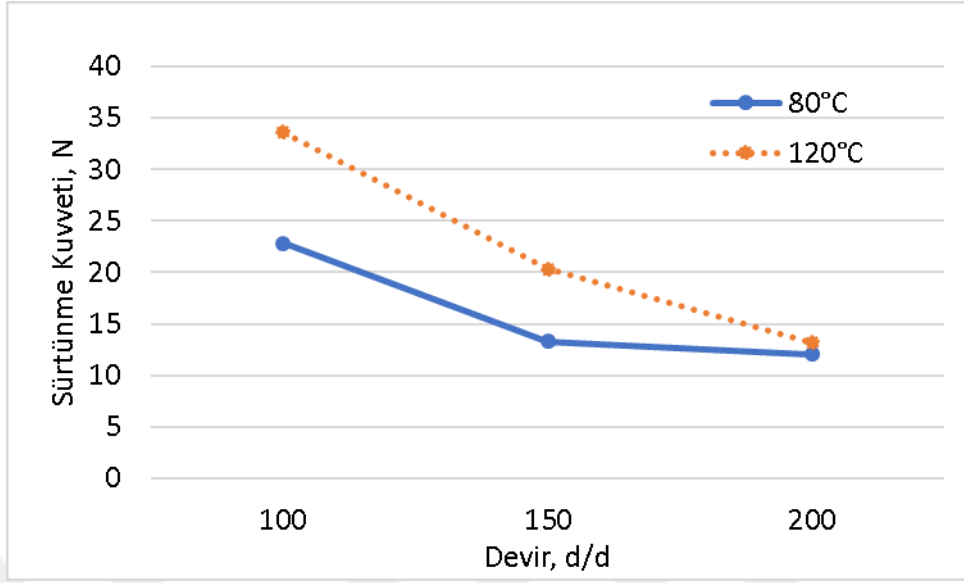
3.1.1 Sıcaklığın Etkisi



Şekil 3. 1 Standart Yağlama Yağı için sıcaklığın etkisi

Standart yağlama yağı durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetinde azalma görülmesi yapılmış olan çalışmaları da destekler nitelikte [92],[44] yağ filminin dayanımını azaltarak sürtünme kuvvetinin artmasına sebep olmuştur. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C’de 12,07 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 33,6 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C’den 120 °C’ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %47, %53, %9’dur. Sıcaklığın artışı ile birlikte yağ filminin performansında düşüş gözlenmiş bunun sonucunda sürtünme kuvveti azalmıştır. Bu artışın devir arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi en küçük artış 200 devir için yapılan ölçümlerde görülmüştür.

3.1.2 Devir Sayısının Etkisi



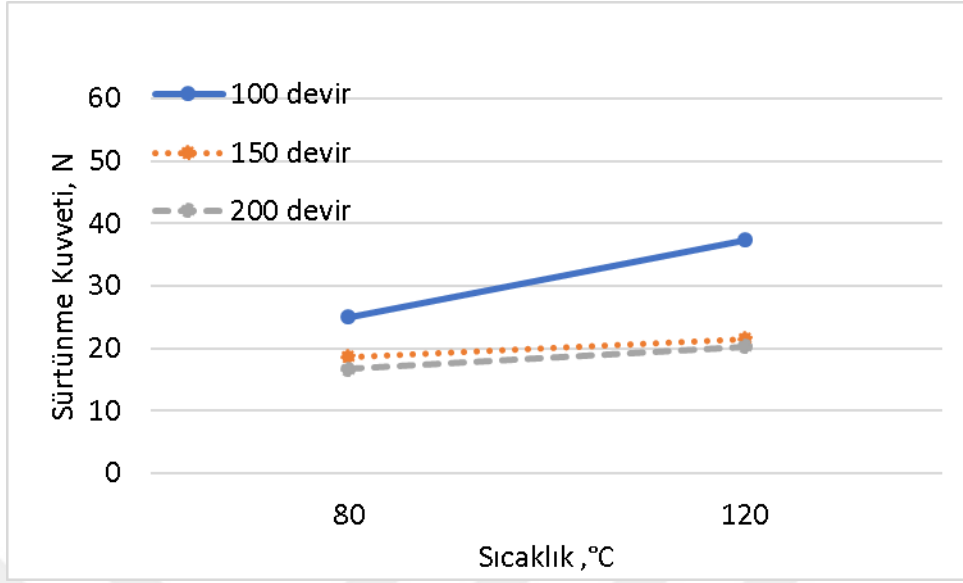
Şekil 3. 2 Standart Yağlama Yağı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.2’de farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Standart yağlama yağı durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C’de 100 d/d için maksimumken 80 °C’de 200 d/d’da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C’deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %47 ve %61 azalma olarak gözlenmiştir. Devir Sayısının artışıyla birlikte sürtünme kuvvetlerinin düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi devir sayısının artmasıyla birlikte segmanın yağlayıcıyla oluşturduğu yağ filminin performansının artmasıdır. Literatüre uygun olarak yüksek devir sayılarında sürtünmenin azaldığı görülmüştür ve bu durumu pistonun kritik noktalarında meydana gelen sürtünmelerin devir sayısı arttıkça azalmasıyla ilişkilendirilebilir [44].

3.2 Yağlama Yağının MDO ile Kirlenme Durumu

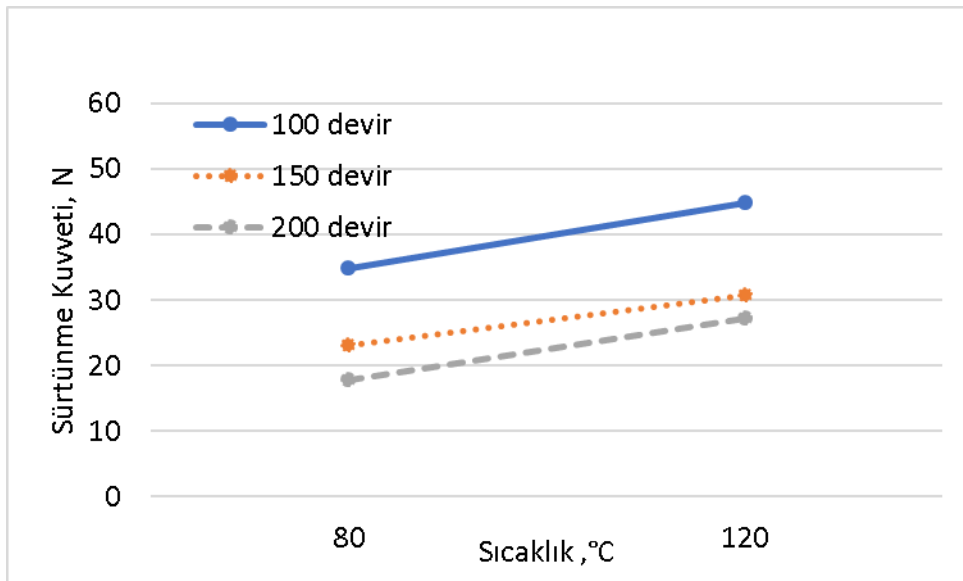
Bu bölümde, yağlama yağına %10, %20 ve %30 oranlarında MDO karıştırılması ile yapılan deneyler ele alınacaktır.

3.2.1 Sıcaklığın Etkisi



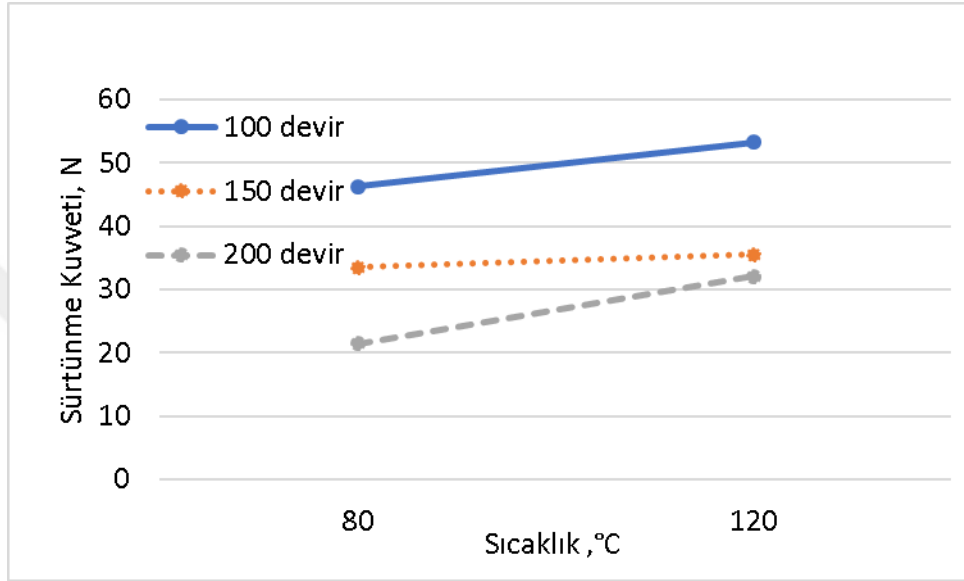
Şekil 3. 3 %10 MDO için sıcaklığın etkisi

%10 MDO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 16,62 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 37,34 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %50, %15, %22'dir. Yağlama performansının sıcaklık artışıyla birlikte azaldığı görülmüştür.



Şekil 3. 4 %20 MDO için sıcaklığın etkisi

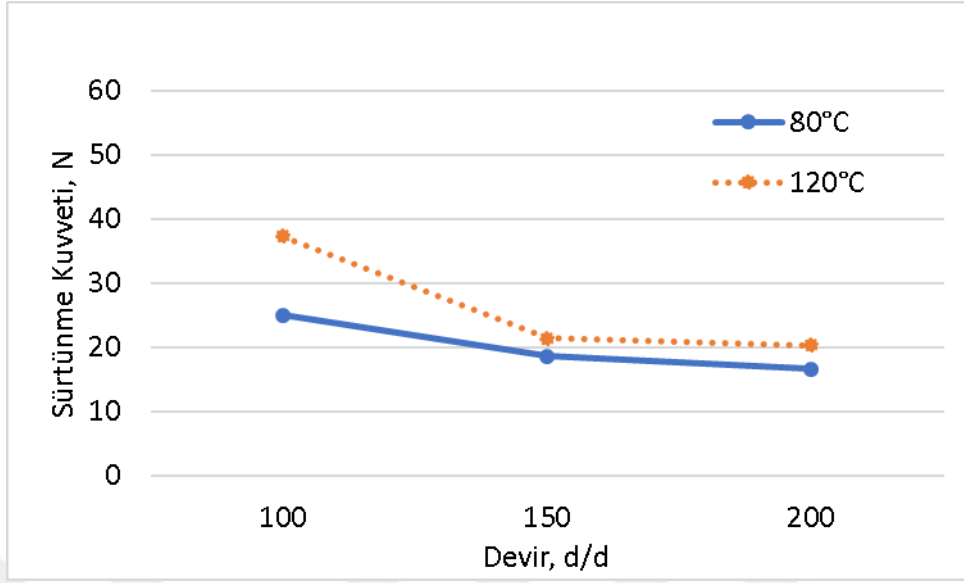
%20 MDO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 17,82 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 44,85 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %29, %33, %53'tür.



Şekil 3. 5 %30 MDO için sıcaklığın etkisi

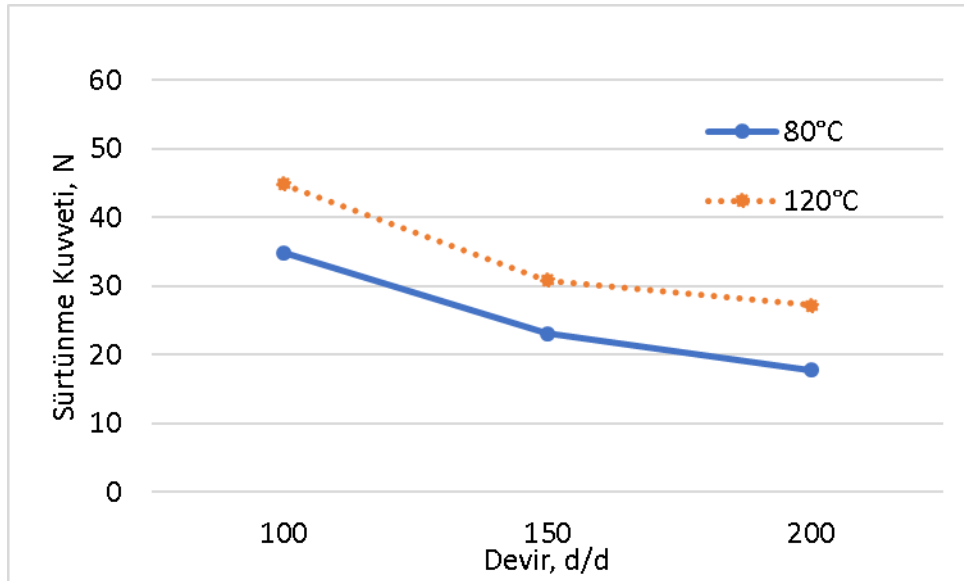
%30 MDO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 21,42 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 53,02 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %14, %6, %50'dir. Yağlama yağının MDO ile kirlenmesi durumunda her miktar için sıcaklığın artmasıyla birlikte piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünmenin arttığı gözlemlenmiştir.

3.2.2 Devir Sayısının Etkisi



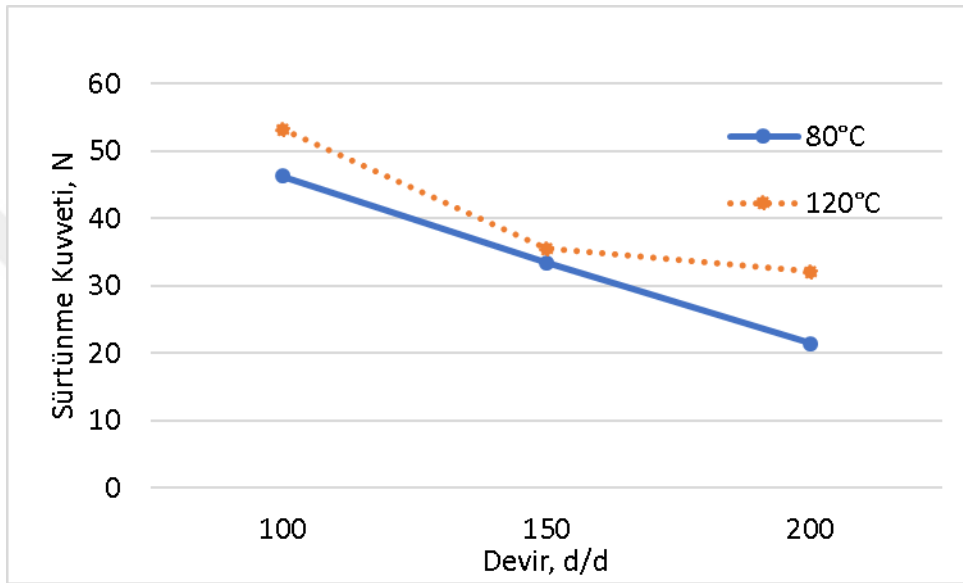
Şekil 3. 6 %10 MDO için devir sayısının etkisi

Şekil 3.6'da farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %10 oranında MDO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %34 ve %46 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 7 %20 MDO için devir sayısının etkisi

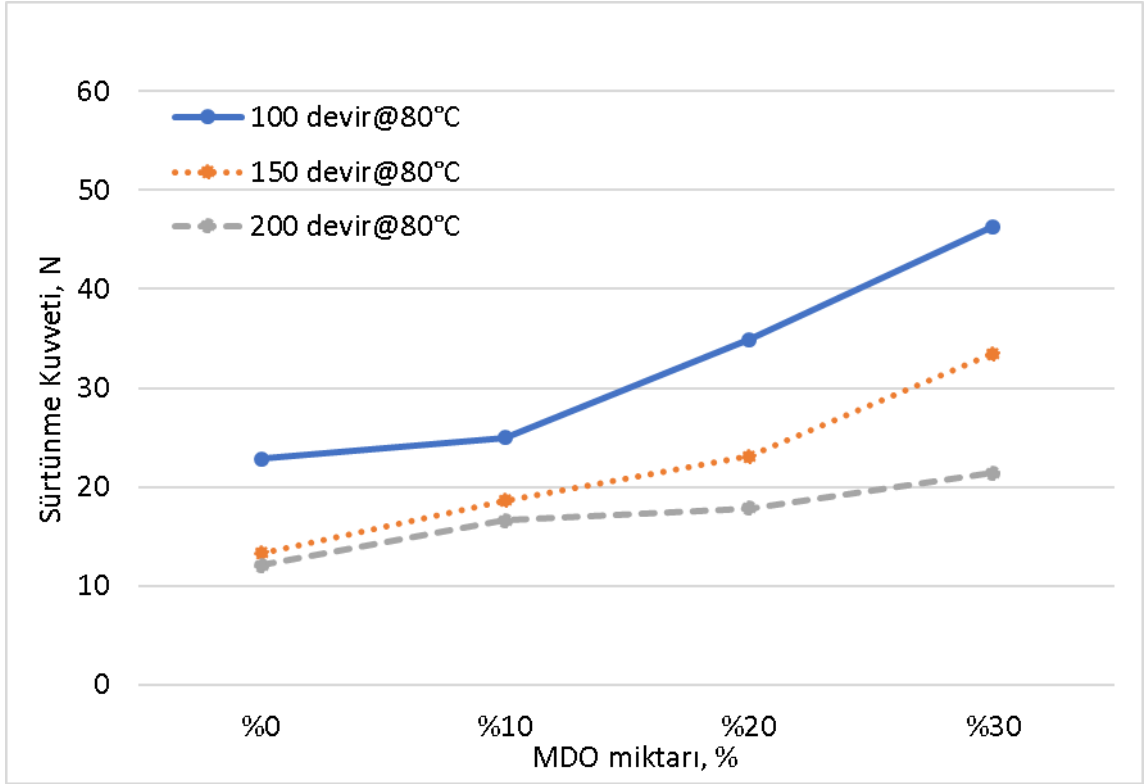
Şekil 3.7'de %20 oranında MDO kirleticisi için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %10 oranında MDO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %49 ve %39 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 8 %30 MDO için devir sayısının etkisi

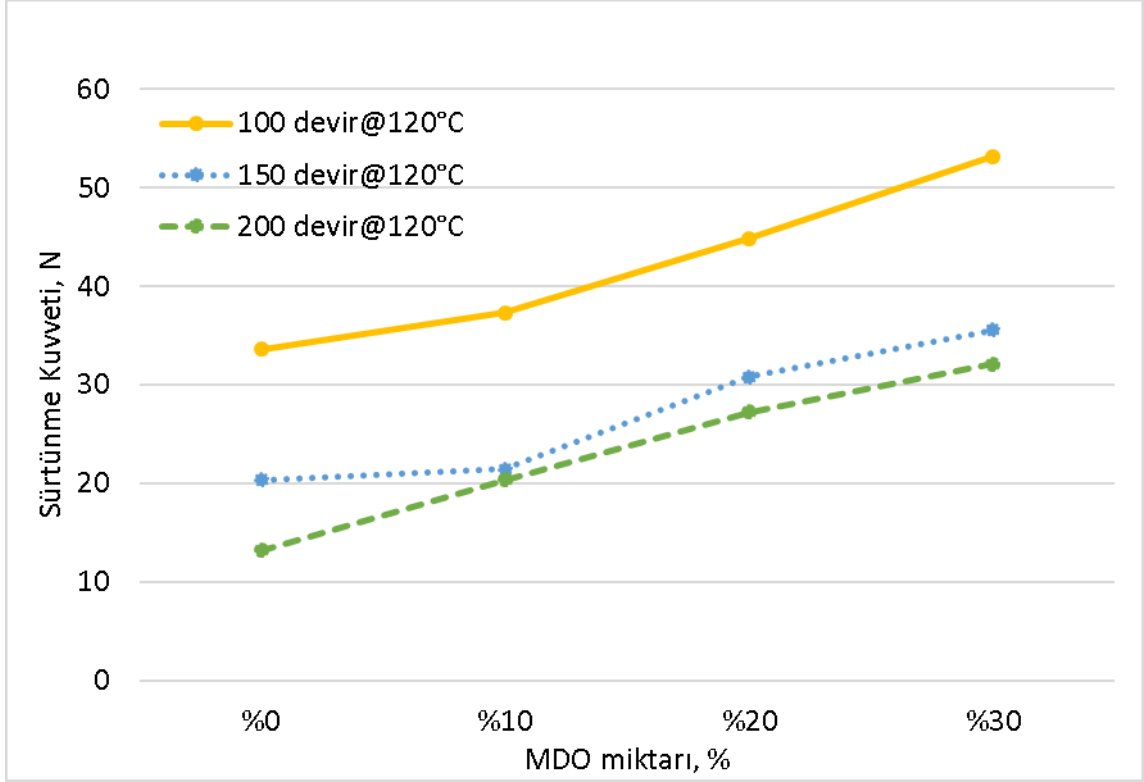
Şekil 3.8'de %30 oranında MDO kirleticisi için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %10 oranında MDO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %54 ve %40 azalma olarak gözlenmiştir. Tüm MDO kirlenme durumları için devir sayısının artmasıyla birlikte yağ filminin performansının arttığı bunun sonucunda sürtünme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

3.2.3 Kirletici (MDO) Miktarı



Şekil 3. 9 80 °C için kirletici (MDO) miktarı etkisi

Şekil 3.9'da, 80 °C için, üç farklı devirde yağlayıcının içerisinde bulunan kirletici yakıt miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Her devir için yakıt içerisindeki MDO miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. En düşük sürtünme kuvveti herhangi bir kirleticinin olmadığı standart yağlayıcı ile yapılan durumda 200 d/d koşulunda 12,07 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %30 MDO kirletici durumda 100 d/d koşulunda 46,29 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti değişim oranları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d durumları için kirletici oranına bağlı olarak sırasıyla; %103, %152, %78 artış şeklinde gözlemlenmiştir. MDO kirletici miktarının artması piston segmanı- silindir gömleği sürtünmelerinin arttığı görülmüştür. Devir Sayısının artmasıyla birlikte MDO'nun negatif etkisinin azaldığı görülmüştür. En büyük sürtünme artışları düşük devirlerde görülmüştür.



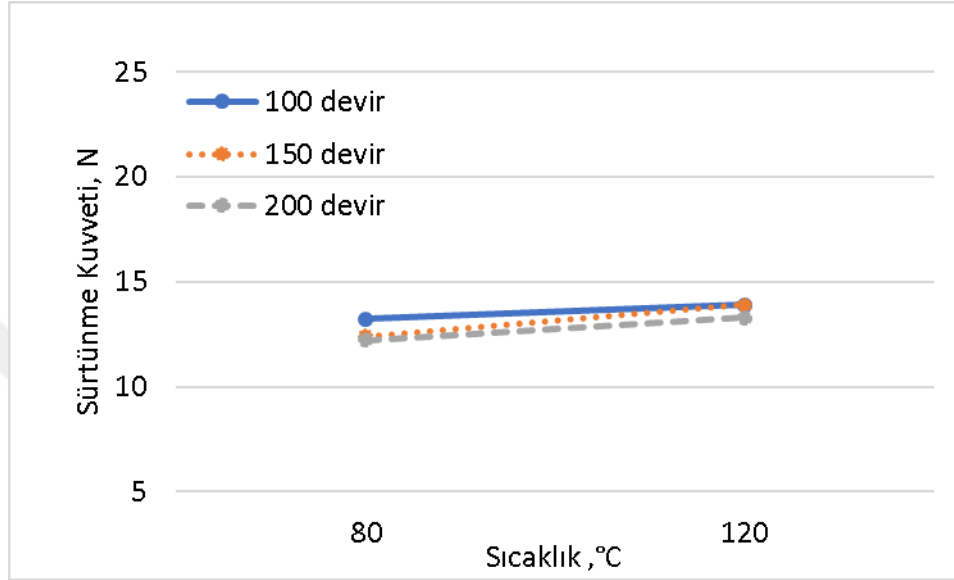
Şekil 3. 10 120 °C için kirletici (MDO) miktarı etkisi

Şekil 3.10'da, 120 °C için, üç farklı devirde yağlayıcının içerisinde bulunan kirletici yakıt miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Her devir için yakıt içerisindeki MDO miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. En düşük sürtünme kuvveti herhangi bir kirleticinin olmadığı standart yağlayıcı ile yapılan durumda 200 d/d koşulunda 13,18 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %30 MDO kirletici durumda 100 d/d koşulunda 53,21 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti değişim oranları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d durumları için kirletici oranına bağlı olarak sırasıyla; %58, %75, %144 artış şeklinde gözlemlenmiştir. 80 °C için, yapılan deney sonuçlarına paralel olarak kirletici miktarının artması, sürtünme kuvvetinde artışa neden olmuştur. Yapılan tüm deneyler içerisinde en yüksek sürtünme kuvveti 120 °C'deki MDO deneyleri için gözlemlenmiştir. Yağlayıcının içerisine karışan MDO yağlama yağının performansını kötü etkilemiştir ve yağlama görevini yerine getirmesine engel olmuştur. Ayrıca grafiklerden de anlaşılacağı gibi devir sayısının artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetleri üzerinde meydana gelen değişim azalmıştır. Buradan devir sayısının sürtünme kuvvetleri değişimleri üzerinde farklı etkilerinin olduğu görülmüştür.

3.3 Yağlama Yağı-HFO İçeren Ölçümler

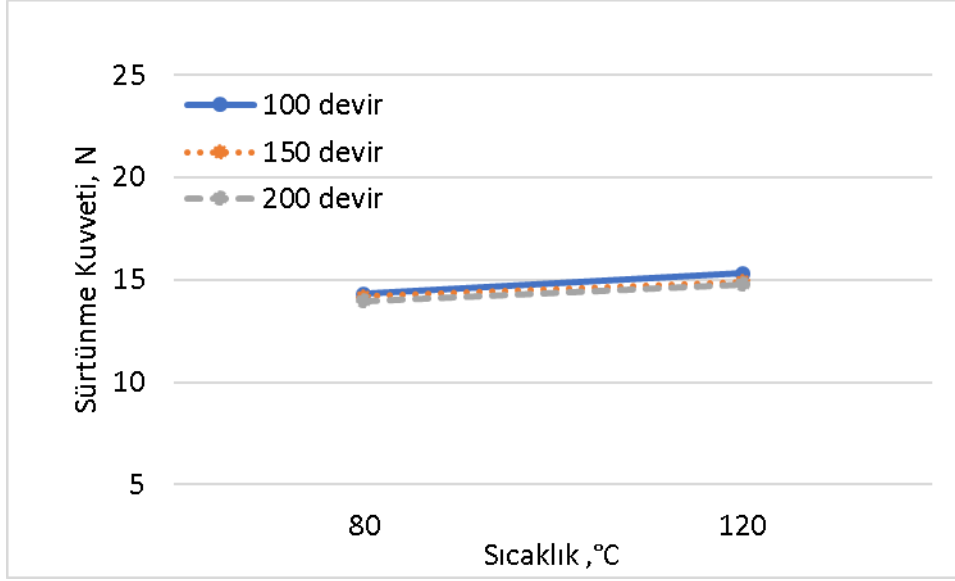
Bu bölümde, yağlama yağına %10, %20 ve %30 oranlarında HFO karıştırılması ile yapılan deneyler ele alınacaktır.

3.3.1 Sıcaklığın Etkisi



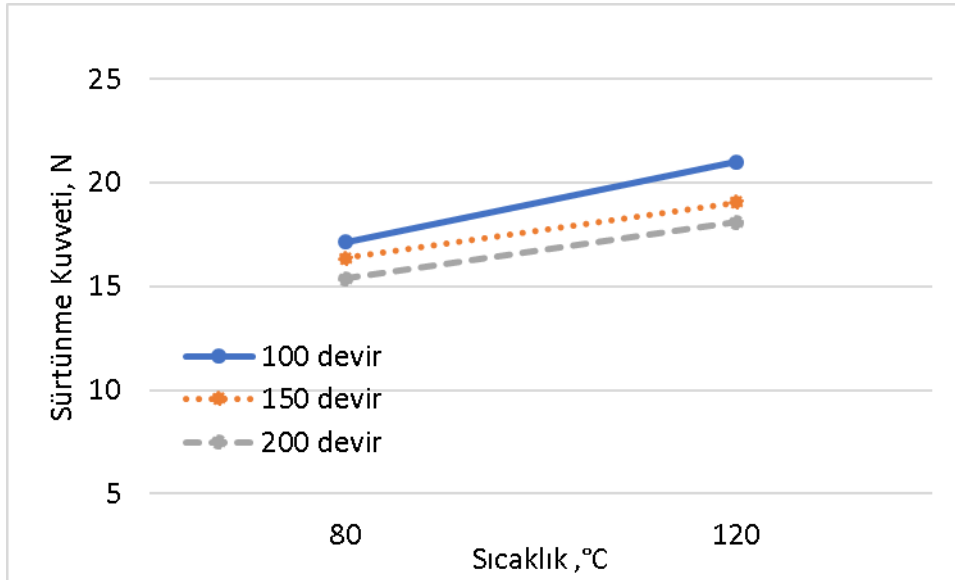
Şekil 3. 11 %10 HFO için sıcaklığın etkisi

%10 HFO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.11'te gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 12,24 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 13,89 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %5, %12, %9'dur.



Şekil 3. 12 %20 HFO için sıcaklığın etkisi

%20 HFO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 13,97 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 15,31 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %7, %5, %6'dır.

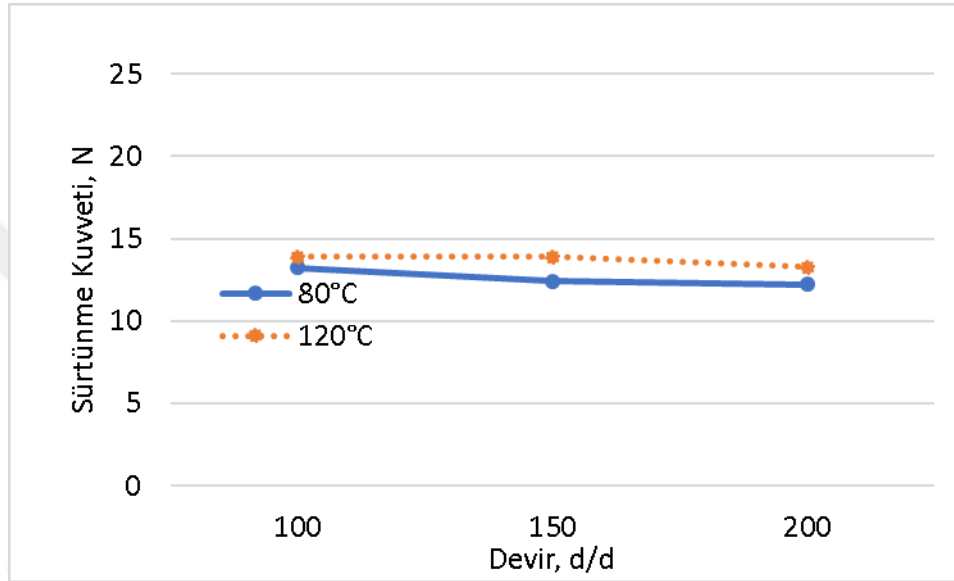


Şekil 3. 13 %30 HFO için sıcaklığın etkisi

%30 HFO kirlenmesi durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80

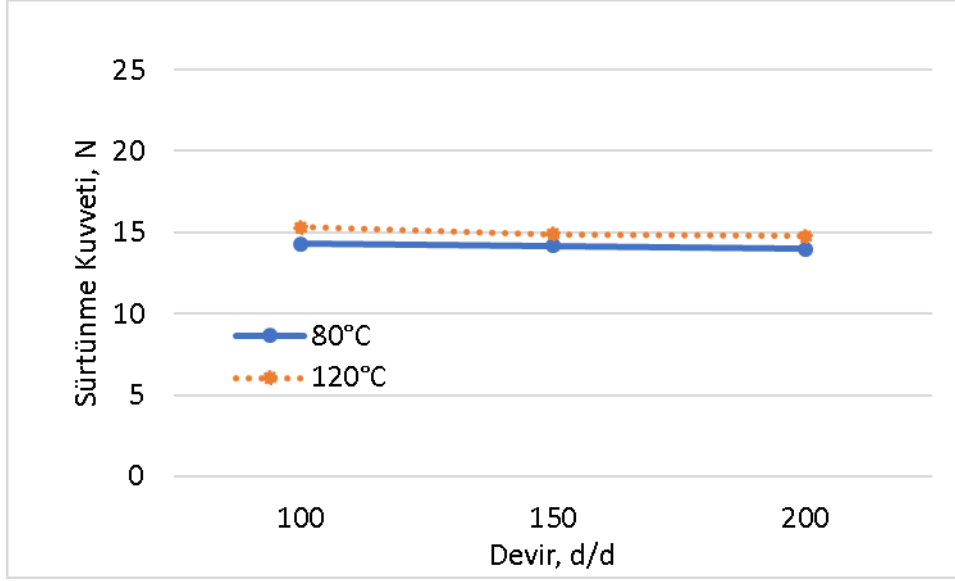
°C'de 15,37 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 21,02 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %23, %16, %18'dir. Daha önce yapılmış ölçümlere paralel sonuçlar elde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetleri de artmıştır.

3.3.2 Devir Sayısının Etkisi



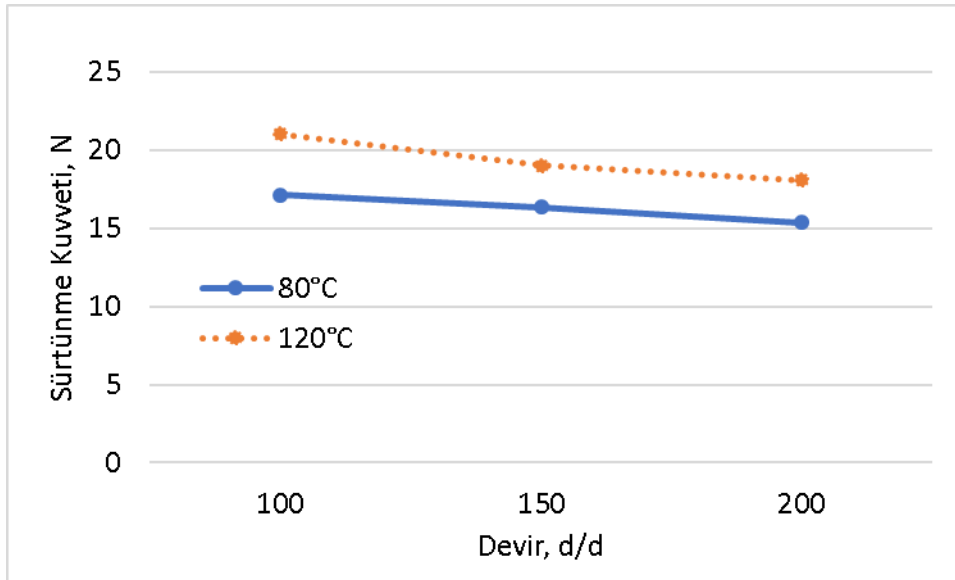
Şekil 3. 14 %10 HFO için devir sayısının etkisi

Şekil 3.14'te %10 oranında HFO kirleticisi için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %10 oranında HFO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %7 ve %4 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 15 %20 HFO için devir sayısının etkisi

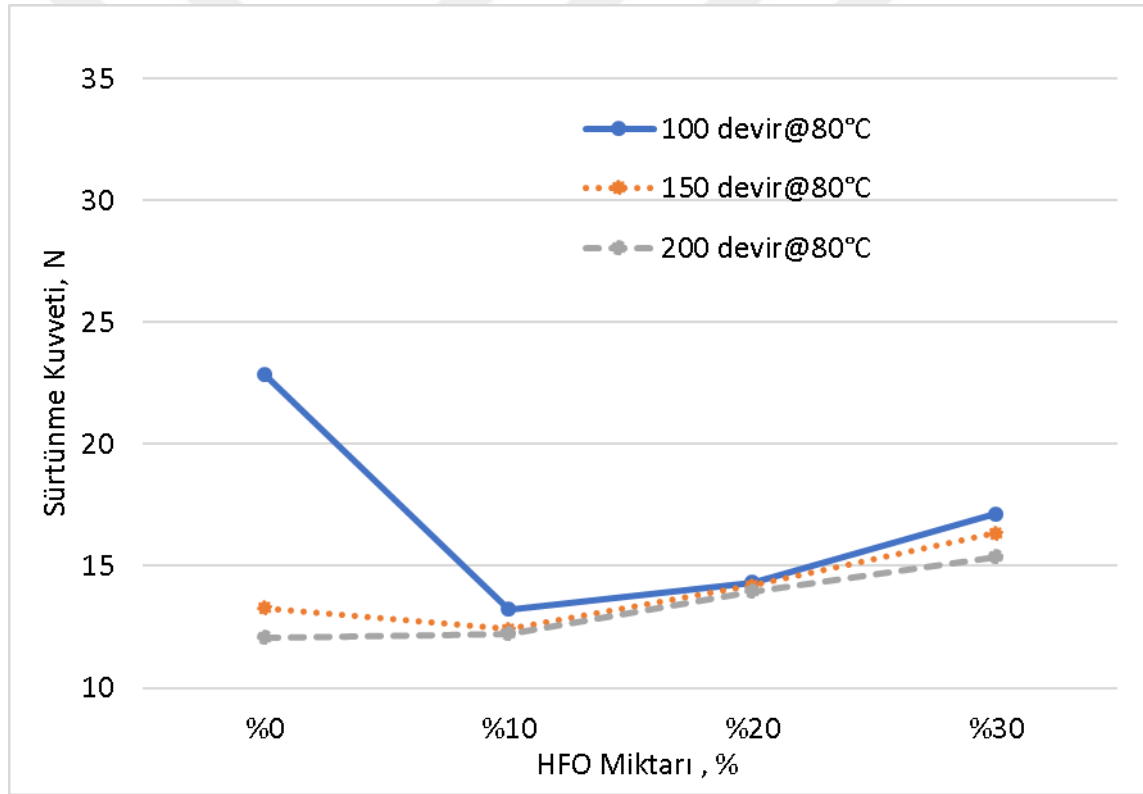
Şekil 3.15'te %20 oranında HFO kirleticisi için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %20 oranında HFO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %2 ve %3 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 16 %30 HFO için devir sayısının etkisi

Şekil 3.16'da %30 oranında HFO kirleticisi için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. Yağlama yağına %30 oranında HFO kirlenmesi durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %10 ve %14 azalma olarak gözlenmiştir. Daha önce yapılmış ölçümlere paralel sonuçlar elde edilmiştir. Devir Sayısının artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetleri azalmıştır.

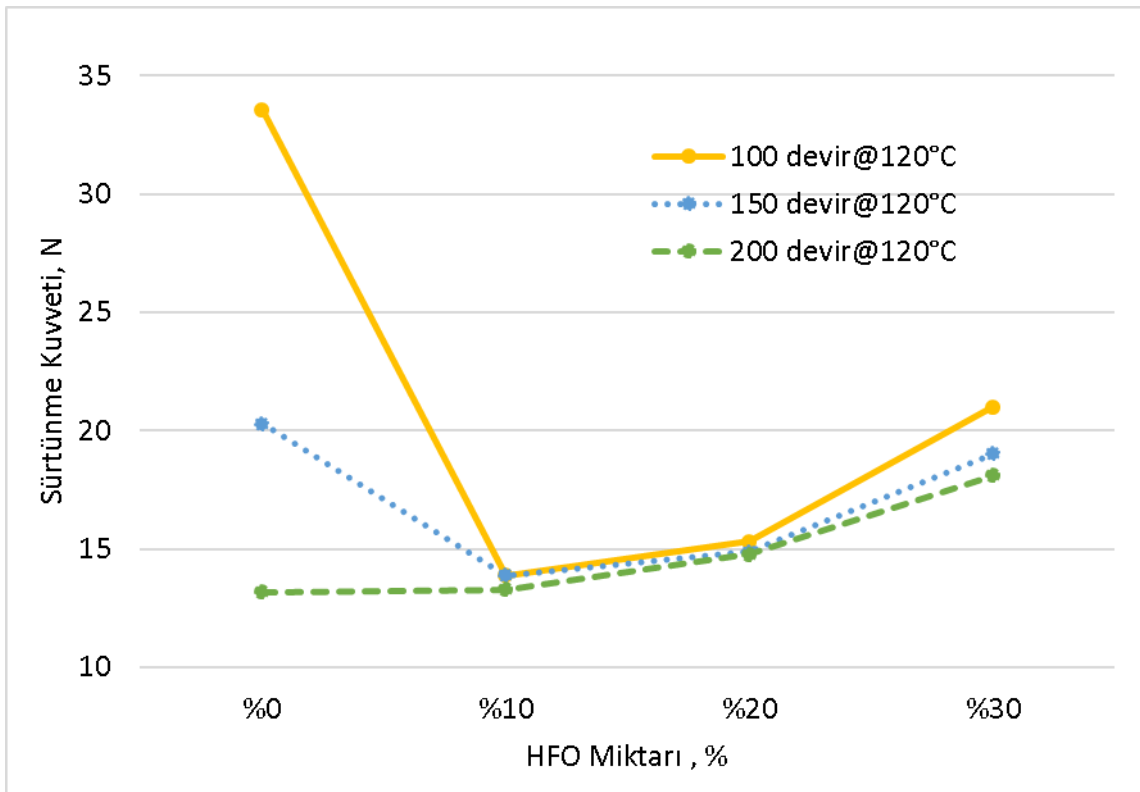
3.3.3 Kirletici (HFO) Miktarı



Şekil 3. 17 80 °C için kirletici (HFO) miktarı

Yapılan ölçümlerde yağ içerisindeki HFO miktarı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin de artmakta olduğu görülmektedir. Şekil 3.17'de, 80 °C'de, üç farklı devir için yağlayıcının içerisinde bulunan kirletici yakıt miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Her devir için yakıt içerisindeki HFO miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetinin artma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneylerinin dışında en düşük

sürtünme kuvveti %10 HFO kirlenmesi durumu için 200 d/d koşulunda 12,24 N olarak gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme kuvveti ise %30 HFO kirlenmesi 100 d/d koşulunda 17,15 N olarak kaydedilmiştir. Standart yağlama yağı deneylerinden %10 HFO kirlenmesi durumuna geçerken sürtünme kuvveti değerlerinde 100 d/d ve 150 d/d için sırasıyla; %42 ve %7 oranlarında azalma gözlenirken, 200 d/d için ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. Ayrıca HFO kirlenmesi durumundaki deneylerde 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sürtünme kuvvetlerinde sırasıyla %30, %32 ve %24 oranlarında artış görülmüştür.



Şekil 3. 18 120 °C için kirletici (HFO) miktarı

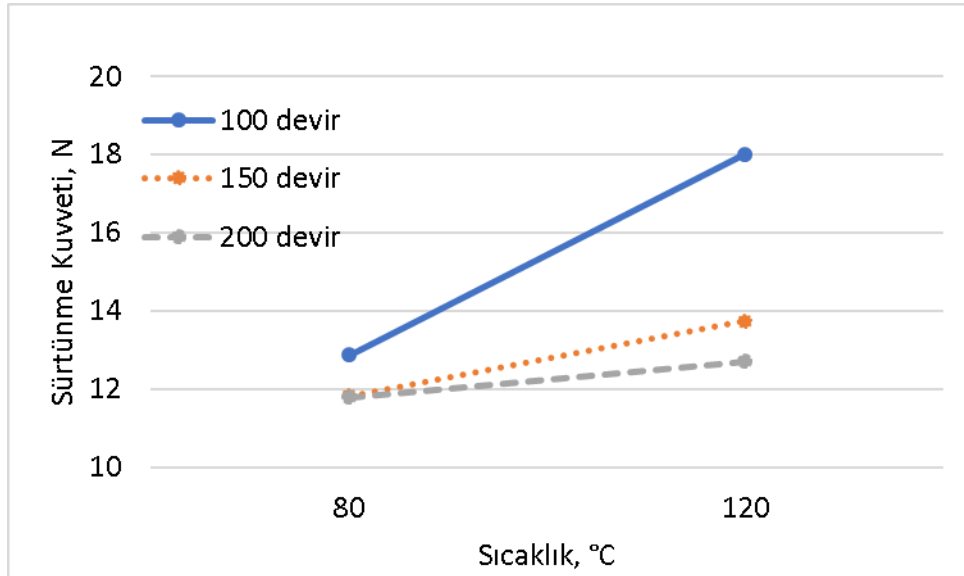
Yapılan ölçümlerde yağ içerisindeki HFO miktarı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin de artmakta olduğu görülmektedir. Şekil 3.18'de, 120 °C'de, üç farklı devir için yağlayıcının içerisinde bulunan kirletici yakıt miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Her devir için yakıt içerisindeki HFO miktarına bağlı olarak sürtünme kuvvetinin artma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneylerinin dışında en düşük sürtünme kuvveti %10 HFO kirlenmesi durumu için 200 d/d koşulunda 13,28 N olarak gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme kuvveti ise %30 HFO kirlenmesi 100 d/d koşulunda 21 N olarak kaydedilmiştir. Standart yağlama yağı deneylerinden %10 HFO

kirlenmesi durumuna geçerken sürtünme kuvveti değerlerinde 100 d/d ve 150 d/d için sırasıyla; %59 ve %32 oranlarında azalma gözlenirken, 200 d/d için ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. Ayrıca HFO kirlenmesi durumundaki deneylerde 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sürtünme kuvvetlerinde sırasıyla %51, %37 ve %36 oranlarında artış görülmüştür. HFO kirlenmesi durumunda yoğunluğu yüksek olan HFO yağ filmini güçlendirmiştir. Bundan dolayı standart yağlama yağı ölçümlerine göre sürtünme kuvvetinde azalma gözlemlenmiştir. Öte yandan HFO kirlenme miktarlarının artışıyla birlikte sürtünme kuvvetlerinde artış gözlemlenmiştir. HFO'in sürtünme performansına yapmış olduğu pozitif etki miktarının artmasıyla birlikte azalmıştır. Bunun dışında Sıcaklığın artması ölçümü yapılan sürtünme kuvvetlerini de arttırmıştır. Devir Sayısının artışı ile birlikte elde edilen sonuçlar genellikle birbirlerine çok yakın oran ve miktarlarda görülmüştür.

3.4 Yağlama Yağına Katkı Maddesi İlavesi Durumu

Bu bölümde, yağlama yağına %5, %10 ve %15 oranlarında tall yağı asidi katkısı karıştırılması ile yapılan deneyler ele alınacaktır.

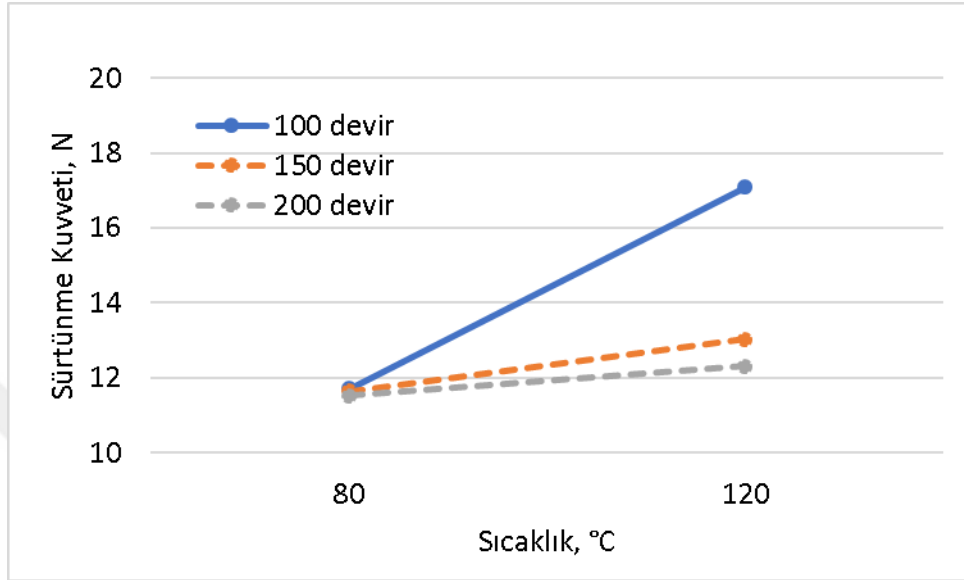
3.4.1 Sıcaklığın Etkisi



Şekil 3. 19 %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

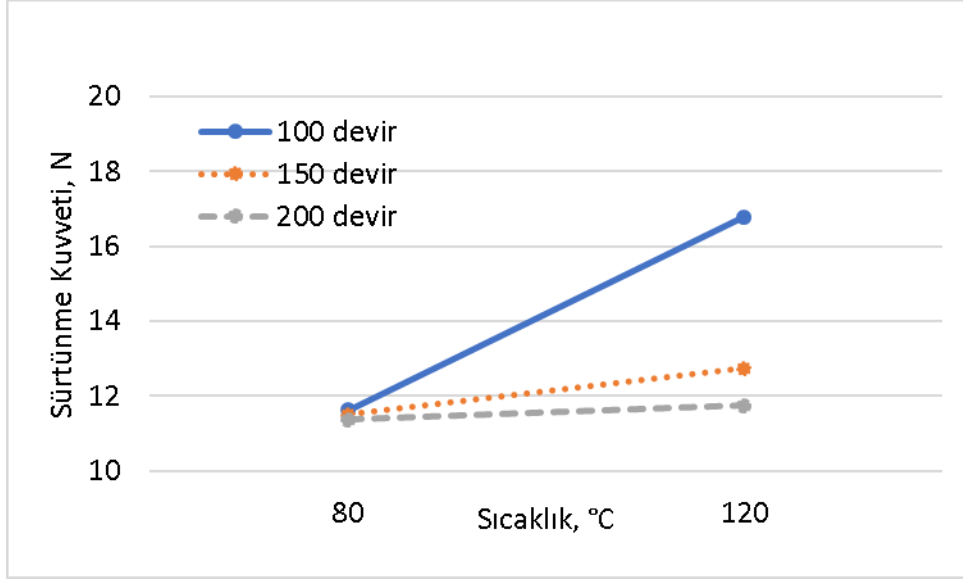
%5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti

200 d/d 80 °C'de 11,8 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 18,01 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %29, %14, %7'dir.



Şekil 3. 20 %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

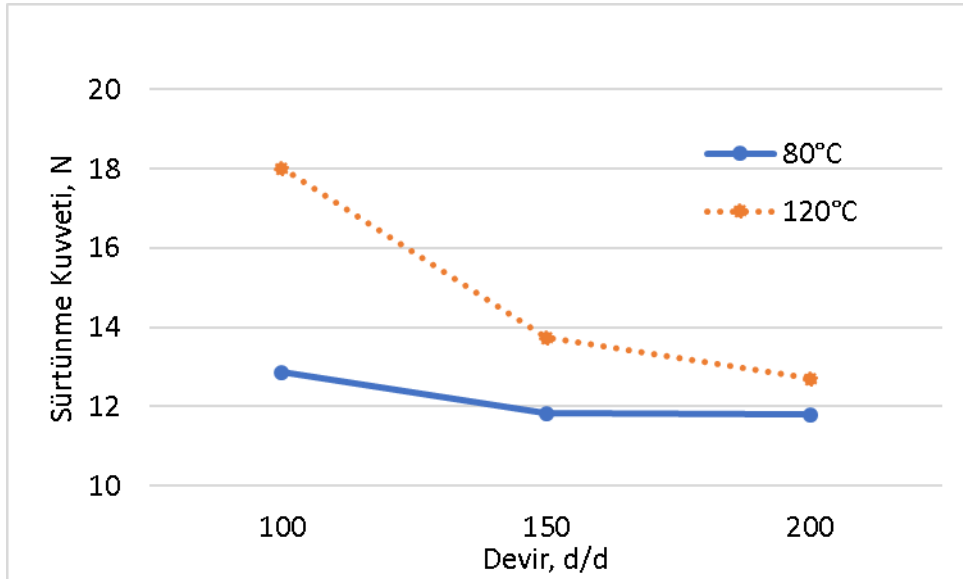
%10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C'de 17,08 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 11,52 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C'den 120 °C'ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %32, %11, %7'dir.



Şekil 3. 21 %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

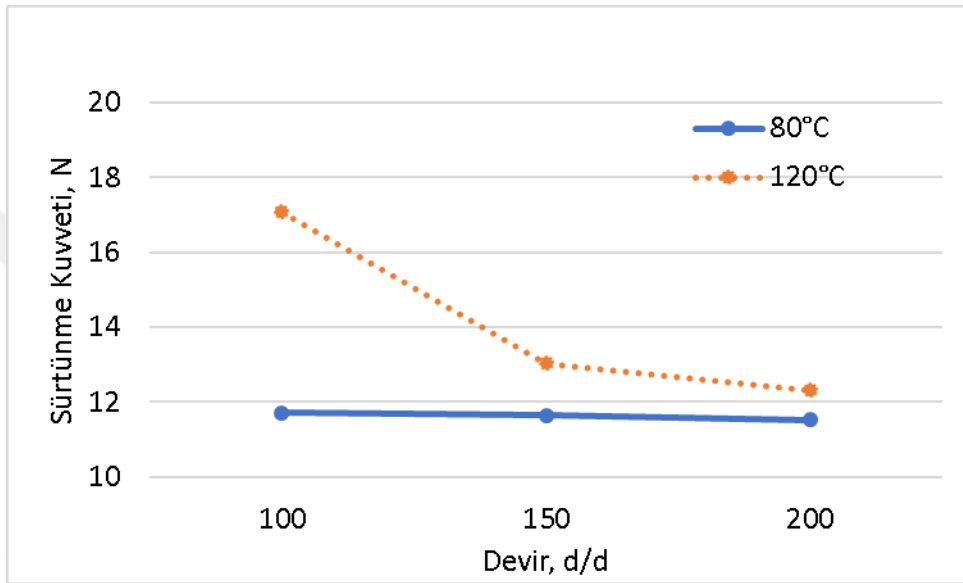
%15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümlerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Ölçümler sonucunda en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d 80 °C’de 11,38 N olarak gözlemlenmiştir, sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer ise 16,78 N ile 100 d/d 120 °C koşullarında gerçekleşmiştir. Sıcaklığın 80 °C’den 120 °C’ye yükselmesiyle meydana gelen sürtünme kuvveti artışları 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için; sırasıyla %31, %10, %3’tür.

3.4.2 Devir Sayısının Etkisi



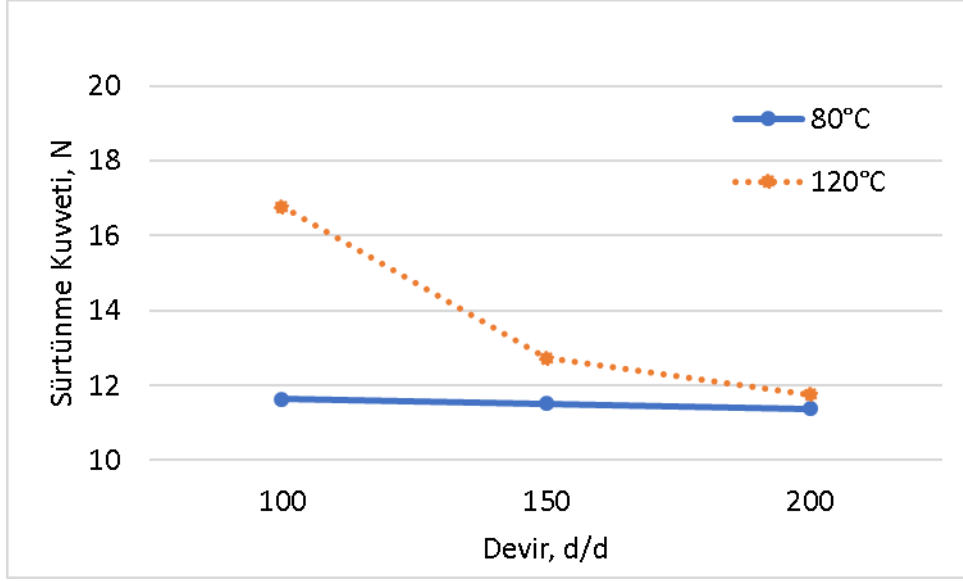
Şekil 3. 22 %5 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.22’de %5 oranında katkı içeren yağlayıcı için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. %5 katkı durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C’de 100 d/d için maksimumken 80 °C’de 200 d/d’da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C’deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %8 ve %30 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 23 %10 Katkı için devir sayısının etkisi

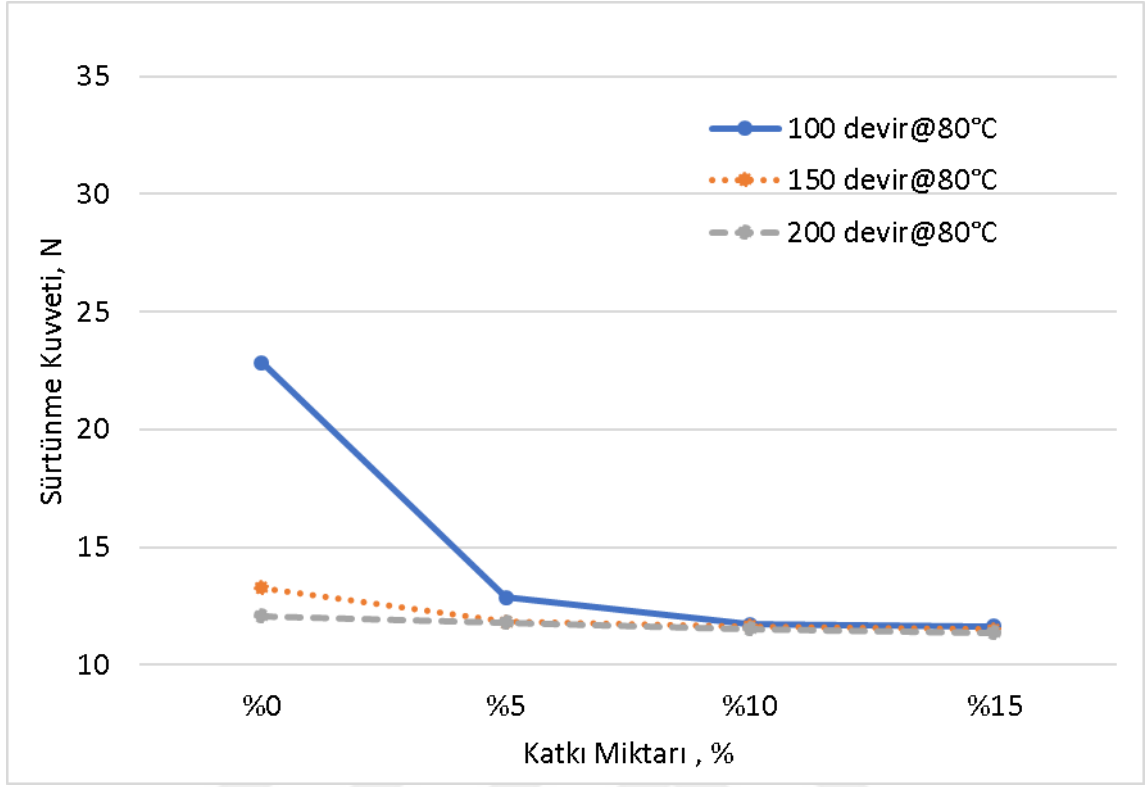
Şekil 3.23’te %10 oranında katkı içeren yağlayıcı için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. %10 katkı durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C’de 100 d/d için maksimumken 80 °C’de 200 d/d’da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C’deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %2 ve %31 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 24 %15 Katkı için devir sayısının etkisi

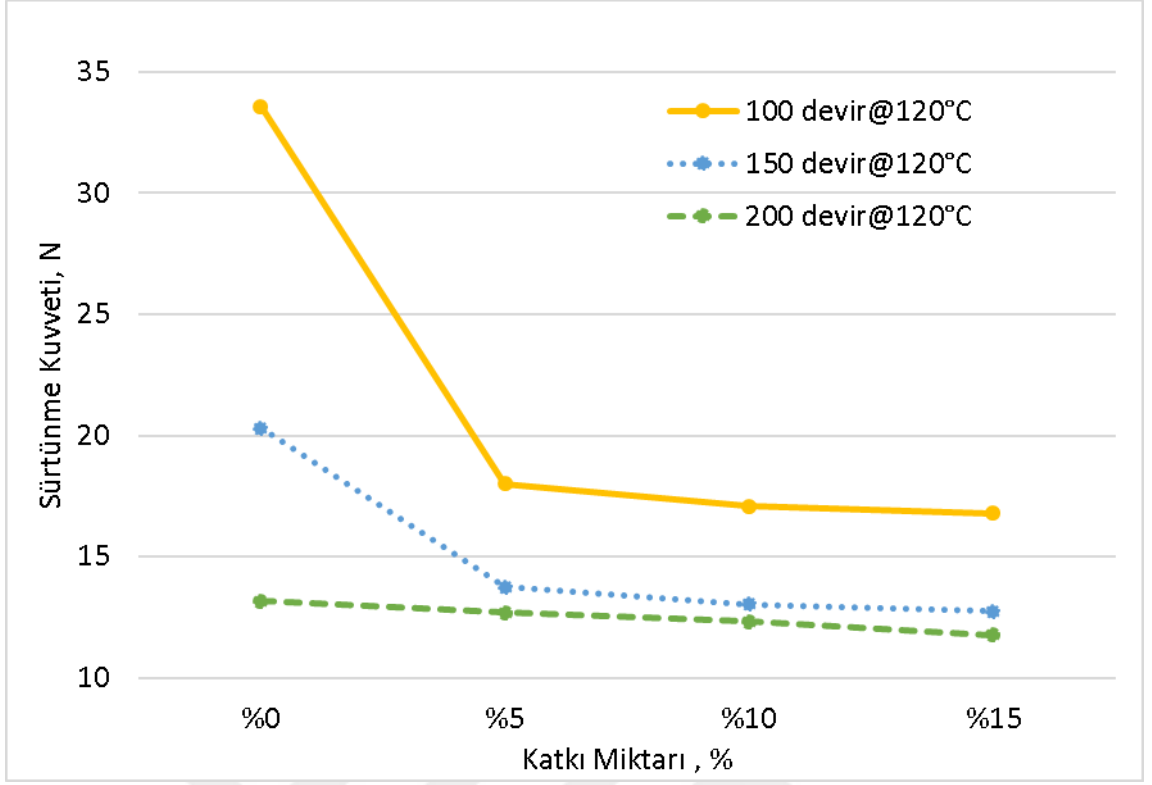
Şekil 3.24'te %15 oranında katkı içeren yağlayıcı için farklı devir sayılarına bağlı sürtünme kuvveti değişimi grafiği görülmektedir. %15 katkı durumunda devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı gibi sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken 80 °C'de 200 d/d'da minimum değerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerindeki devre bağlı toplam değişim oranları; sırasıyla %2 ve %30 azalma olarak gözlenmiştir.

3.4.3 Katkı Miktarı



Şekil 3. 25 80 °C için Katkı miktarı etkisi

Yapılan ölçümlerde yağ içerisindeki katkı miktarı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin azalmakta olduğu görülmektedir. Şekil 3.25'te, 80 °C'de, üç farklı devir için yağlayıcının içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Katkı içeren yağlayıcılar için en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı durumu için 200 d/d koşulunda 11,38 N olarak gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme kuvveti ise %5 katkı içeriğine sahip yağlayıcı için 100 d/d koşulunda 12,86 N olarak kaydedilmiştir. Yapılan deneylerde 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sürtünme kuvvetlerinde sırasıyla %49, %13 ve %6 oranlarında azalma görülmüştür. Sürtünme kuvvetinin katkının eklenmesiyle azaldığı azalma oranının ise katkı miktarı arttıkça azaldığı anlaşılmıştır.



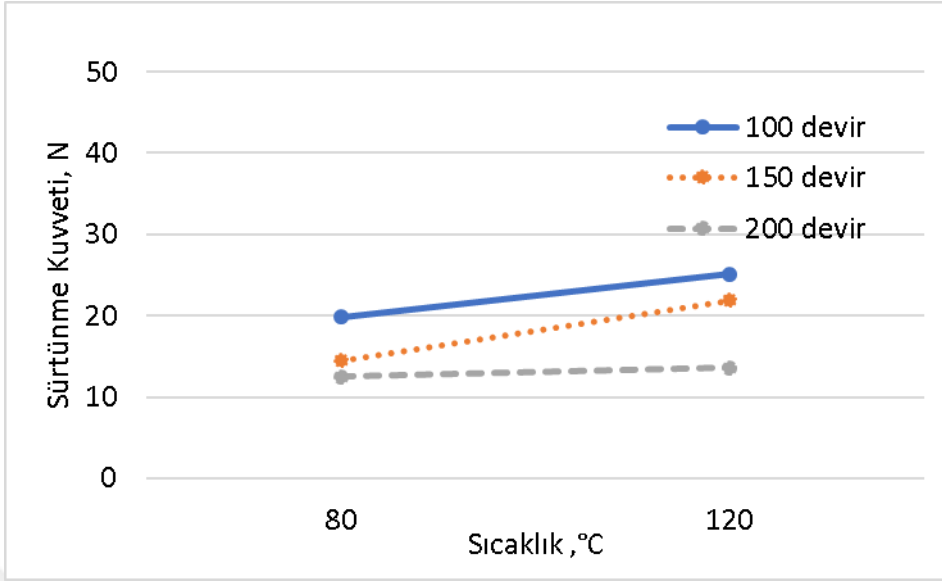
Şekil 3. 26 120 °C için katkı miktarı etkisi

Şekil 3.26'da, 120 °C'de, üç farklı devir için yağlayıcının içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiği verilmiştir. Katkı içeren yağlayıcılar için en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı durumu için 200 d/d koşulunda 11,76 N olarak gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme kuvveti ise %5 katkı içeriğine sahip yağlayıcı için 100 d/d koşulunda 18 N olarak kaydedilmiştir. Yapılan deneylerde 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sürtünme kuvvetlerinde sırasıyla %50, %37 ve %11 oranlarında azalma görülmüştür. Sürtünme kuvvetinin katkının eklenmesiyle azaldığı azalma oranının ise katkı miktarı arttıkça azaldığı anlaşılmıştır.

3.5 Yağlama Yağı-MDO-Katkı Maddesi İçeren Ölçümler

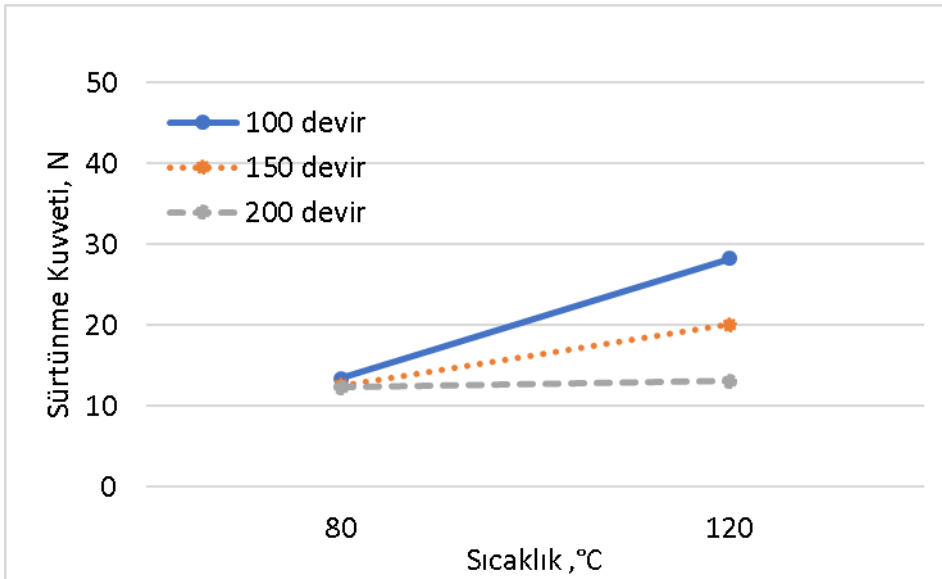
Bu bölümde, yağlama yağına %10, %20 ve %30 oranlarında MDO karıştırılması ile elde edilen karışımlara %5, %10 ve %15 oranlarında tall yağı asidi katkısı katılmasıyla elde edilen yağlayıcılarla yapılan deneyler ele alınacaktır.

3.5.1 Sıcaklığın Etkisi



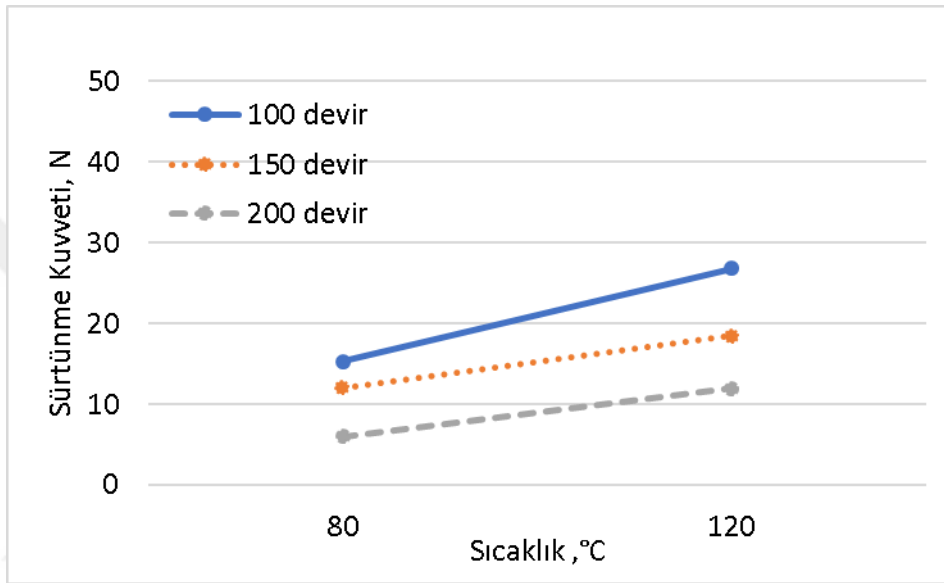
Şekil 3. 27 %10 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 MDO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.27’de gösterilmiştir. %10 MDO kirletici içeren yağlama yağına, %5 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d’da 80 °C’de 12,51 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 25,16 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %27, %52, %9’dur.



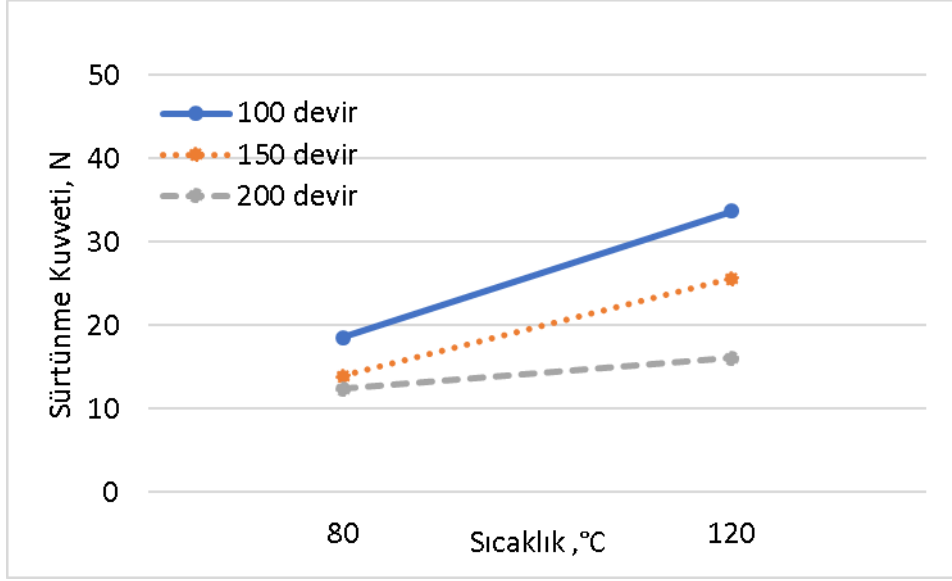
Şekil 3. 28 %10 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 MDO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.28'de gösterilmiştir. %10 MDO kirletici içeren yağlama yağına, %10 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 12,4 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 33,73 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %111, %113, %7'dir.



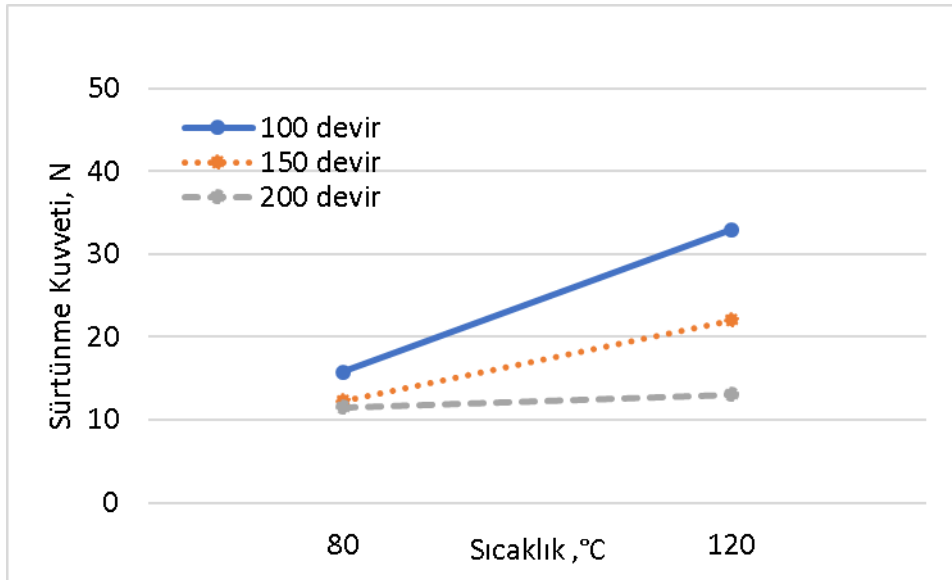
Şekil 3. 29 %10 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 MDO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.29'da gösterilmiştir. %10 MDO kirletici içeren yağlama yağına, %15 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 6 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 26,81 N olarak ölçülmüştür Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %77, %60, %99'dur.



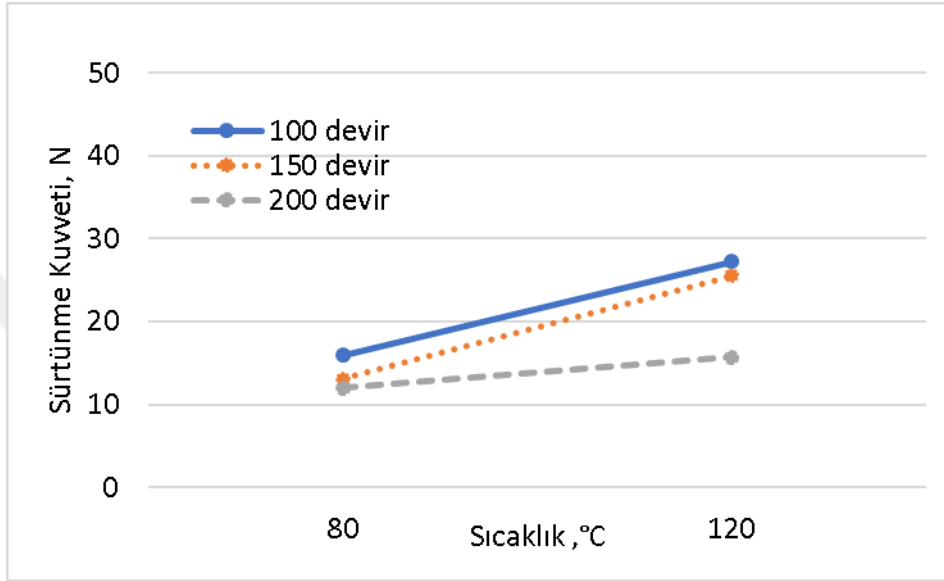
Şekil 3. 30 %20 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 MDO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.30'da gösterilmiştir. %20 MDO kirletici içeren yağlama yağına, %5 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 12,38 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 33,73 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %82, %83, %30'dur.



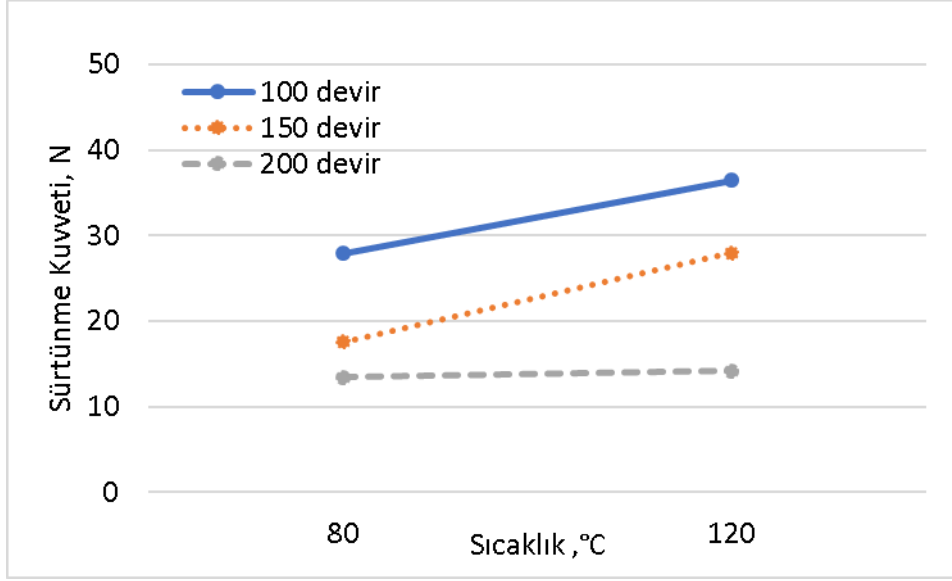
Şekil 3. 31 %20 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 MDO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 11,55 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 33 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %109, %80, %13'tür.



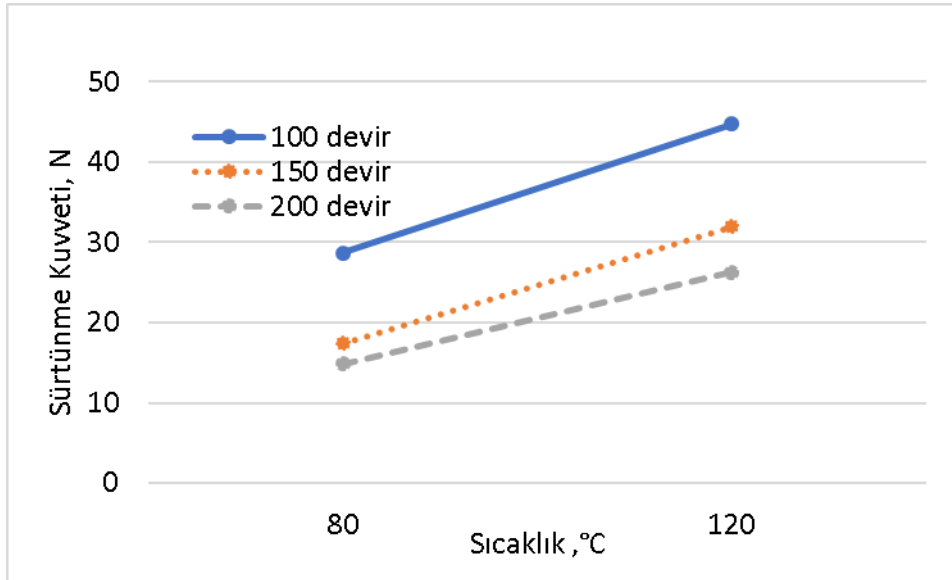
Şekil 3. 32 %20 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 MDO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 12 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 27,2 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %70, %95, %31'dir.



Şekil 3. 33 %30 MDO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

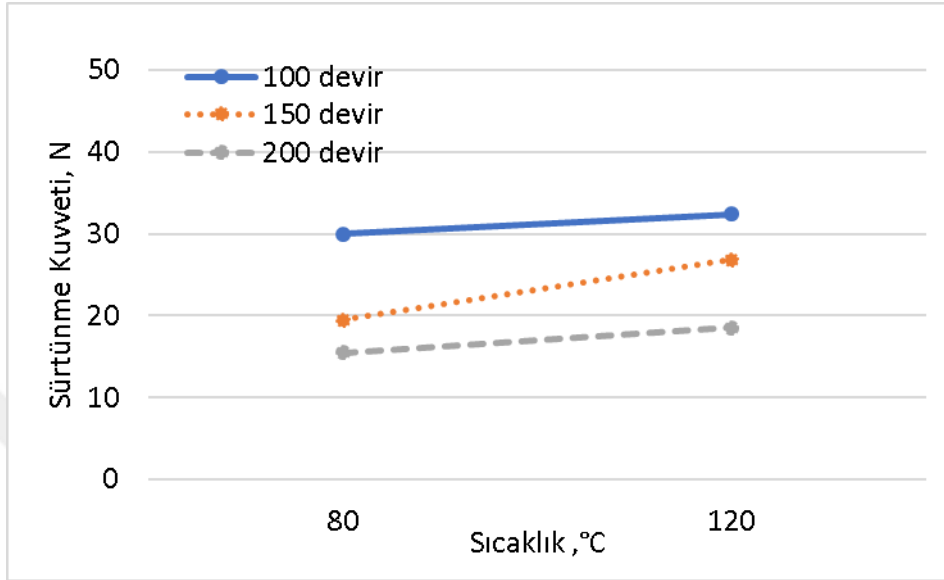
%30 MDO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 13,42 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 36,47 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %31, %60, %6'dir.



Şekil 3. 34 %30 MDO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%30 MDO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti

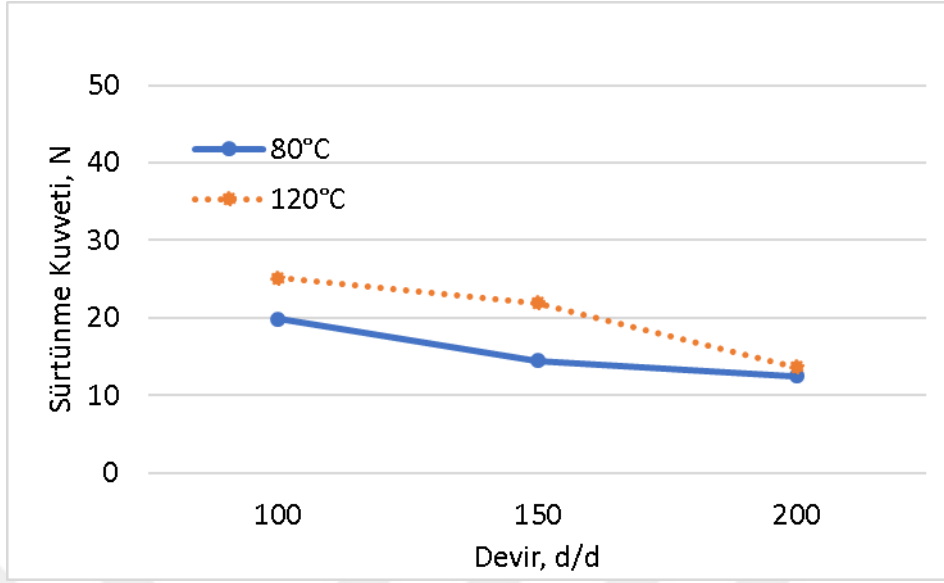
200 d/d'da 80 °C'de 14,8 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 44,74 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %56, %84, %78'dir.



Şekil 3. 35 %30 MDO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

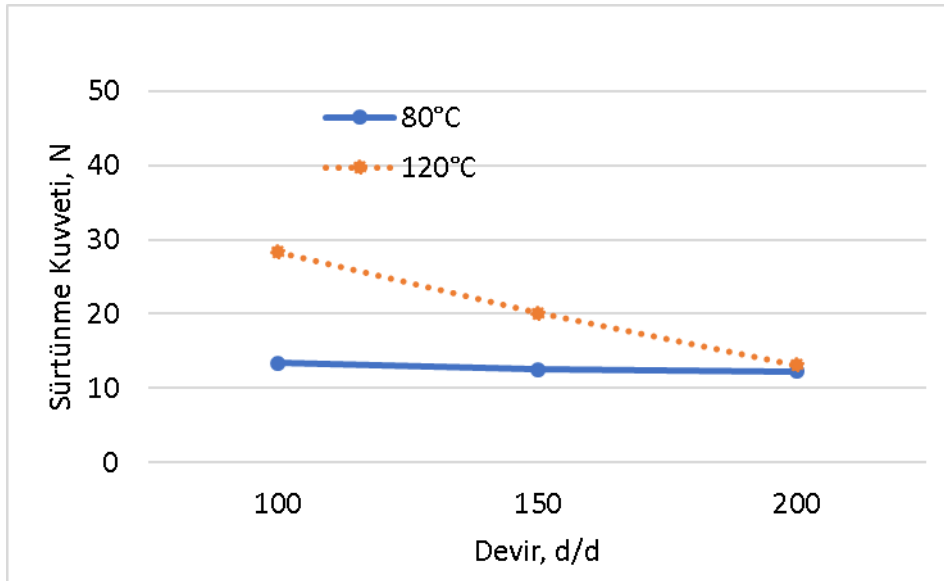
%30 MDO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.35'te gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 15,51 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 32,42 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %8, %38, %20'dir.

3.5.2 Devir Sayısının Etkisi



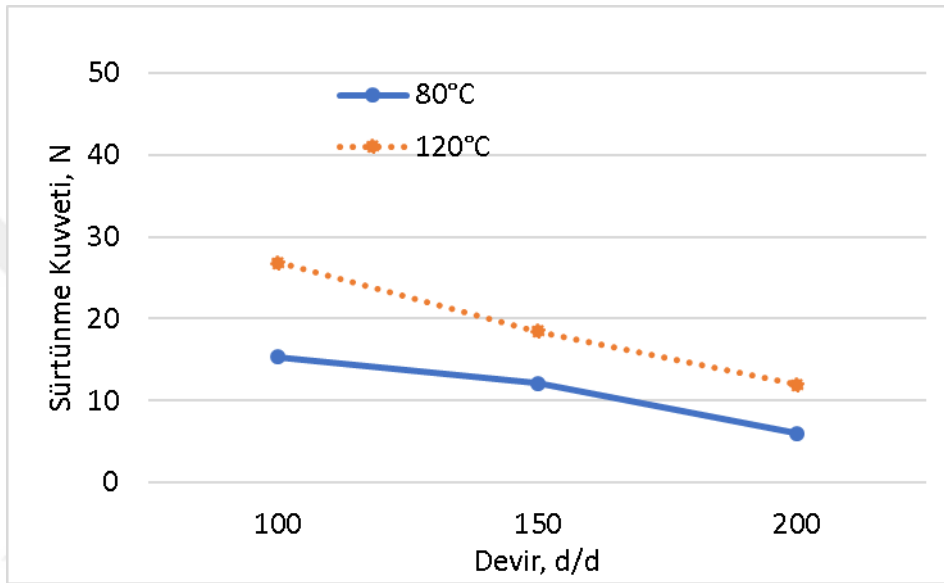
Şekil 3. 36 %10 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.36'da %10 MDO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %37 ve %46 azalma olarak gözlenmiştir.



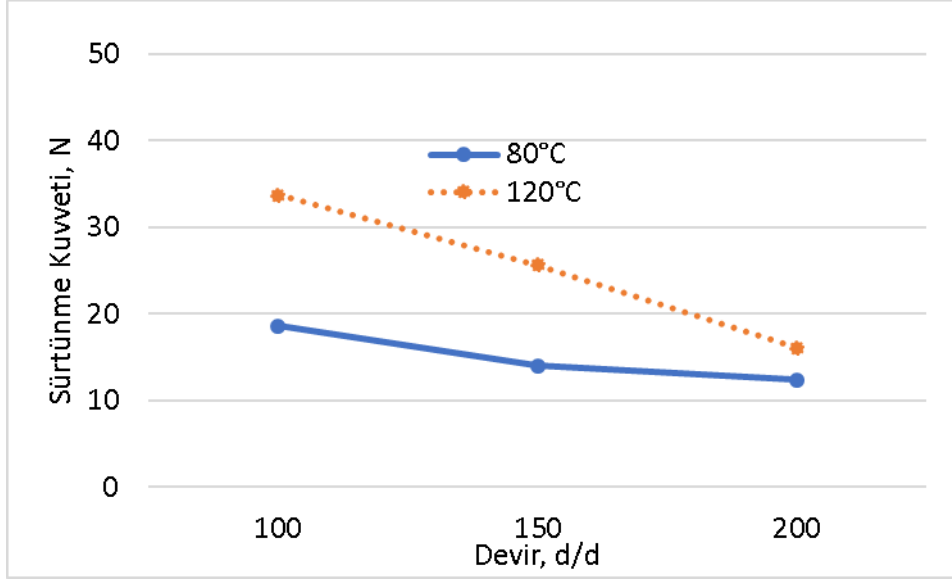
Şekil 3. 37 %10 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.37'de %10 MDO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın 120°C'de belirginken 80°C için yapılan ölçümler için daha küçük olduğu görülmektedir. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %8 ve %54 azalma olarak gözlenmiştir.



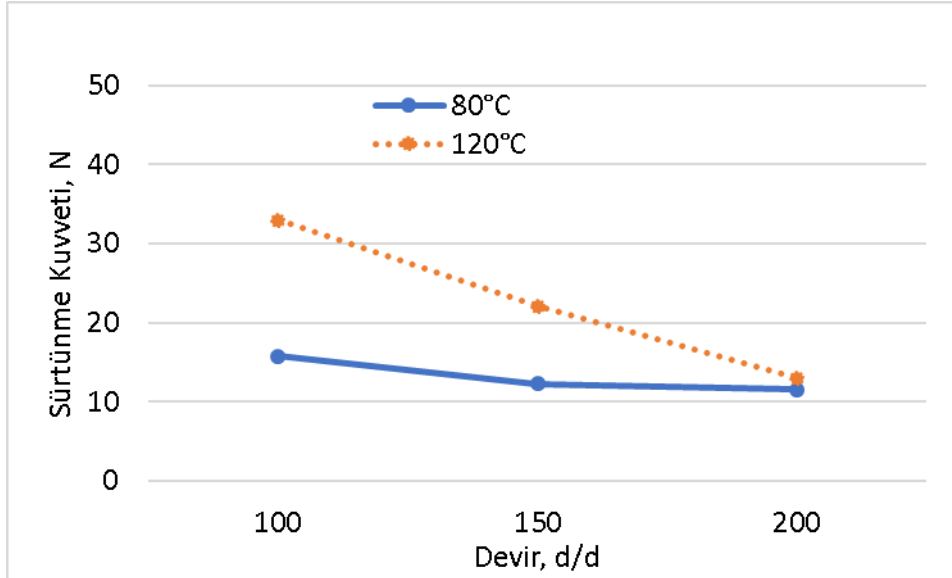
Şekil 3. 38 %10 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.38'de %10 MDO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %61 ve %55 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 39 %20 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

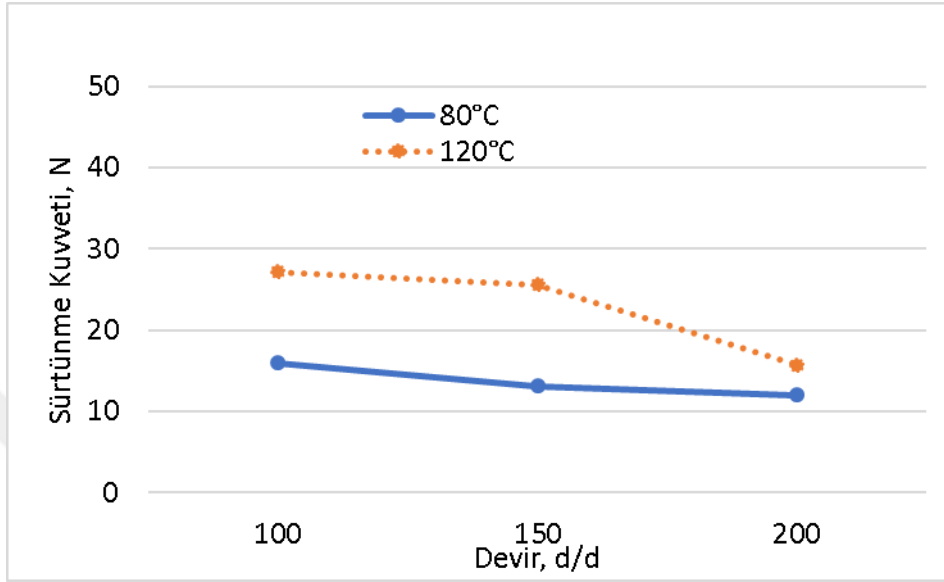
Şekil 3.39'da %20 MDO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %33 ve %52 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 40 %20 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

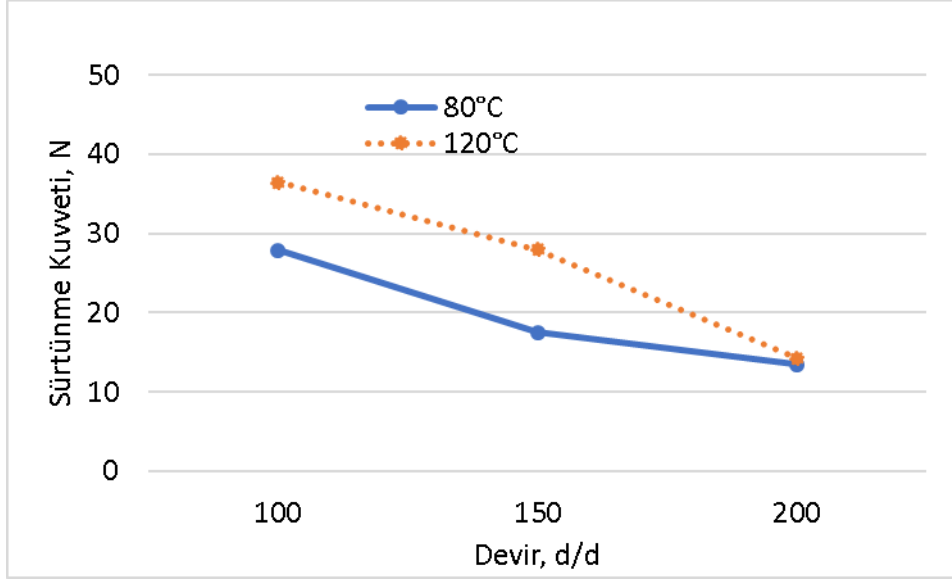
Şekil 3.40'ta %20 MDO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme

kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %27 ve %60 azalma olarak gözlenmiştir.



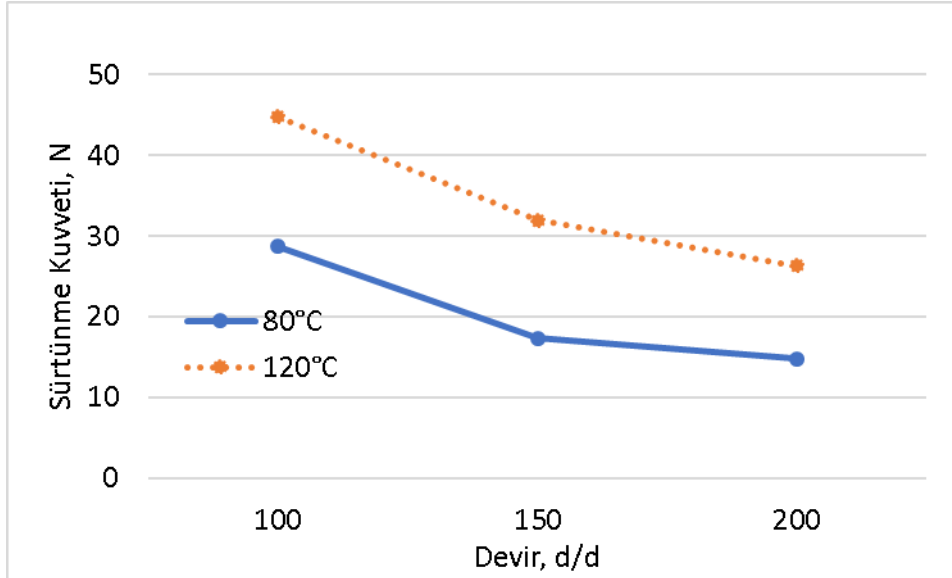
Şekil 3. 41 %20 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.41'de %20 MDO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %25 ve %42 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 42 %30 MDO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

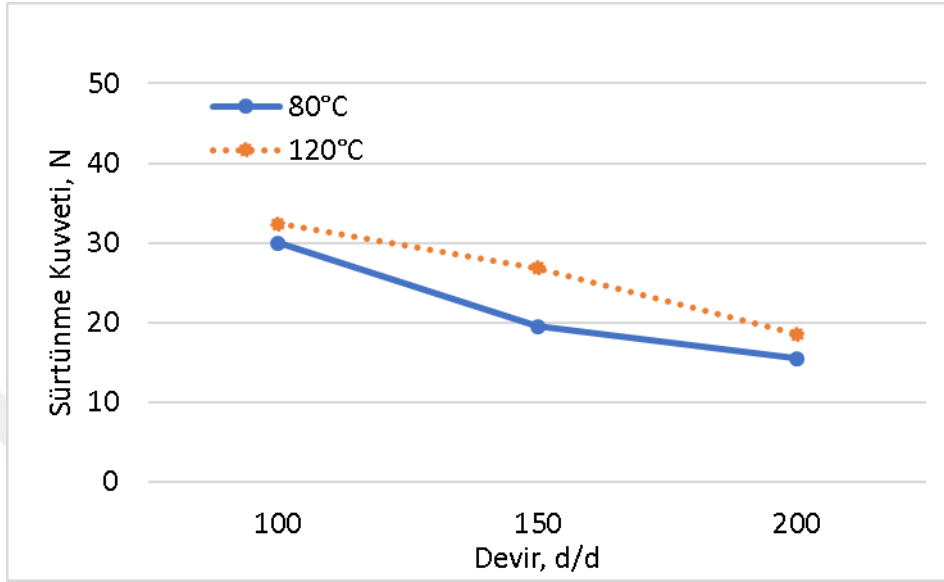
Şekil 3.42’de %30 MDO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C’de 100 d/d için maksimumken, 80 °C’de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C’deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %49 ve %61 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 43 %30 MDO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.43’te %30 MDO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme

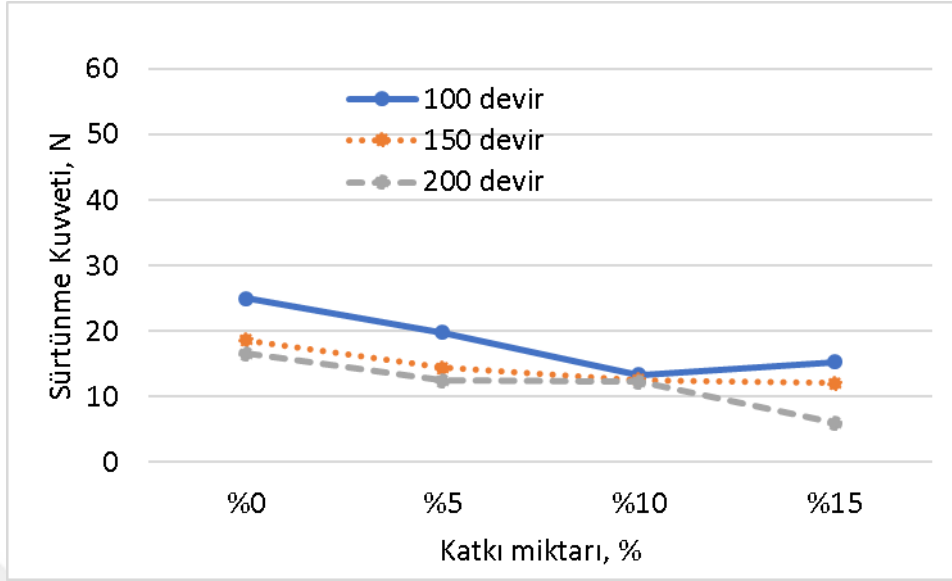
kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %48 ve %41 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 44 %30 MDO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

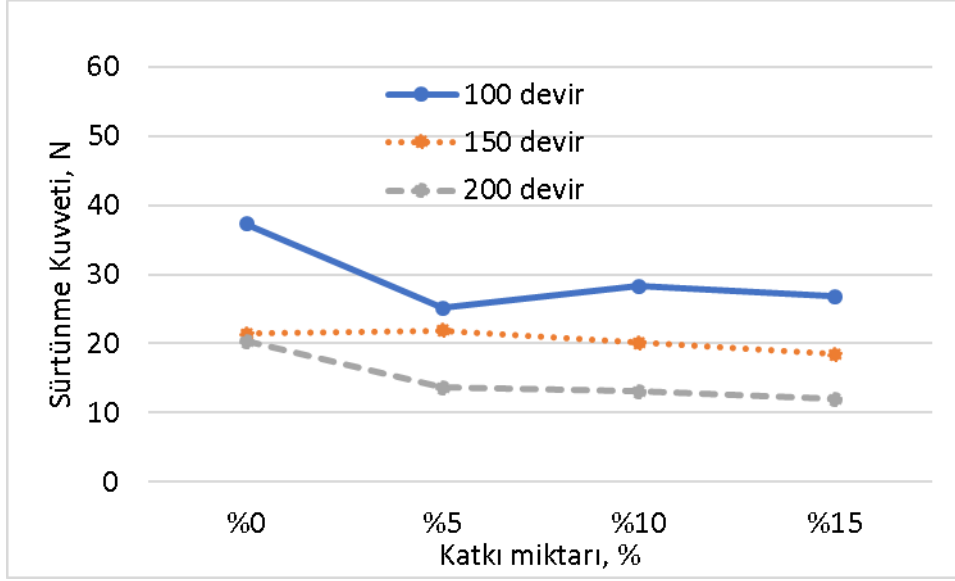
Şekil 3.44'te %30 MDO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %48 ve %43 azalma olarak gözlenmiştir.

3.5.3 Katkı Maddesi Miktarının Etkisi



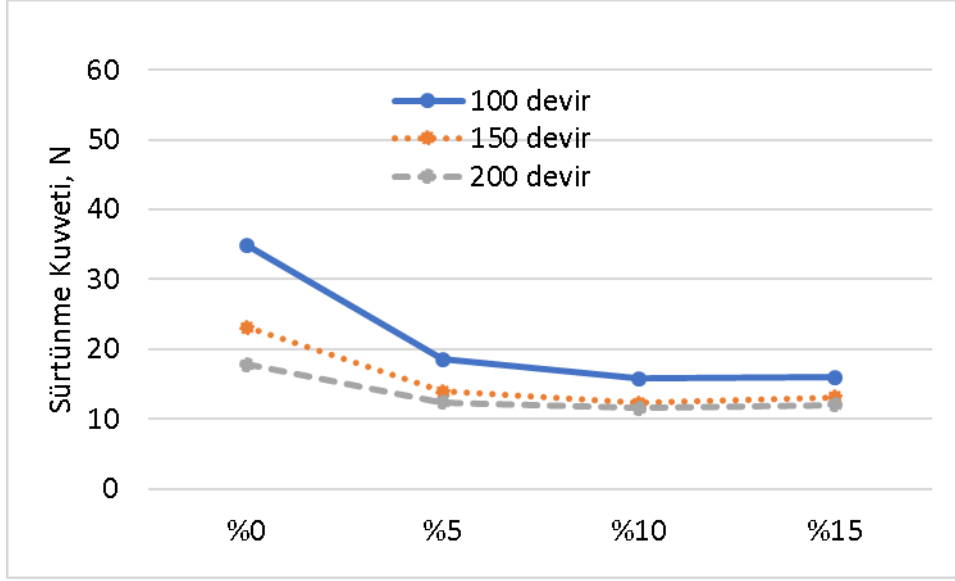
Şekil 3. 45 80 °C, %10 MDO için Katkı miktarı

Deneylerin sonucunda MDO kirleticili yağlama yağının içerisindeki katkı miktarı arttıkça sürtünme kuvvetinin genellikle azaldığı görülmektedir. Şekil 3.45'te görülen; 80°C'de, %10 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı değeri için 200 devir koşulunda 6 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %5 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 19,86 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %39, %35, %64 azaldığı gözlemlenmiştir. MDO'nun yağlama mekanizmasında meydana getirdiği negatif etki genel anlamda azaltılmıştır. Bu azalmanın sürekli olmadığı bu konuda optimum bir noktanın belirlenebileceği görülmektedir. Grafikte %10 katkı içeren noktada birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Buradan bu noktadan sonra uygun devir koşuluna bağlı olarak farklı sürtünme davranışları gözlemlenmiştir.



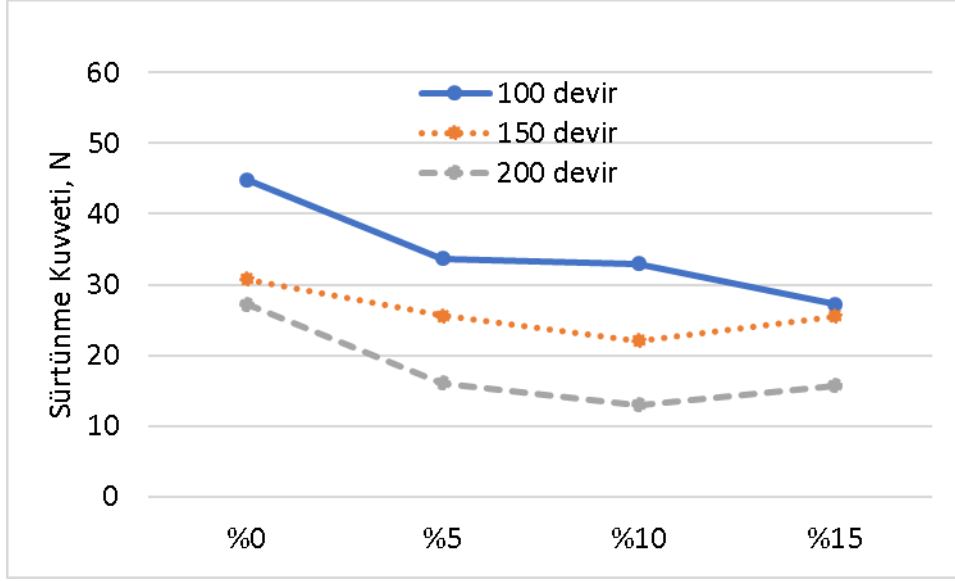
Şekil 3. 46 120 °C, %10 MDO için Katkı miktarı

Deneylerin sonucunda MDO kirleticili yağlama yağının içerisindeki katkı miktarı arttıkça sürtünme kuvvetinin genellikle azaldığı görülmektedir. Şekil 3.46'da görülen; 120°C'de, %10 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı değeri için 200 devir koşulunda 11,97 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 28,29 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %28, %14, %41 azaldığı gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetlerindeki azalma davranışı her bir devir için farklı biçimde gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle motorun normal çalışma şartlarına uygun devirler belirlendikten sonra MDO kirlenmesine bağlı farklı katkı miktarları belirlenebilir.



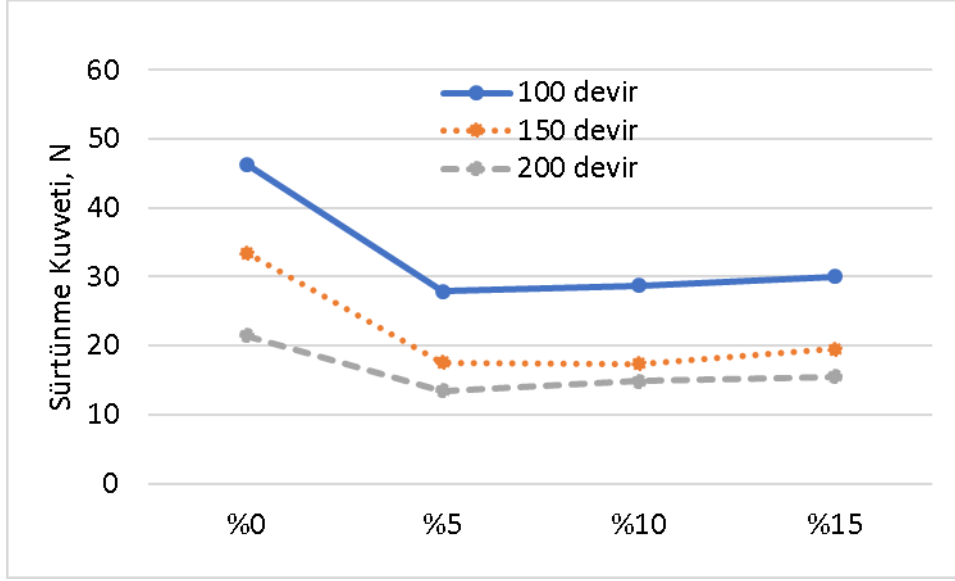
Şekil 3. 47 80 °C, %20 MDO için Katkı miktarı

Şekil 3.47'de görülen; 80°C'de, %20 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %10 katkı değeri için 200 devir koşulunda 11,55 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %5 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 18,56 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %54, %43, %33 azaldığı gözlemlenmiştir. %20 MDO ile kirlenmiş 80°C'de çalışan makinede bu şartlar altında düzgün bir azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Diğer deney türlerinde olduğu gibi sürtünme davranışında farklı bir eğilim gözlemlenmemiş, sürekli azalma gözlemlenmiştir.



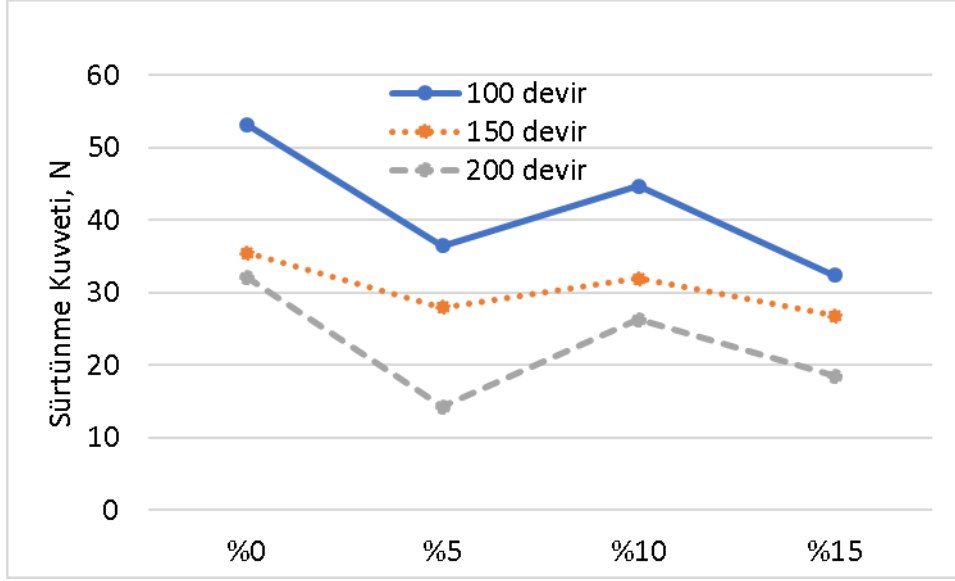
Şekil 3. 48 120 °C, %20 MDO için Katkı miktarı

Şekil 3.48’de görülen; 120°C’de, %20 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %10 katkı değeri için 200 devir koşulunda 13,05 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 33,73 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %39, %17, %42 azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre sürtünme kuvvetindeki değişimin sabit olmadığı görülmüş ve optimum noktanın deney koşulları dahilinde belirlenebilir olacağı görülmüştür.



Şekil 3. 49 80 °C, %30 MDO için Katkı miktarı

Şekil 3.49'da görülen; 80°C'de, %30 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %5 katkı değeri için 200 devir koşulunda 13,42 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %5 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 30,01 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %35, %42, %28 azaldığı gözlemlenmiştir. %30 kirlenme durumu gerçek koşullarda makinede kritik bir arızanın meydana geldiğini göstermektedir. Deney sonuçlarından da katkı maddesi eklendikten sonra katkı içermeyen ölçümlere göre ciddi bir azalma görülürken, katkı miktarı arttıkça önemli bir değişim olmadığı görülmüştür.



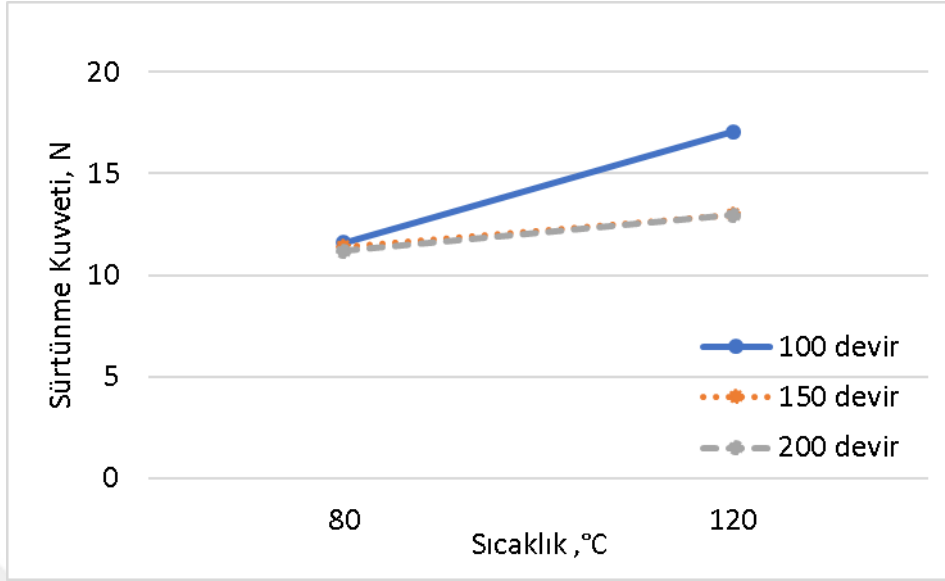
Şekil 3. 50 120 °C, %30 MDO için Katkı miktarı

Şekil 3.50'de görülen; 120°C'de, %30 MDO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %5 katkı değeri için 200 devir koşulunda 14,23 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 44,74 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %39, %25 ve %42 azaldığı gözlemlenmiştir.

3.6 Yağlama Yağı-HFO-Katkı Maddesi İçeren Ölçümler

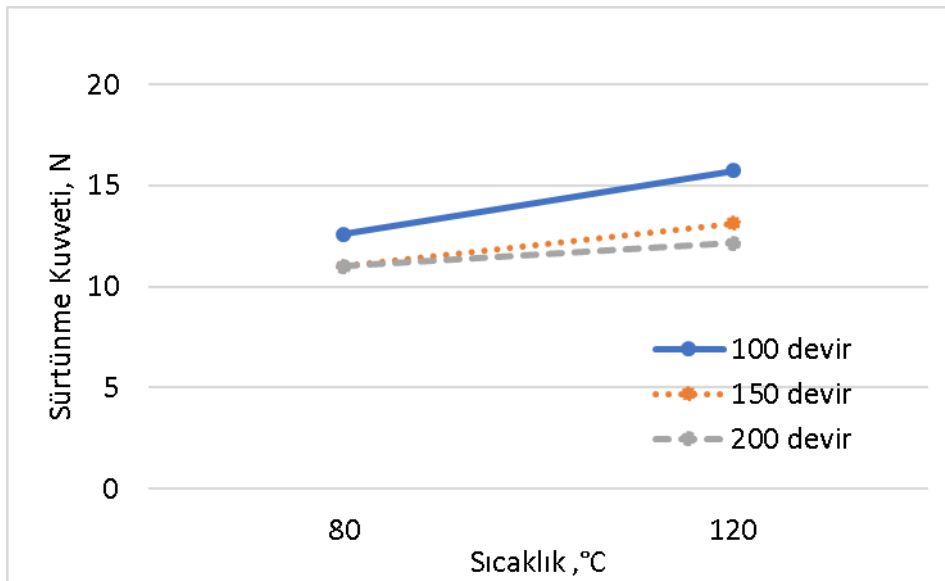
Bu bölümde, yağlama yağına %10, %20 ve %30 oranlarında HFO karıştırılması ile elde edilen karışımlara %5, %10 ve %15 oranlarında tall yağı asidi katkısı katılmasıyla elde edilen yağlayıcılarla yapılan deneyler ele alınacaktır.

3.6.1 Sıcaklığın Etkisi



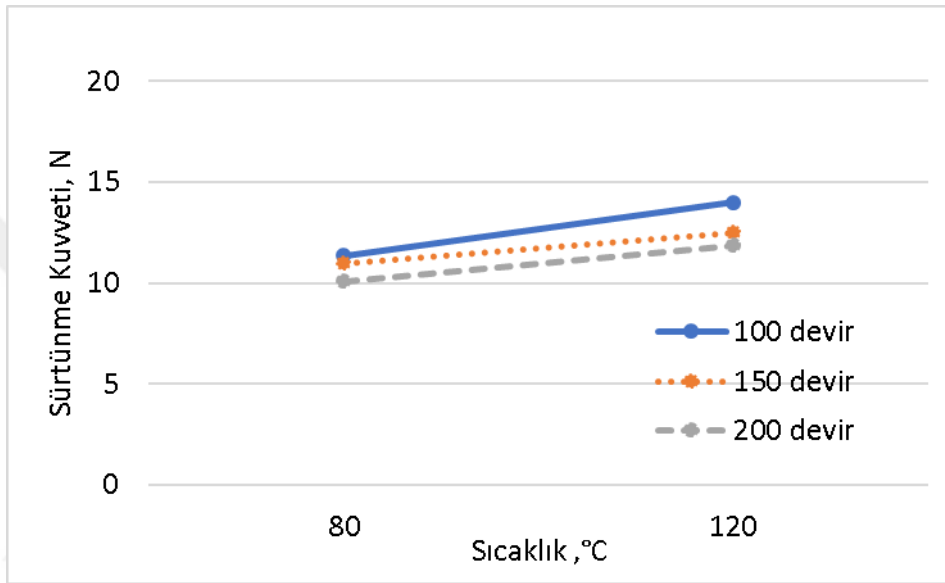
Şekil 3. 51 %10 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 HFO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.51’de gösterilmiştir. %10 HFO kirletici içeren yağlama yağına, %5 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d’da 80 °C’de 11,2 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 17,05 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %47, %14, %16’dır.



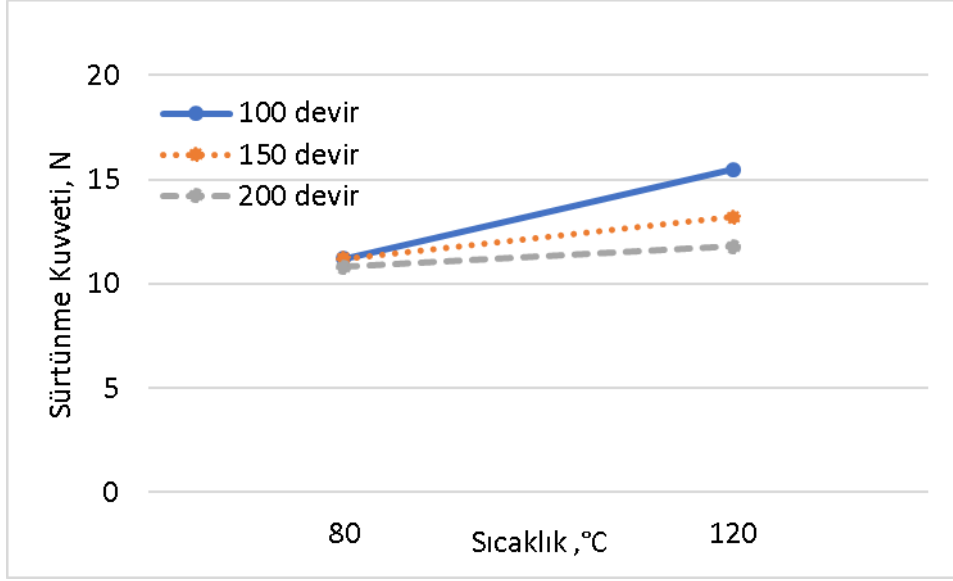
Şekil 3. 52 %10 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 HFO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.52'de gösterilmiştir. %10 HFO kirletici içeren yağlama yağına, %10 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 11 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 15,75 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %25, %19, %11'dir.



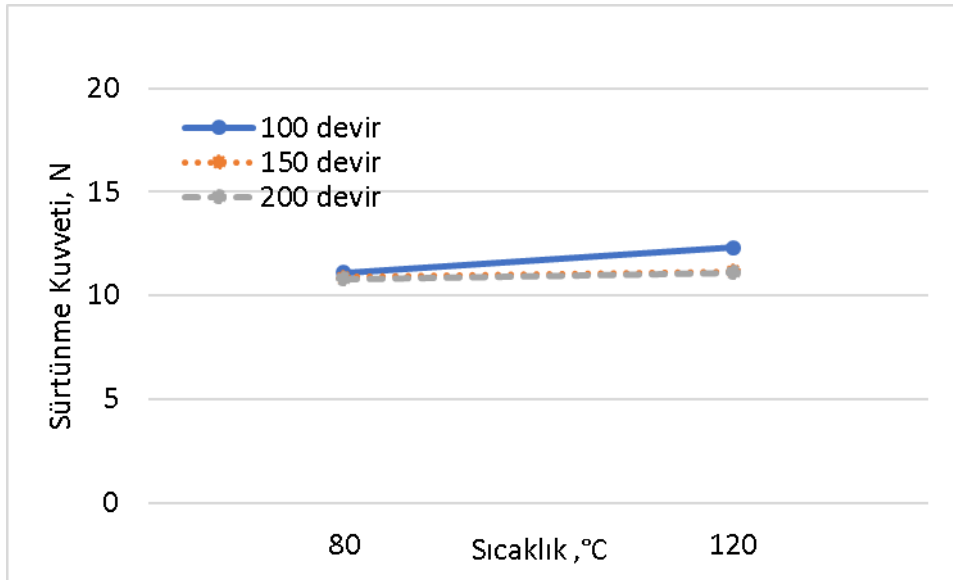
Şekil 3. 53 %10 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

%10 HFO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.53'te gösterilmiştir. %10 HFO kirletici içeren yağlama yağına, %15 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 10,1 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 14 N olarak ölçülmüştür Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %23, %14, %18'dir.



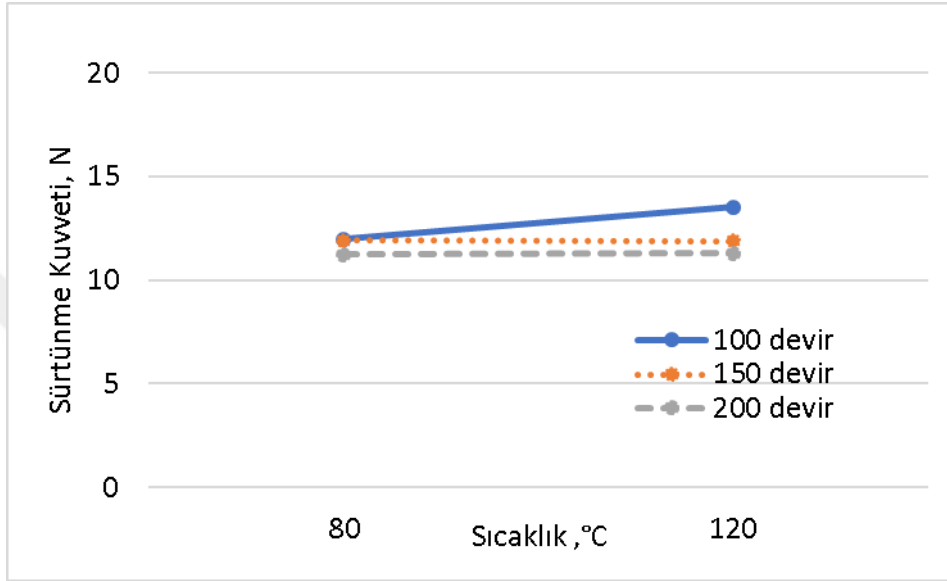
Şekil 3. 54 %20 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 HFO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.54'te gösterilmiştir. %20 HFO kirletici içeren yağlama yağına, %5 katkı maddesi eklenmesi durumunda yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 10,8 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 15,5 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %38, %18, %9'dur.



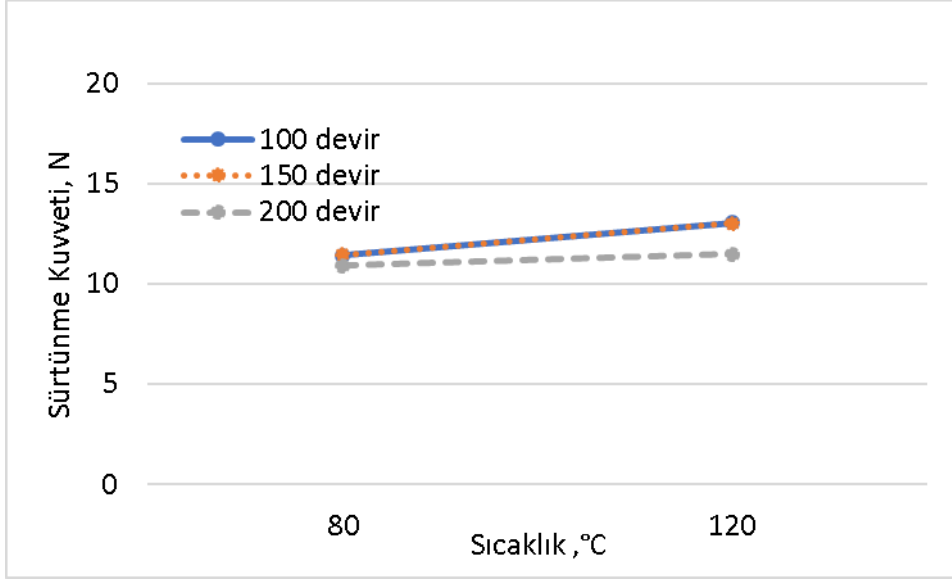
Şekil 3. 55 %20 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 HFO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.55'te gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 10,78 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 12,31 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %11, %3, %3'tür.



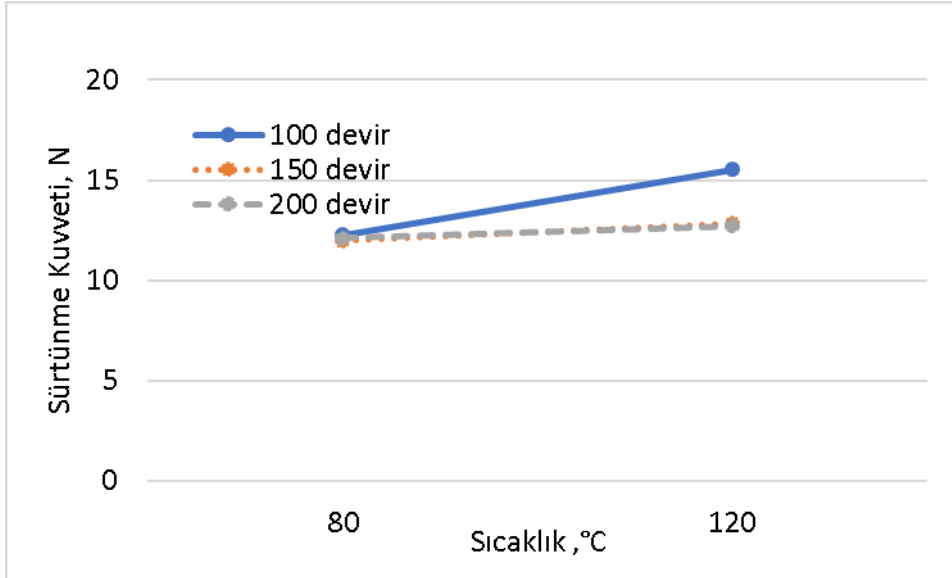
Şekil 3. 56 %20 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

%20 HFO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.56'da gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 11,23 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 13,5 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d için %13 iken 150 d/d ve 200 d/d için herhangi bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 3. 57 %30 HFO, %5 Katkı için sıcaklığın etkisi

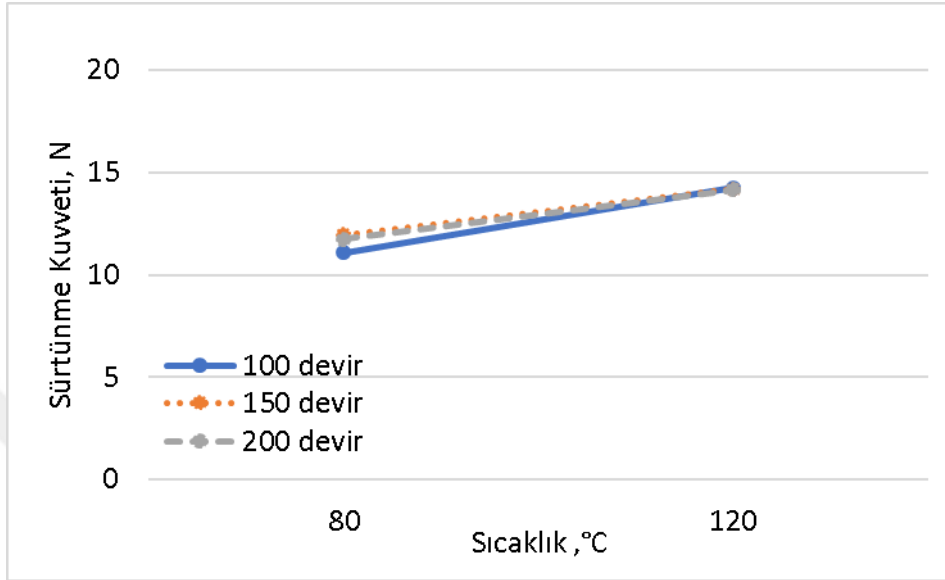
%30 HFO ile kirlenmiş %5 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.57'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 200 d/d'da 80 °C'de 10,91 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 13,05 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %14, %14, %5'tir.



Şekil 3. 58 %30 HFO, %10 Katkı için sıcaklığın etkisi

%30 HFO ile kirlenmiş %10 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.58'de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti

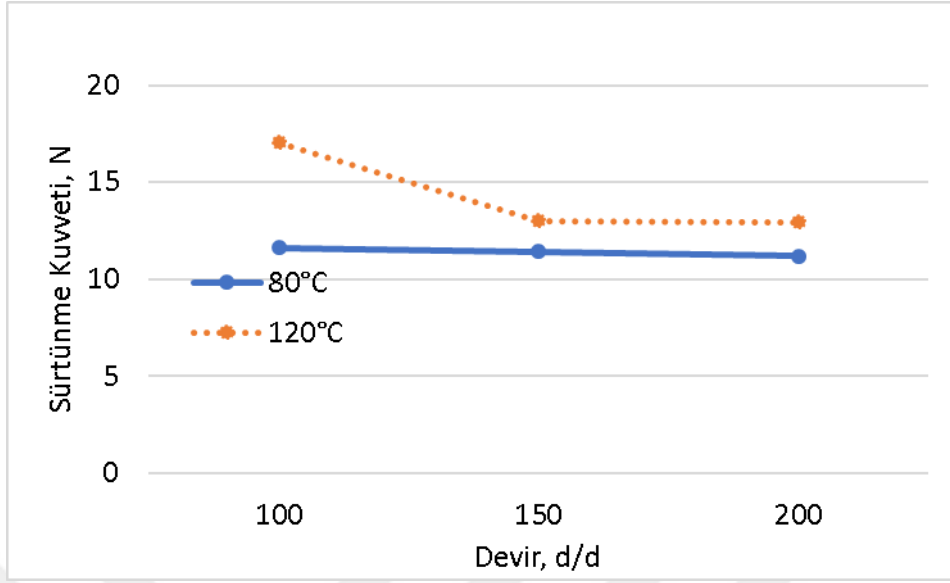
150 d/d'da 80 °C'de 11,97 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 15,52 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %27, %7, %5'tir.



Şekil 3. 59 %30 HFO, %15 Katkı için sıcaklığın etkisi

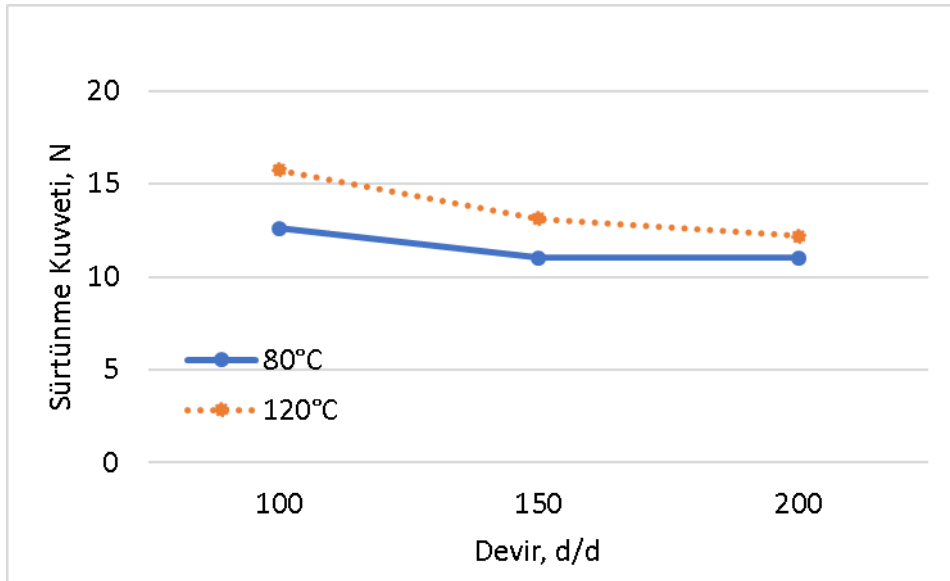
%30 HFO ile kirlenmiş %15 katkı maddesi içeren yağlayıcı durumu için yapılmış olan ölçümler Şekil 3.59'da gösterilmiştir. Yapılan deneylerde, en düşük sürtünme kuvveti 100 d/d'da 80 °C'de 11,1 N olarak gözlemlenmiştir. Sürtünme kuvvetinin en yüksek olduğu değer 100 d/d 120 °C koşullarında 14,26 N olarak ölçülmüştür. Sıcaklığın artışı ile meydana gelen sürtünme kuvvetleri değişimi 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %29, %19, %21'dir.

3.6.2 Devir Sayısının Etkisi



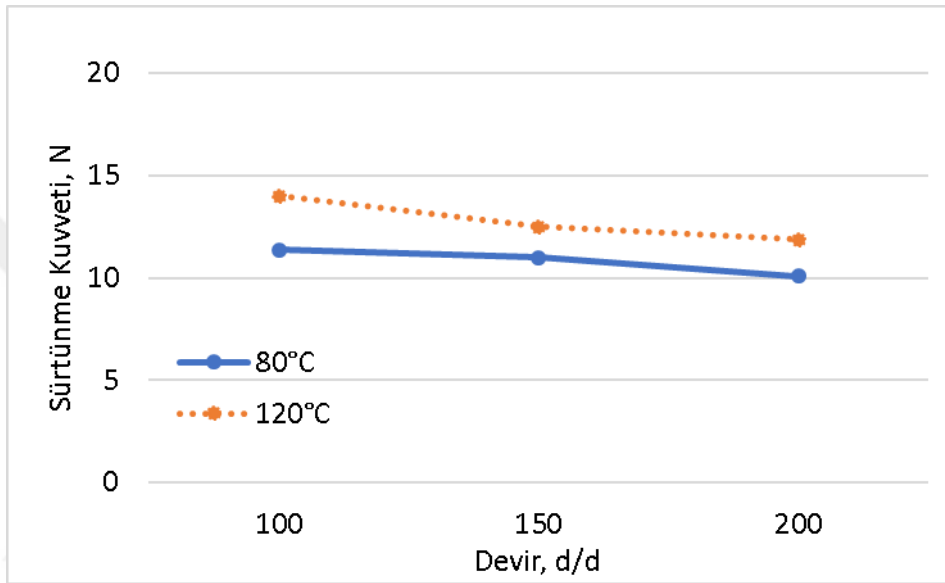
Şekil 3. 60 %10 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.60'ta %10 HFO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %4 ve %32 azalma olarak gözlenmiştir.



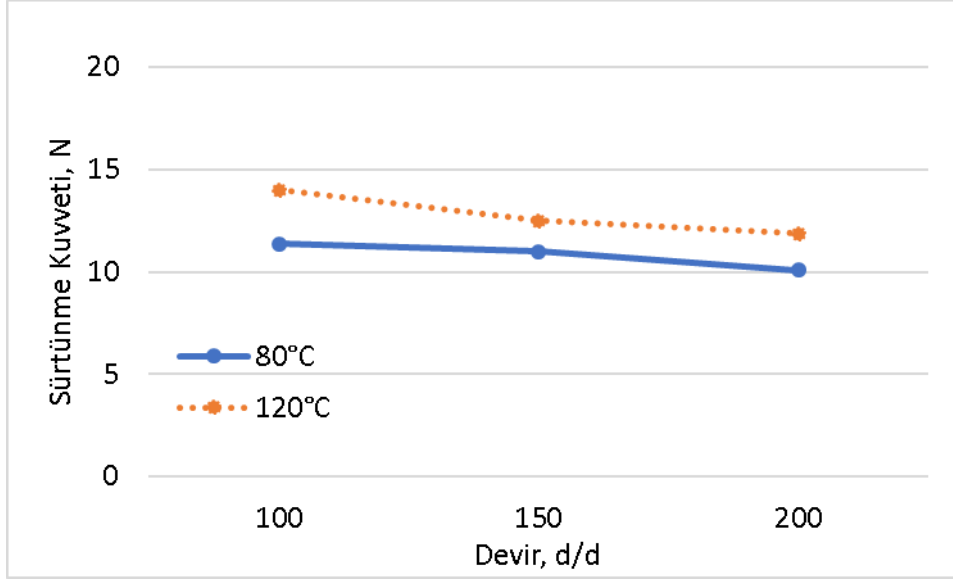
Şekil 3. 61 %10 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.61'de %10 HFO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın 120°C'de belirginken 80°C için yapılan ölçümler için daha küçük olduğu görülmektedir. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %14 ve %29 azalma olarak gözlenmiştir.



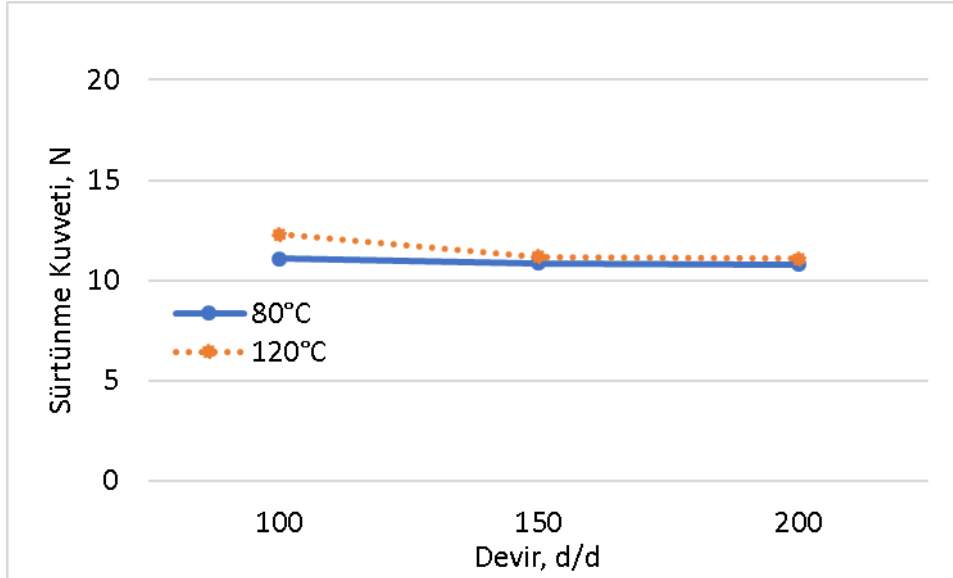
Şekil 3. 62 %10 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.62'de %10 HFO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %13 ve %18 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 63 %20 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

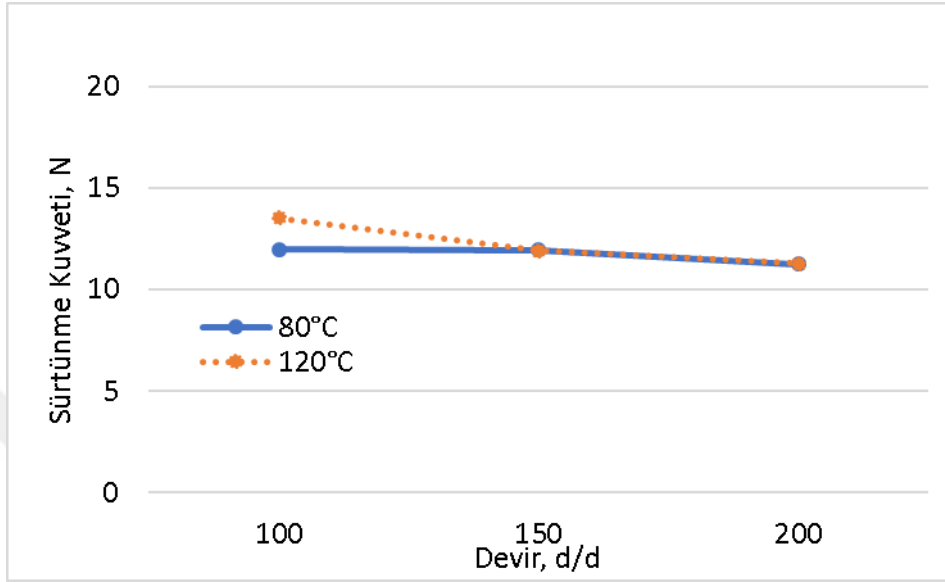
Şekil 3.63'te %20 HFO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %4 ve %31 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 64 %20 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

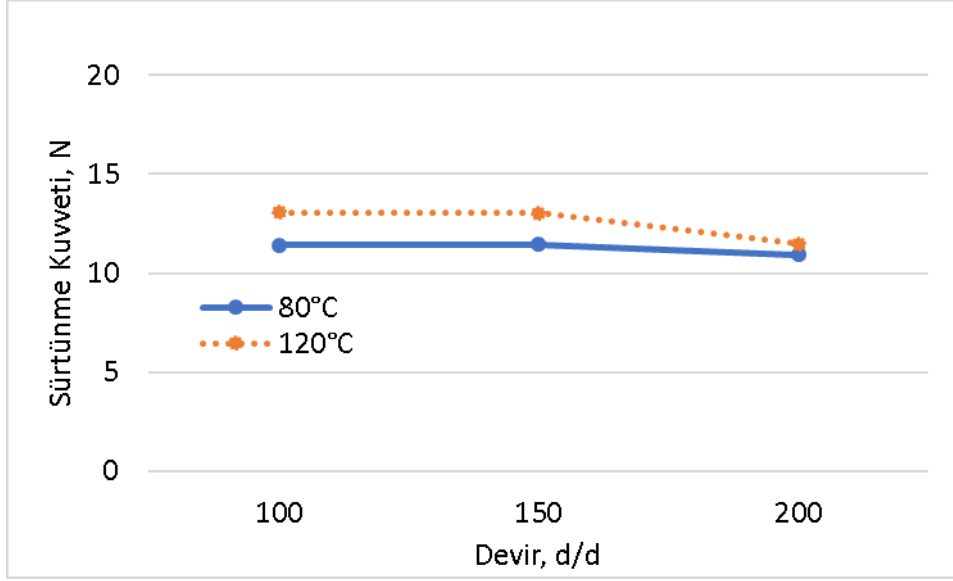
Şekil 3.64'te %20 HFO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme

kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %3 ve %11 azalma olarak gözlenmiştir.



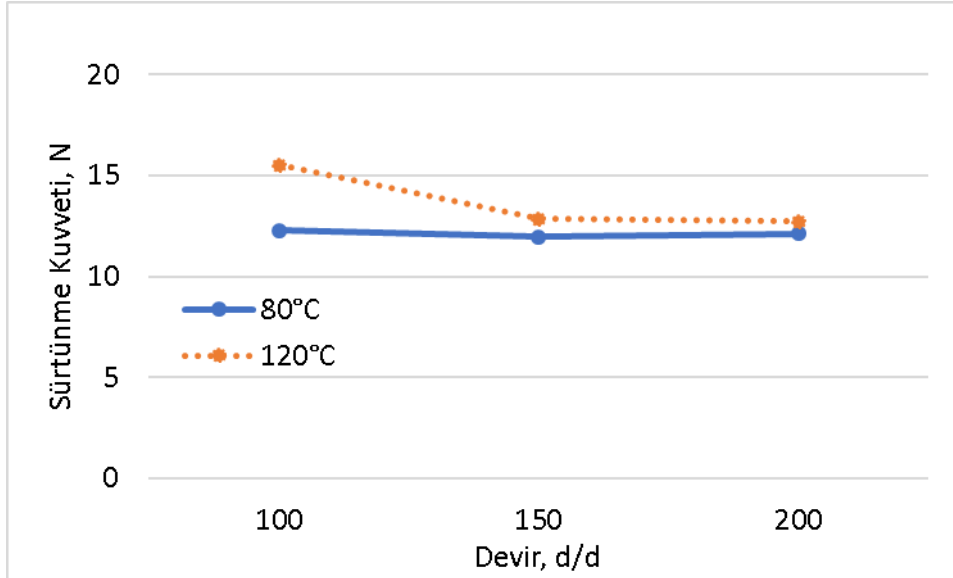
Şekil 3. 65 %20 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.65'te %20 HFO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %7 ve %20 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 66 %30 HFO, %5 Katkı için devir sayısının etkisi

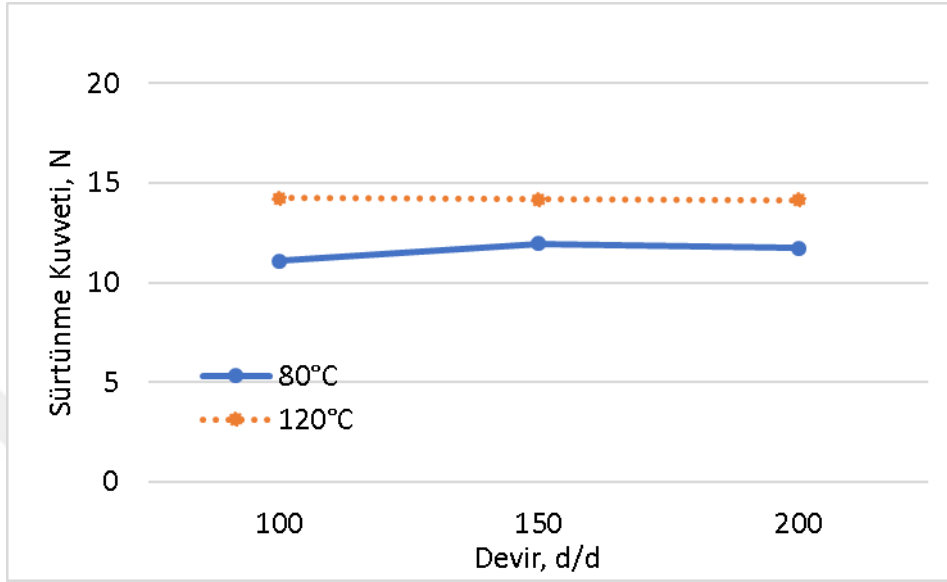
Şekil 3.66'da %30 HFO kirletici durumuna, %5 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %5 ve %14 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 67 %30 HFO, %10 Katkı için devir sayısının etkisi

Şekil 3.67'de %30 HFO kirletici durumuna, %10 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme

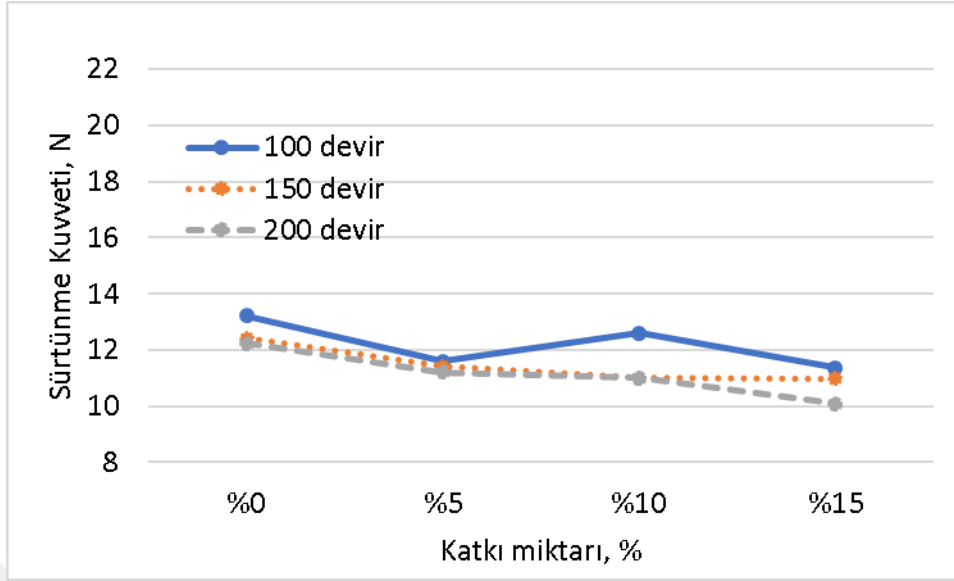
kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C'de 100 d/d için maksimumken, 80 °C'de 200 d/d minimum değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde; sırasıyla %1 ve %22 azalma olarak gözlenmiştir.



Şekil 3. 68 %30 HFO, %15 Katkı için devir sayısının etkisi

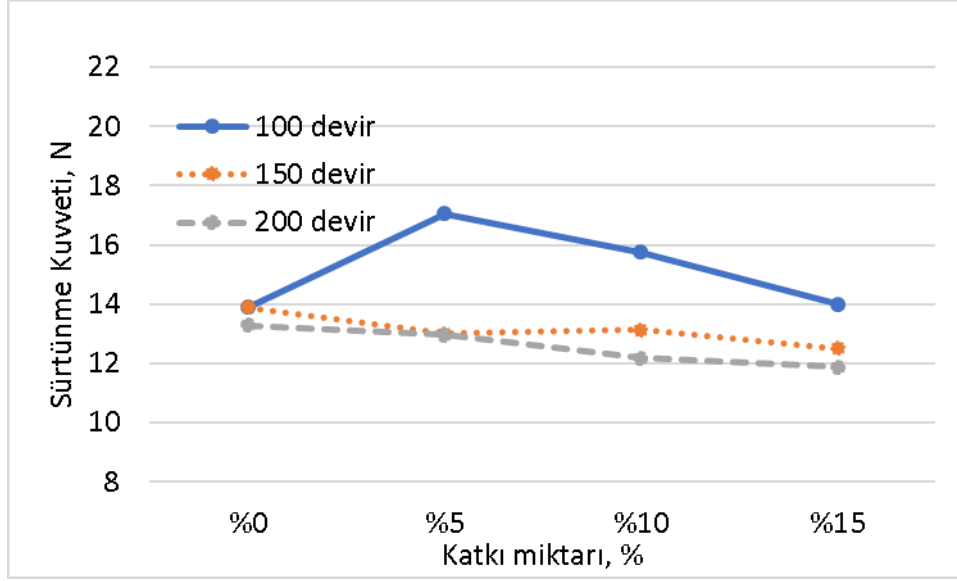
Şekil 3.68'de %30 HFO kirletici durumuna, %15 katkı ilavesindeki devir sayısına bağlı sürtünme kuvvetinin değişimi verilmiştir. Yine devir sayısının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetleri 120 °C ve 80 °C'de yaklaşık benzer değerlerde ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde 80 °C ve 120°C'deki sürtünme kuvvetlerinde değişim gözlenmemiştir.

3.6.3 Katkı Maddesi Miktarının Etkisi



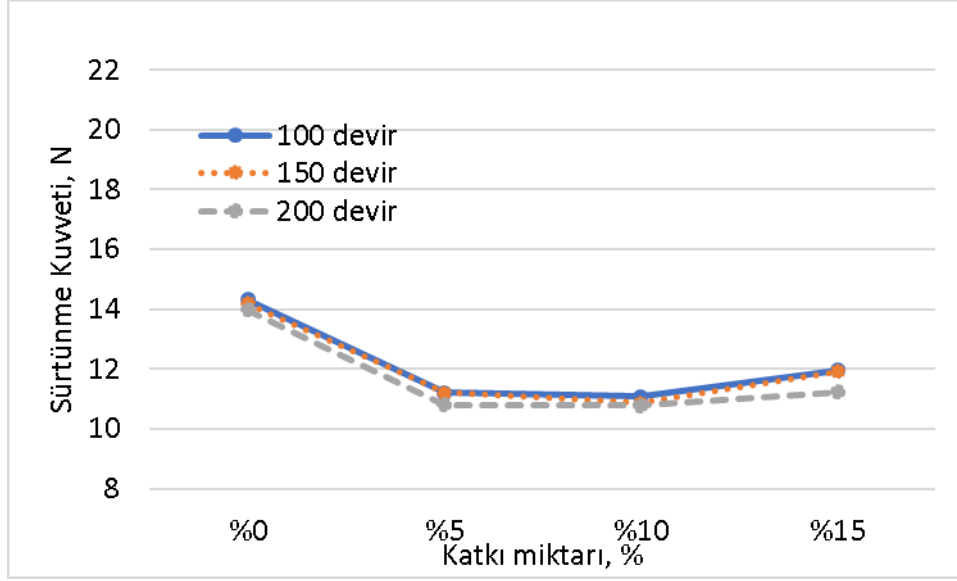
Şekil 3. 69 80 °C, %10 HFO için Katkı miktarı

Deneylerin sonucunda HFO kirleticili yağlama yağının içerisindeki katkı miktarı arttıkça sürtünme kuvvetinin genellikle azaldığı görülmektedir. Şekil 3.69'da görülen; 80°C'de, %10 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı değeri için 200 devir koşulunda 10,1 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 12,6 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %16, %13, %21 azaldığı gözlemlenmiştir.



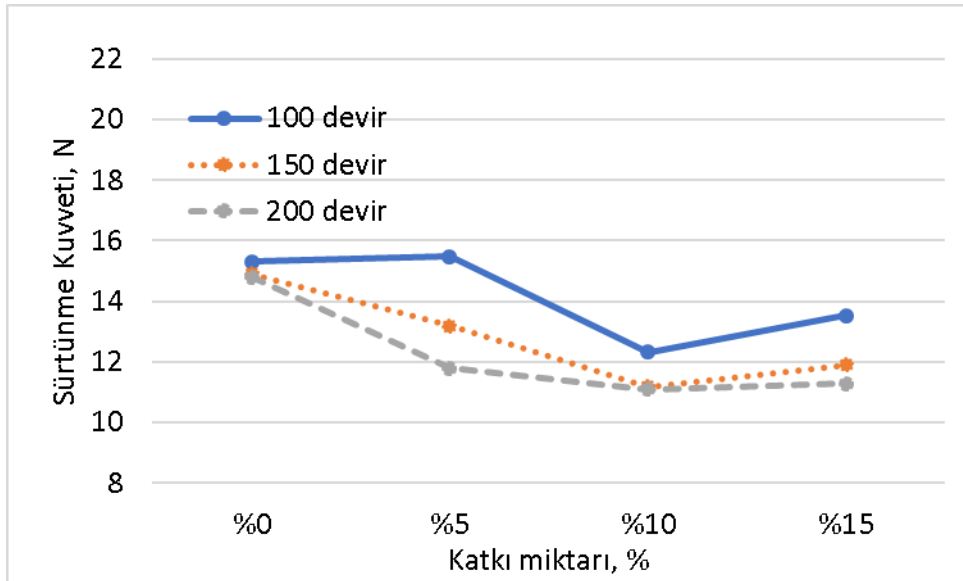
Şekil 3. 70 120 °C, %10 HFO için Katkı miktarı

Deneylerin sonucunda HFO kirleticili yağlama yağının içerisindeki katkı miktarı arttıkça sürtünme kuvvetinin genellikle azaldığı görülmektedir. Şekil 3.70'te görülen; 120°C'de, %10 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %15 katkı değeri için 200 devir koşulunda 11,87 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %5 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 17,05 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d için herhangi bir değişim gözlenmezken, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %11, %12 azaldığı gözlemlenmiştir.



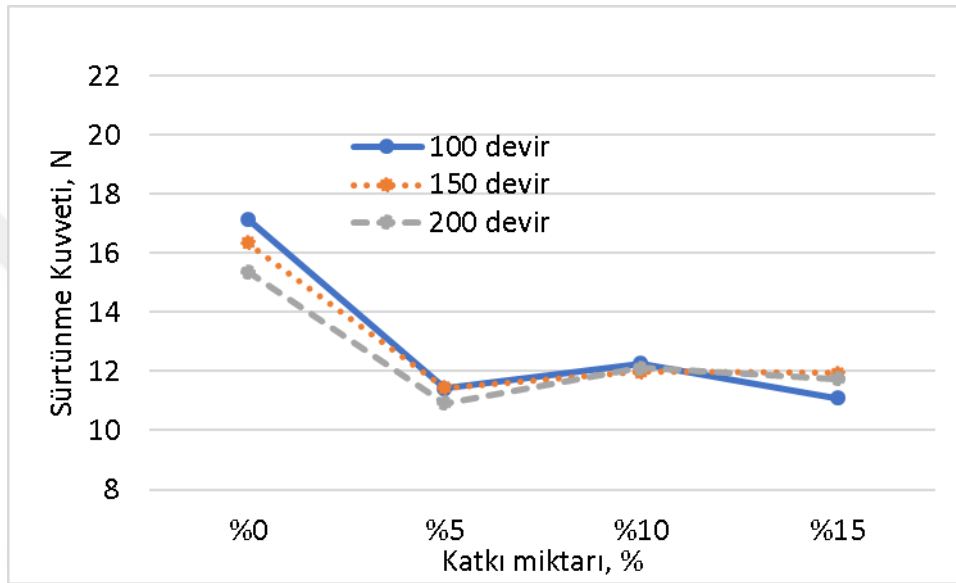
Şekil 3. 71 80 °C, %20 HFO için Katkı miktarı

Şekil 3.71’de görülen; 80°C’de, %20 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %5 katkı değeri için 200 devir koşulunda 10,79 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %15 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 11,97 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %20, %19, %24 azaldığı gözlemlenmiştir.



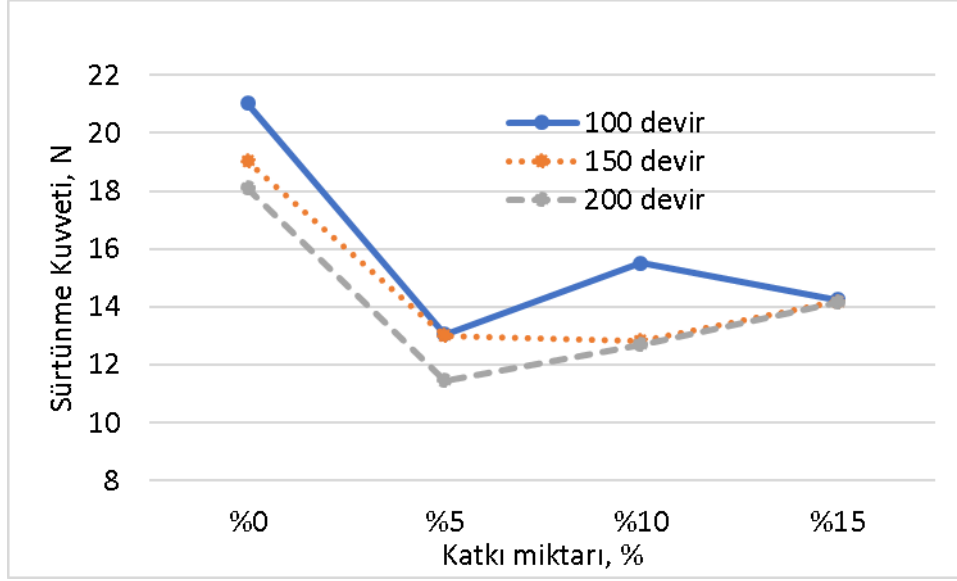
Şekil 3. 72 120 °C, %20 HFO için Katkı miktarı

Şekil 3.72'de görülen; 120°C'de, %20 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %10 katkı değeri için 200 devir koşulunda 11,1 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %5 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 15,48 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %13, %21, %31 azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.73 80 °C, %30 HFO için Katkı miktarı

Şekil 3.73'te görülen; 80°C'de, %30 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %5 katkı değeri için 200 devir koşulunda 13,42 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 10,91 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %55, %37, %31 azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 74 120 °C, %30 HFO için Katkı miktarı

Şekil 3.74'te görülen; 120°C'de, %30 HFO ile kirlenmiş yağlayıcının, içerisinde bulunan katkı miktarına bağlı sürtünme grafiğidir. Yakıt içerisindeki katkı miktarının artmasıyla sürtünme kuvvetinin azalma davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Standart yağlama yağı deneyleri dışında, en düşük sürtünme kuvveti %5 katkı değeri için 200 devir koşulunda 11,47 N olarak gözlemlenirken, en yüksek sürtünme kuvveti %10 katkı içeren karışım için 100 devir koşulunda 15,52 N olarak kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti 100 d/d, 150 d/d ve 200 d/d için sırasıyla; %47, %34 ve %28 azaldığı gözlemlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, piston segmanı-silindir gömleği arasındaki sürtünme kuvvetini farklı devir, sıcaklık, yağlayıcı, kirletici (MDO ve HFO) ve katkı maddesi katılması durumları deneysel olarak incelenmiştir. Kirletici miktarlarının etkilerini daha iyi gözlemleyebilmek adına ölçümler %10, %20 ve %30 kirlenme durumları için gerçekleştirilmiştir. %30 kirlenme durumu bir makine için doğal çalışma şartlarına aykırı bir durum olduğundan bu durumda makinede büyük bir arıza meydana geldiği söylenebilir. Bu miktardaki kirlenme durumlarında sürtünme kuvvetini katkı maddesiyle azaltmak yerine oluşmuş arızanın giderilmesi daha doğru olacaktır.

Her yağlayıcı durumu için sıcaklığın sürtünme üzerindeki etkisi benzer özellikler göstermiştir. Yapılan ölçümlerde sıcaklığın arttıkça sürtünme kuvvetinin de arttığı görülmüştür. Sıcaklığın tek başına, sürtünme kuvveti üzerinde etkili bir parametre olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Yapılan tüm ölçümler için sıcaklığın artışı yağlayıcının yoğunluğu azaltarak, yağ filmi dayanımına negatif bir etki yaratmıştır. Kolayca kırılan yağ filmi sürtünme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur.

Literatüre de uygun olarak motor devrinin ölçümlerde genellikle sürtünme kuvveti üzerinde pozitif etkisi olduğu görülmektedir. Üç farklı devir sayısı için yapılan sürtünme kuvveti ölçümleri göstermiştir ki motor devri arttıkça sürtünme kuvveti azalmaktadır. Yüksek devirlerde oluşan yağ filmi geometrisi, yağ filminin bozulmasına engel olmuş ve sabit sıcaklarda devir sayısının artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca genel olarak sıcaklığın artmasıyla gözlenen sürtünme

kuvvetindeki artış azalmıştır. Yani 200 d/d'da farklı iki sıcaklıkta yapılan ölçümler arasındaki fark 100 d/d için yapılan ölçümler arasındaki farktan düşüktür. Bu durum için yüksek devirlerde makinenin piston segmanı-silindir gömleği sürtünmesi için daha stabil koşullara ulaştığı söylenebilir.

Yağlama yağı-kirletici (MDO) ile yapılan deneylerde, yağlayıcının içerisindeki MDO kirleticisinin oranı arttıkça sürtünme kuvveti artmıştır. Sıcaklık ve devir gibi parametreler de katılınca MDO'nun piston-silindir yağlama mekanizmasına zarar verdiği ve böylece yüksek sürtünme kuvvetlerinin ölçüldüğü sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılan tüm deneyler içerisinde en yüksek sürtünme kuvvetleri bu yağlayıcı türü ile yapılan deneylerde gözlemlenmiştir.

Yağlama yağı-kirletici (HFO) yağlayıcı karışımı ile yapılan deneylerde yalnızca yağlama yağı ile yapılan ölçümlere göre daha düşük sürtünme kuvvetleri kaydedilmiştir. Bunun sebebi yüksek viskoziteye sahip HFO yakıtının karışımın yağlama özelliklerini artırması olabilir. Piston-silindir yağlama sistemine katkısı HFO ile yapılan deneylerde sürtünme kuvvetini düşürmüştür. HFO-yağlama yağı karışımında HFO miktarı arttıkça sürtünme kuvvetlerinin de bir miktar arttığı görülmüştür. Buradan HFO miktarının sürtünme kuvvetini azaltmaya yönelik katkısının giderek azaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. HFO bellik bir oranda sürtünme mekanizmasına katkı sağlamakta, bu oranı geçtikçe sürtünme kuvvetini arttırıcı bir etki gösterdiği belirlenmiştir. HFO ile kirlenmiş yağlayıcının standart ölçümlere göre genellikle daha düşük sürtünme kuvveti meydana getirmesi HFO yüksek yoğunluğundan kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca HFO sahip olduğu kükürt miktarının da etkisiyle MDO'ya göre daha iyi bir yağlama performansı göstermiştir. Bu konuda diğer bir önemli nokta ise yapılan ölçümlerde gerçek yanma koşulları oluşturulmadığından HFO'nun yanması ile birlikte açığa çıkacak olan atıkların sürtünme kuvvetine olan etkisi gözlenmemiştir. Yani gerçek çalışma koşullarında yanmanın varlığıyla farklı sonuçlar elde edilebilir.

Yağlama yağı-tall yağı katkısı ile yapılan deneylerde sürtünme kuvvetinin katkı içermeyen duruma göre bir miktar düşüş gösterdiği görülmüştür. Katkı miktarının artmasıyla birlikte kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Sıcaklığın ve devir sayılarının etkisi bu karışım türünde de benzer etkiler göstermiştir.

Yağlama yağı-kirletici (MDO)- tall yağı katkısı ile yapılan deneylerde katkı maddesinin sürtüme karaktersitiğini olumlu etkilediği görülmüştür. Yağlama yağı-kirletici (MDO) sonuçlarıyla beraber ele alındığında hazırlanmış olan üçlü karışımın içeriğindeki tall yağ asidi katkısının miktarının artması sürtünme kuvveti olumlu etkilemiştir. Tall yağı katkısı MDO'nun kirletici olarak yağlama performansını düşürücü etkisini tersine çevirdiği gözlenmiştir. Katkı maddesinin genelde sürtünme kuvvetini azalttığı ve yağlama performansını olumlu etkilediği görülmüştür. Yapılmış olan çalışmalarda da görüldüğü gibi [49] tall yağı asidinin yağlama performansının artan katkı miktarına bağlı olarak sabit bir biçimde artmadığı, oluşan sürtünme kuvvetlerinde zaman zaman artışlar da olduğu gözlemlenmiştir. Buradan varılacak sonuç, yağlama yağının kirlenme miktarına bağlı olarak uygun miktarda (optimum) katkı maddesinin belirlenmesinin önemidir.

Yağlama yağı-kirletici (HFO)- tall yağı katkısı ile yapılan deneylerde Yağlama yağı-kirletici (HFO) sonuçlarıyla beraber ele alındığında hazırlanmış olan üçlü karışımın içeriğindeki tall yağ asidi katkısının miktarının arttıkça sürtünme kuvvetinin genel olarak azaldığı görülmüştür. Tall yağı katkısının, HFO'nun kirletici olarak yağlama performansını azaltıcı etkisini tersine çevirdiği gözlenmiştir. MDO ve katkı maddesi içeren ölçümlerde olduğu gibi HFO ile yapılan ölçümlerde de sürtünme kuvvetlerinde sabit bir yönde azalmalar görülmemiştir. Bu nedenle yağlama yağının HFO ile kirlenme miktarına göre optimum katkı miktarları belirlenmelidir. Katkı maddesi miktarının sürtünme kuvvetini azaltıcı etkisi MDO ile kirlenmiş olan yağlayıcıdakine oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun yüksek yoğunluğa sahip HFO'nin yağlama yağının yağlayıcılık özelliğini arttırmasıyla ilişkilendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Taylor, C. M., (1998). "Automobile engine tribology—design considerations for efficiency and durability", *Wear*, 221(1): 1-8.
- [2] Kouremenos, D. A., Rakopoulos, C. D., Hountalas, D. T., & Zannis, T. K., (2001). "Development of a detailed friction model to predict mechanical losses at elevated maximum combustion pressures (No. 2001-01-0333)", SAE Technical Paper.
- [3] Baker, C. E., Theodossiades, S., Rahnejat, H., & Fitzsimons, B., (2012). "Influence of in-plane dynamics of thin compression rings on friction in internal combustion engines", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 134(9), 092801.
- [4] Tomanik, E., & Ferrarese, A., (2006, January). "Low friction ring pack for gasoline engines", In ASME 2006 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, American Society of Mechanical Engineers, 449-455.
- [5] Schommers, J., Scheib, H., Hartweg, M., & Bosler, A., (2013). "Minimising friction in combustion engines", *MTZ worldwide*, 74(7-8): 28-35.
- [6] Hoshi, M., & Baba, Y., (1986). "A study of piston friction force in an internal combustion engine", *ASLE transactions*, 30(4), 444-451.
- [7] Rezeka, S. F., & Henein, N. A., (1984). "A new approach to evaluate instantaneous friction and its components in internal combustion engines (No. 840179)", SAE Technical Paper.
- [8] Wakuri, Y., Hamatake, T., Soejima, M., & Kitahara, T., (1992). "Piston ring friction in internal combustion engines", *Tribology international*, 25(5): 299-308.
- [9] Nakada, M., (1994). "Trends in engine technology and tribology", *Tribology international*, 27(1): 3-8.
- [10] Tung, S. C., & Huang, Y., (2004). "Modeling of abrasive wear in a piston ring and engine cylinder bore system©", *Tribology Transactions*, 47(1): 17-22.
- [11] Livanos, G. A., & Kyrtatos, N. P., (2007). "Friction model of a marine diesel engine piston assembly", *Tribology international*, 40(10-12): 1441-1453.

- [12] Felter, C. L., Vølund, A., Imran, T., & Klit, P., (2010). "Development of a model capable of predicting the performance of piston ring—cylinder liner-like tribological interfaces", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 224(9): 877-883.
- [13] Choi, J., Lee, S., & Park, S. (2016). "Friction losses modeling of piston rings for various combustion pressures in diesel engine", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30(12): 5739-5747.
- [14] Pettavino, C., Biboulet, N., & Lubrecht, A. A., (2016). "Load carrying capacity and friction of a parabolic-flat piston ring of finite width", *Tribology International*, 100(1): 99-103.
- [15] Hamid, Y., Usman, A., Afaq, S. K., & Park, C. W., (2018). "Numeric based low viscosity adiabatic thermo-tribological performance analysis of piston-skirt liner system lubrication at high engine speed", *Tribology International*, 126(1): 166-176.
- [16] Ma, M. T., Sherrington, I., & Smith, E. H., (1997). "Analysis of lubrication and friction for a complete piston-ring pack with an improved oil availability model: Part 1: Circumferentially uniform film", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 211(1): 1-15.
- [17] Cho, S. W., Choi, S. M., & Bae, C. S., (2000). "Frictional modes of barrel shaped piston rings under flooded lubrication", *Tribology International*, 33(8): 545-551.
- [18] DV, S. B. B., & Mistry, K. N., (2009). "Simulation and modeling of friction force and oil film thickness in piston ring—cylinder liner assembly of an IC engine", In *Proceedings of the world congress on engineering (Vol. 2)*.
- [19] Fox, I. E., (2005). "Numerical evaluation of the potential for fuel economy improvement due to boundary friction reduction within heavy-duty diesel engines", *Tribology international*, 38(3): 265-275.
- [20] Bolander, N. W., & Sadeghi, F., (2007). "Deterministic modeling of honed cylinder liner friction", *Tribology Transactions*, 50(2): 248-256.
- [21] Stanley, R., Taraza, D., Henein, N., & Bryzik, W., (1999). "A simplified friction model of the piston ring assembly (No. 1999-01-0974)", *SAE Technical Paper*.
- [22] Shahmohamadi, H., Mohammadpour, M., Rahmani, R., Rahnejat, H., Garner, C. P., & Howell-Smith, S., (2015). "On the boundary conditions in multi-phase flow through the piston ring-cylinder liner conjunction", *Tribology International*, 90(1): 164-174.
- [23] Mishra, P. C., (2015). "Modeling the root causes of engine friction loss: Transient elastohydrodynamics of a piston subsystem and cylinder liner lubricated contact", *Applied Mathematical Modelling*, 39(8): 2234-2260.
- [24] Usman, A., & Park, C. W., (2016). "Optimizing the tribological performance of textured piston ring—liner contact for reduced frictional losses in SI engine: warm operating conditions", *Tribology International*, 99(1): 224-236.

- [25] Bolander, N. W., Sadeghi, F., & Gerber, G. R., (2005, January). "Piston ring friction reduction through surface modification", In ASME 2005 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, American Society of Mechanical Engineers, 663-671.
- [26] Xu, H., Bryant, M. D., Matthews, R. D., Kiehne, T. M., Steenwyk, B. D., Bolander, N. W., & Sadeghi, F., (2004, January). "Friction predictions for piston ring-cylinder liner lubrication", In ASME 2004 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, American Society of Mechanical Engineers, 773-784.
- [27] Green, D. A., & Lewis, R., (2008). "The effects of soot-contaminated engine oil on wear and friction: a review", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 222(9), 1669-1689.
- [28] Charoo, M. S., & Wani, M. F., (2017). "Tribological properties of h-BN nanoparticles as lubricant additive on cylinder liner and piston ring", Lubrication Science, 29(4): 241-254.
- [29] Douglas, R. M., Steel, J. A., & Reuben, R. L., (2006). "A study of the tribological behaviour of piston ring/cylinder liner interaction in diesel engines using acoustic emission", Tribology International, 39(12): 1634-1642.
- [30] Woydt, M., & Ebrecht, J., (2008). Testing friction and wear of the tribosystem piston ring and cylinder liner outside of engines. Tribotest, 14(2): 113-126.
- [31] Tan, Y. C., & Ripin, Z. M., (2011). "Frictional behavior of piston rings of small utility two-stroke engine under secondary motion of piston", Tribology International, 44(5): 592-602.
- [32] Johansson, S., Nilsson, P. H., Ohlsson, R., & Rosén, B. G., (2011). "Experimental friction evaluation of cylinder liner/piston ring contact", Wear, 271(3-4): 625-633.
- [33] Kapsiz, M., Durat, M., & Ficici, F., (2011). "Friction and wear studies between cylinder liner and piston ring pair using Taguchi design method", Advances in Engineering Software, 42(8): 595-603.
- [34] Tan, Y. C., & Ripin, Z. M., (2014). "Technique to determine instantaneous piston skirt friction during piston slap", Tribology International, 74(1): 145-153.
- [35] Söderfjäll, M., Almqvist, A., & Larsson, R., (2016). "Component test for simulation of piston ring-Cylinder liner friction at realistic speeds", Tribology International, 104(1): 57-63.
- [36] Zabala, B., Igartua, A., Fernandez, X., Priestner, C., Ofner, H., Knaus, O., ... & Nevshupa, R., (2017). "Friction and wear of a piston ring/cylinder liner at the top dead centre: Experimental study and modelling", Tribology International, 106(1): 23-33.
- [37] Jia, B., Mikalsen, R., Smallbone, A., & Roskilly, A. P., (2018). "A study and comparison of frictional losses in free-piston engine and crankshaft engines", Applied Thermal Engineering, 140(1): 217-224.

- [38] Kikuchi, T., Ito, S., & Nakayama, Y., (2003). "Piston friction analysis using a direct-injection single-cylinder gasoline engine", *JSAE review*, 24(1): 53-58.
- [39] Mufti, R. A., & Priest, M., (2005). "Experimental evaluation of piston-assembly friction under motored and fired conditions in a gasoline engine", *Journal of tribology*, 127(4): 826-836.
- [40] Truhan, J. J., Qu, J., & Blau, P. J., (2005). "The effect of lubricating oil condition on the friction and wear of piston ring and cylinder liner materials in a reciprocating bench test", *Wear*, 259(7-12): 1048-1055.
- [41] Dellis, P. S., (2010). "Effect of friction force between piston rings and liner: a parametric study of speed, load, temperature, piston-ring curvature, and high-temperature, high-shear viscosity", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 224(5): 411-426.
- [42] Goenka, P. K., & Meernik, P. R., (1992). "Lubrication analysis of piston skirts", *SAE transactions*", 886-895.
- [43] Dearlove, J., & Cheng, W. K., (1995). "Simultaneous piston ring friction and oil film thickness measurements in a reciprocating test rig", *SAE transactions*, 1452-1462.
- [44] Liao, K., Chen, H., & Tian, T., (2012). "The study of friction between piston ring and different cylinder liners using floating liner engine-part 1 (No. 2012-01-1334)", *SAE Technical Paper*.
- [45] Liao, K., (2013). *Factors affecting piston ring friction*, Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology.
- [46] Ma, Y., Li, S., Jin, Y., Wang, Y., & Tung, S. C., (2004). "Impacts of friction-modified fully formulated engine oils on tribological performance of nitrided piston rings sliding against cast iron cylinder bores", *Tribology transactions*, 47(3): 421-429.
- [47] Truhan, J. J., Qu, J., & Blau, P. J., (2005). "A rig test to measure friction and wear of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners using realistic lubricants", *Tribology International*, 38(3): 211-218.
- [48] Keskin, A., Yaşar, A., Gürü, M., & Altıparmak, D., (2010). "Usage of methyl ester of tall oil fatty acids and resinic acids as alternative diesel fuel", *Energy Conversion and Management*, 51(12): 2863-2868.
- [49] Hu, Z., Zhang, L., & Li, Y., (2017). Investigation of tall oil fatty acid as antiwear agent to improve the lubricity of ultra-low sulfur diesels. *Tribology International*, 114(1): 57-64.
- [50] Cesur, İ., Ayhan, V., Parlak, A., Savaş, Ö., & Aydın, Z., (2014). "The effects of different fuels on wear between piston ring and cylinder", *Advances in Mechanical Engineering*, 6(1): 503212.
- [51] Aydın, Z., Savaş, Ö., Parlak, A., Keskin, İ., & Ünlügençoğlu, K., (2016). "Effects of Fuel Contamination to Marine Lubricant on Friction Behaviors between Piston Ring and Cylinder Liner", *Parameters*, 1(2): 3.

- [52] Eiadtrong, S., Maliwan, K., Prateepchaikul, G., Kattiyawan, T., Thephsorn, P., & Leevijit, T., (2019). "Preparation, important fuel properties, and comparative use of un-preheated palm fatty acid distillate-diesel blends in a single cylinder diesel engine", *Renewable Energy*, 134(1): 1089-1098.
- [53] Balakumar, R., Sriram, G., & Arumugam, S., (2018). "Effect of Lubricant contaminated with Waste Ayurvedic Oil Biodiesel on Tribological Behavior of Cylinder Liner-Piston Ring Tribo pair Material", *Materials Today: Proceedings*, 5(5): 13220-13226.
- [54] Singh, P., Goel, V., & Chauhan, S. R., (2018). "Effect of phyllanthus emblica biodiesel based lubricant on cylinder liner and piston ring", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(3): 1269-1275.
- [55] Arumugam, S., & Sriram, G., (2012). "Effect of bio-lubricant and biodiesel-contaminated lubricant on tribological behavior of cylinder liner–piston ring combination", *Tribology Transactions*, 55(4): 438-445.
- [56] Xu, Y. F., Yu, H. Q., Wei, X. Y., Cui, Z., Hu, X. G., Xue, T., & Zhang, D. Y., (2013). "Friction and wear behaviors of a cylinder liner–piston ring with emulsified bio-oil as fuel", *Tribology Transactions*, 56(3): 359-365.
- [57] Arumugam, S., & Sriram, G., (2013). "Synthesis and characterisation of rapeseed oil bio-lubricant–its effect on wear and frictional behaviour of piston ring–cylinder liner combination", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 227(1): 3-15.
- [58] Arumugam, S., Sriram, G., & Ellappan, R., (2014). "Bio-lubricant-biodiesel combination of rapeseed oil: An experimental investigation on engine oil tribology, performance, and emissions of variable compression engine", *Energy*, 72(1): 618-627.
- [59] Mobarak, H. M., Mohamad, E. N., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Al Mahmud, K. A. H., Habibullah, M., & Ashraf, A. M., (2014). "The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications", *Renewable and sustainable energy reviews*, 33(1): 34-43.
- [60] Singh, Y., (2015). "Tribological behavior as lubricant additive and physiochemical characterization of *Jatropha* oil blends", *Friction*, 3(4), 320-332.
- [61] Richardson, D. E. (2000). "Review of power cylinder friction for diesel engines", *Journal of engineering for gas turbines and power*, 122(4): 506-519.
- [62] Bedajangam, S. K., & Jadhav, N. P., (2013). "Friction losses between piston ring–liner assembly of internal combustion engine: a review", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(6): 1-3.
- [63] Priest, M., & Taylor, C. M., (2000). "Automobile engine tribology—approaching the surface", *Wear*, 241(2): 193-203.

- [64] Ronen, A., Etsion, I., & Kligerman, Y., (2001). "Friction-reducing surface-texturing in reciprocating automotive components", *Tribology Transactions*, 44(3): 359-366.
- [65] Johansson, S., Nilsson, P. H., Ohlsson, R., Anderberg, C., & Rosén, B. G., (2008). "New cylinder liner surfaces for low oil consumption", *Tribology International*, 41(9-10): 854-859.
- [66] Liu, P., Yuan, C., & Guo, Z., (2011, May). "Effects of large process structure of cylinder liner on friction of cylinder liner-piston ring", In *2011 Prognostics and System Health Management Conference*, IEEE, 1-6.
- [67] Guo, Z., Yuan, C., Liu, P., Peng, Z., & Yan, X., (2013). "Study on influence of cylinder liner surface texture on lubrication performance for cylinder liner-piston ring components", *Tribology Letters*, 51(1): 9-23.
- [68] Grabon, W., Koszela, W., Pawlus, P., & Ochwat, S., (2013). "Improving tribological behaviour of piston ring-cylinder liner frictional pair by liner surface texturing", *Tribology International*, 61(1): 102-108.
- [69] Mohamad, S. A., Zheng, Q., & Lu, X. Q., (2014). "Improving Tribological Behavior of 2-Stroke Marine Diesel Engine Piston Ring by Cylinder Liner Surface Texturing", In *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications, 620(1): 278:284
- [70] Mohamad, S. A., Lu, X., & Zheng, Q., (2015). "Effect of cylinder liner oil grooves shape on two-stroke marine diesel engine's piston ring friction force", *Advances in Mechanical Engineering*, 7(2): 837960.
- [71] Grabon, W., Pawlus, P., Wos, S., Koszela, W., & Wieczorowski, M., (2017). "Effects of honed cylinder liner surface texture on tribological properties of piston ring-liner assembly in short time tests", *Tribology International*, 113(1): 137-148.
- [72] Peng, Y., Xu, Y., Geng, J., Dearn, K. D., & Hu, X., (2017). "Tribological assessment of coated piston ring-cylinder liner contacts under bio-oil lubricated conditions", *Tribology International*, 107(1): 283-293.
- [73] Söderfjäll, M., Herbst, H. M., Larsson, R., & Almqvist, A., (2017). "Influence on friction from piston ring design, cylinder liner roughness and lubricant properties", *Tribology International*, 116(1): 272-284.
- [74] Guo, Z. W., Yuan, C. Q., Bai, X. Q., & Yan, X. P., (2018). "Experimental study on wear performance and oil film characteristics of surface textured cylinder liner in marine diesel engine", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 31(1), 52.
- [75] Grabon, W., Pawlus, P., Wos, S., Koszela, W., & Wieczorowski, M., (2018). "Evolutions of cylinder liner surface texture and tribological performance of piston ring-liner assembly", *Tribology International*, 127(1): 545-556.
- [76] Xu, Y., Zheng, Q., Geng, J., Dong, Y., Tian, M., Yao, L., & Dearn, K. D., (2019). "Synergistic effects of electroless piston ring coatings and nano-additives in oil on the friction and wear of a piston ring/cylinder liner pair", *Wear*.

- [77] Tian, T., Wong, V. W., & Heywood, J. B., (1996). "A piston ring-pack film thickness and friction model for multigrade oils and rough surfaces (No. 962032)", SAE Technical Paper.
- [78] Jocsak, J., Wong, V. W., & Tian, T., (2004, January). "The effects of cylinder liner finish on piston ring-pack friction", In ASME 2004 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, American Society of Mechanical Engineers, 841-849.
- [79] Mezghani, S., Demirci, I., Zahouani, H., & El Mansori, M., (2012). "The effect of groove texture patterns on piston-ring pack friction", Precision Engineering, 36(2): 210-217.
- [80] Morris, N., Rahmani, R., Rahnejat, H., King, P. D., & Fitzsimons, B., (2013). "The influence of piston ring geometry and topography on friction", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 227(2): 141-153.
- [81] Peng, Y., Xu, Y., Geng, J., Dearn, K. D., & Hu, X., (2017). "Tribological assessment of coated piston ring-cylinder liner contacts under bio-oil lubricated conditions", Tribology International, 107, 283-293.
- [82] Shanta, S. M., Molina, G. J., & Soloiu, V., (2011). "Tribological effects of mineral-oil lubricant contamination with biofuels: a pin-on-disk tribometry and wear study", Advances in Tribology, 2011.
- [83] Kasper, A., Aufdenblatten, S., Forss, A., Mohr, M., & Burtscher, H., (2007). "Particulate emissions from a low-speed marine diesel engine", Aerosol Science and Technology, 41(1): 24-32.
- [84] International Maritime Organisation, Sulphur oxides (SOx) and Particulate Matter (PM) – Regulation 14, [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)---Regulation-14.aspx), 30 Mart 2019.
- [85] Marine Diesel Oil Specifications, <https://tprstaticfilessa.blob.core.windows.net/assets/uploads/urunler/TPR.UPM.USP.0415.pdf>, 30 Mart 2019.
- [86] Intermediate Fuel Oil Specifications, <https://tprstaticfilessa.blob.core.windows.net/assets/uploads/urunler/rmg-380.pdf>, 30 Mart 2019.
- [87] Tall Oil Fatty Acid Specifications, [https://www.forchem.com/files/637/forchem_datasheet FOR2_003.pdf](https://www.forchem.com/files/637/forchem_datasheet_FOR2_003.pdf), 30 Mart 2019.
- [88] ABB ACS150 Frekans Değiştirici Görüntüsü, <https://new.abb.com/drives/low-voltage-ac/micro/acs150>, 30 Mart 2019.
- [89] Kistler 9027c Üç Yönlü Kuvet Sensörü Görüntüsü, <https://www.kistler.com/en/product/type-9027c--9028c--9026c4/>, 30 Mart 2019.

- [90] Kistler 5073 Şarj Amplifikatörü Görüntüsü,
<https://www.kistler.com/en/product/type-5073a/>, 30 Mart 2019.
- [91] Manuware Yazılımı Arayüzü Görüntüsü,
<https://www.kistler.com/?type=669&fid=84711>, 30 Mart 2019.
- [92] Martin, J. M., Matta, C., Bouchet, M. I. D. B., Forest, C., Le Mogne, T., Dubois, T., & Mazarin, M. (2013). "Mechanism of friction reduction of unsaturated fatty acids as additives in diesel fuels", *Friction*, 1(3): 252-258.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Olcay SERT
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.12.1992 Edirne
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : olcay_sert@windowslive.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lise	Fen Bilimleri	Edirne Anadolu Öğretmen Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2018-Devam ediyor	Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

