



Polialfaolefinin Sentetik Zincir Yağlarının Geliştirilmesine Etkisi

Effect of Polyalphaolefin on the Development of Synthetic Chain Lubricants

Ceren ACAR^{1,*} , Özlem ÜNAL²

¹ R&D Department, Lubratek End. Yağlar ve Kimyasal Maddeler San. A.Ş., Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0009-0001-3586-6379

² R&D Department, Lubratek End. Yağlar ve Kimyasal Maddeler San. A.Ş., Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0009-0008-4229-9158

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 13/11/2024

Kabul Tarihi : 24/03/2025

Anahtar Kelimeler

Triboloji
Viskozite
Yağlayıcı
Zincir yağı

Özet

Taşıma zinciri, konveyör, tahrik zinciri veya kaldırma zincir gibi birçok farklı zincir türü vardır. Zincirler, karışık sürtünme düzeninde sürekli çalıştıkları ve darbe yüklerine maruz kaldıkları için yüksek gerilim altındadır. Birçok uygulama yüksek sıcaklık ve agresif ortam şartları gibi ek faktörler içermektedir. Zincirlerin, bu olumsuz ortam koşullarında uzun süreli çalışmasını garanti altına almak için yüksek performanslı özel zincir yağlarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada baz yağı olarak PAO kullanılarak belli oranlarda palmester, duman kesici katık ve termal kararlılık katığı eklenerek sentetik zincir yağı sentezlenmiştir. Yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası ve akma noktası analizleri TSE standartlarına göre yapılmıştır. Ayrıca ısı kararlılık ve termogravimetrik analizler gerçekleştirilmiş olup zincir yağının kullanım sırasında viskozite artışının azaldığı ve numune kaybının referans firmanın yağlayıcısına göre daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Research Paper

Received Date : 13/11/2024

Accepted Date : 24/03/2025

Keywords

Chain Lubricant
Lubricant
Tribology
Viscosity

Abstract

There are many different types of chains, such as conveying chain, conveyor, transport chain or lifting chain. The chains are under high tension because they work continuously in a mixed friction pattern and are subjected to impact loads. Many applications include additional factors such as high temperature, aggressive environmental conditions. In order to guarantee the long-term operation of chains under these adverse environmental conditions, high-performance special chain oils are needed. In this study, synthetic chain oil was synthesized by using PAO as base oil and adding palmester, smoke suppressant and thermal stability additives at certain ratios. Density, kinematic viscosity, flash point and pour point analyses were performed according to TSE standards. Thermal stability and thermogravimetric analyses have been conducted, revealing that the viscosity increase during the use of chain oil is reduced and that sample loss occurs at higher temperatures compared to the lubricant of the reference company.

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle taşıtlardaki hızlı gelişim ve ilerleme, yağların performans gereksinimlerini arttırmıştır. Yüksek yük taşıyan makineler için zincir yağları oluşturulmuştur. Torkun dişli çiftlerine iletildiği her yerde (dişli kutuları, tahrik aksları, transfer kutuları, direksiyon üniteleri) zincir yağları kullanılmaktadır [1]. Şanzımanlarda, diferansiyellerde, güç çıkış ünitelerinde de

yaygın olarak endüstriyel yağlayıcılar sıkça kullanılmaktadır. Dişli yağlamanın temel amaçları, sürtünmeyi azaltmak, verimliliği artırmak, etkileşen diş yüzeylerinin aşınmasını önlemek, ısıyı aktarmak, aşınma parçacıklarını gidermek, temas yorgunluğunu azaltmak ve dayanıklılığı artırmaktır. Ayrıca yağlayıcının sürtünme noktasına uygun miktarda, sürekli ve yeterli bir şekilde uygulanması önemli parametrelerden biridir. Yağlama özellikleri, on dokuzuncu yüzyıldan beri dişli tribolojisinde ele alınmakta, bu alanda birçok çalışma yapılmaktadır [2]. Günümüzde mineral yağ bazlı yağlayıcılar her türlü pratik uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak artan

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): cerena19@gmail.com



çevre bilinci araştırmacıları farklı alternatifler aramaya yönlendirmiştir. Mineral yağlar, petrolün fiziksel işlemlerle rafine edilmesiyle yapılmaktadır. Öte yandan, sentetik yağlar, mineral yağdan veya doğal yağlardan ve katı yağlardan elde edilen düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin çeşitli kimyasal işlemlerle birleştirilmesiyle üretilen ürünlerdir. Bunlar sentetik hidrokarbonlar (α -olefin oligomer, alkilbenzen, vb.), esterler (diester, poliol ester, fosfat, silikat vb.), eterler (polialkilen glikol, polifenil eter) ve diğer bileşikler (silikon, florlu bileşikler vb.) olabilmektedir [3]. Otomotiv ve endüstriyel uygulamalarda sentetik yağlayıcıların ilk piyasaya sürülmesinden bu yana, çok sayıda şirket piyasaya birçok ürün sunmuştur. Sentetik yağlayıcıların hacmi, geleneksel yağlayıcılara kıyasla nispeten küçük olmasına rağmen, sentetik yağlayıcıların genel ekonomik etkisi, yalnızca tek başına hacim sayısından çok daha büyüktür, çünkü sentetik yağlayıcılar enerji verimliliğini, üretkenliği, güvenilirliği artırmakla birlikte atık oluşumunu da azaltmaktadır [4]. İyi yağlama ve biyolojik olarak parçalanabilen özelliklerine sahip sentetik esterler bu özelliklerinden dolayı dikkat çekmektedir.[5].

Modern zincir yağları iyi aşınma önleyici ve korozyon önleyici özellikler, iyi viskozite-sıcaklık özellikleri, düşük aşındırıcılık, çalışma döngüsü sırasında sabit viskozite sağlayan yüksek termal stabilite, paslanmaya karşı yüksek koruyucu özellikler, düşük toksisite gibi bazı özelliklere sahip olmalıdır. Zincir yağlarının temel fiziksel ve mekanik özellikler olarak kinematik viskoziteye, dinamik viskoziteye, akma noktasına, viskozite indeksine bakılmalıdır. Dişli yağlarının temel tribolojik özellikleri ise sürtünme yükü, kaynak noktası, yük aşınma indeksidir. Yük aşınma indeksi yüksek olması tercih edilmektedir. Zincir yağları, çeşitli fonksiyonel amaçlı katkı maddeleri veya katkı paketleri eklenerek elde edilmektedir. Deterjan katkı maddeleri, piston temizliğini ve piston segmanlarının hareketliliğini sağlar. Tipik olarak, birbirini tamamlayan ve etkinliğini artıran farklı deterjanların yağ kombinasyonlarında kullanılabilir. Depresan katkı maddeleri yağlarda iyi bir çözünürlüğe sahiptir. Akma noktasını azaltır ve yağların viskozite özelliklerini geliştirirler. Korozyon önleyici katkı maddeleri, zincir yağlarındaki korozyonu önler ve azaltır. Metal bir yüzeyde koruyucu bir film oluştururlar. Bu film katalitik olarak etkisizdir ve yüzeyde sıkıca tutulur. Viskozite katkı maddeleri, gerekli viskoziteyi pozitif sıcaklıklarda tutmaya yardımcı olur ve düşük sıcaklıklarda herhangi bir olumsuz etki oluşturmaz. Köpük önleyici katkı maddeleri, şanzıman ünitelerinde kullanıldığında köpüklenmeyi azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca oluşmuş köpüğü de yok ederler. Antioksidan katkı maddeleri oksidasyona karşı direnci arttırmaktadır [1].

Yağlayıcıların termal kararlılığı, yüksek sıcaklıklardaki uygulamaları için bilinmesi gereken maksimum çalışma sıcaklığını sınırlayan bir parametredir. Bu termal kararlılık birçok parametreden etkilenebilir; yapıya (katyon ve anyon tipi, katyon alkil zincirindeki uzunluk ve işlevselliklerdeki yapısal değişiklikler) ve safsızlıklara ek olarak, atmosfer ve maruz kalma süresi gibi durumlar önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak, perfloropolietiler (PFPE) çok düşük uçuculukla mükemmel termal ve oksidasyon kararlılığına sahiptir, oysa poliesterler de çok az buharlaşma kaybına sahiptir ancak oksidasyon kararlılığı PFPE'lerden daha düşüktür. Polialkilen glikoller (PAG) daha yüksek uçuculuğa sahiptir ancak oksidasyon kararlılıkları poliesterlerinkine benzer veya biraz daha kötüdür [6].

Eychenne ve ark. yaptıkları çalışmada ester türevi olan neopentil poliol ester eklemesi yaparak termal davranışları gözlemlemek için hem helyum hem hava akışı altında TGA analizleri yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda ester yapılarının termal kararlılığı etkilendiği görülmüştür. TGA yöntemi ayrıca sıcaklık artışıyla ağırlık kaybına yol açan reaksiyonlara (buharlaşma, oksidasyon, termal ayrışma, polimerizasyon, vb.) daha fazla ışık tutabilmektedir. Termal analiz için TGA tekniğini kullanmak, termal davranışı değerlendirmek için standart parlama noktası yönteminin (ASTM D-93) yerini alabilir. Parlama noktalarının, TGA yöntemiyle hava akışı altında belirlenen ağırlık kaybının başlangıç sıcaklıklarına yakın olduğu görülmüştür. Bu yöntem ayrıca laboratuvar da kısmi esterler ve toplam ve kısmi ester karışımları gibi küçük miktardaki bileşiklerin termal davranışını değerlendirmek için de kullanılabilir [7].

Yapılan bir çalışmada atık yağlama yağından farklı yüzdelere (kütlece %0,1, %0,2, %0,3 ve %0,4) sahip alümina (Al_2O_3) bazlı zincir yağı geliştirilmiştir. Kütlece %0,2 ve %0,4 alümina eklenmiş numunelerde zincir yağının viskozite indeksinde %1,5 oranında azalma görülürken kütlece %0,1 ve %0,3 alümina eklemesi yapılmış zincir yağlarında %4,6 oranında azalma görülmüştür. Ancak elde edilen değerlerin API ve ISO standartlarının minimum gerekliliğinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Al_2O_3 nanopartiküllerin dispersiyonu, atıktan elde edilen alümina bazlı zincir yağı numunelerinin yoğunluğunu iyileştirdiği gözlenmiştir. Optimum iyileştirmenin kütlece %0,4 alümina bazlı numune %3,7 oranında olduğu belirlenmiştir. Parlama noktası API ve ISO standartlarını sağladığını ancak alümina ilavesiyle akma noktasının azaldığı ve elde edilen değerlerin API ve ISO standart gerekliliklerinin altında olduğu görülmüştür. Kütlece %0,4 Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesiyle temas eden yüzeylerin aşınma oranının %26,14 düzeyinde azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca alümina bazlı atık zincir yağının sistemin çalışma sıcaklığının üzerinde stabilite

gösterdiği için dişli kutusunda moleküler yapısını koruyabileceği tespit edilmiştir. Böylelikle atıktan elde edilen kütlece %0,4 alümina eklenmiş zincir yağının kinematik viskozite, vizkozite indeksi, yoğunluğu ve aşınma önleme özelliklerini bulundurduğundan potansiyel zincir yağı olabileceği görülmüştür [8]. Başka bir çalışmada ise bir dizi di- ve triol- merkezli polioller ile adipik ve sebasik asitler gibi dikarboksilik asitler ve iyon değişim reçinesi (Indion-130) katalizörünü kullanılarak 3 farklı kompleks esterler sentezlemişlerdir. Bu esterlerin otomotiv zincir yağları olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Sentezlenen kompleks esterlerin viskozitesi 40°C ve 100°C'de ölçülmüştür. 100°C'de viskozite spesifikasyonun altında olduğu görülmüştür. Esterlerin parlama noktası, spesifikasyona karşı üstün parlama noktası özelliklerine sahip olduğundan çok daha iyi bir yangına dayanıklılık özelliği sağlamıştır. Sentetik kompleks esterlerin fizikokimyasal özellikleri tribolojik performans verileri spesifikasyona uymamıştır. Bu nedenle 3 farklı kompleks esterlere aynı dozajlarda (%2,75) EP tipi (fosfosülfürize edilmiş) otomotiv dişli yağı katkı maddesi paketi ilavesi yapılmıştır. Seçilen konvansiyonel dişli yağı katkı paketinin sentezlenen kompleks esterlerle de uyumluluğa sahip olduğunu görülmüştür. EP katkısının eklenmesi parlama noktasını etkilememiştir. Numunelerin bakteriyel toksisitesi, değiştirilmiş Alg inhibisyon testi yöntemi ile belirlenmiş olup numunelerin tamamen biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu bulmuşlardır [5]. Ayrıca üç farklı organik moleküller sentezleyerek zincir yağları için aşırı basınç (EP) ve korozyon önleyici katkı paketleri geliştirilmiş başka bir çalışma da bulunmaktadır [9]. Bu çalışmada ASTM standartlarına göre yapılmış olup analiz sonuçlarına göre tek başına metilenbis (dibutilditiokarbamat) en iyi aşınım önleme (AW) ve aşırı basınç özelliğini gösterdiği tespit edilmiştir. O,o-Dialkilditio fosfat en yüksek antioksidant özelliği ve sülfürize edilmiş oleik asitte ise en yüksek korozyon önleme özelliği göstermiştir [9]. Başka bir çalışmada ise farklı katkı paketleri eklenmiş üç farklı zincir yağının tribolojik performansına bakılmıştır. Yağlayıcı formülasyonlarının ve bunlara bağlı tribofilmlerin yüzey altı tabakalarındaki deformasyon derecesini etkilediği ve sonuç olarak aşınma performansını etkilediği görülmüştür [10].

Bu çalışmada PAO (polialfaolefin) eklenerek sentezlenecek olan sentetik zincir yağlarının içeriği katkı paketleri ile zenginleştirilerek tribolojik analizlerin yapılması ve performansının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca literatüre bakıldığında sentetik zincir yağları için yoğunluklu olarak aşınım ve korozyon önlenmesi üzerine çalışmalar yapılmış olup viskozite artışının düşürülmesi veya yüksek sıcaklıklarda numune kaybının engellenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya

rastlanılamamış olup literatür katkı sağlanması da amaçlanmaktadır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Materyal

Kullanılan materyal CHAIN-6000-320 olarak isimlendirilmiş olup ürün içeriğinde palmester, duman kesici, termal kararlılık katığı ve PAO (polialfaolefin) mevcuttur. Duman kesici, bir yağlayıcıya yapışma veya sertlik kazandıran bir katkı maddesidir. Zincir yağlayıcılarında yapışkanlık sağlaması için kullanılmaktadır. Termal kararlılık katığı %70 hidrokarbon reçinelerinin %30 aromatik olmayan hidrokarbonlarla karışımıdır. Zincir yağlarında yüksek viskoziteli bileşen olarak kullanılmaktadır.

2.2. Sentez Prosedürü

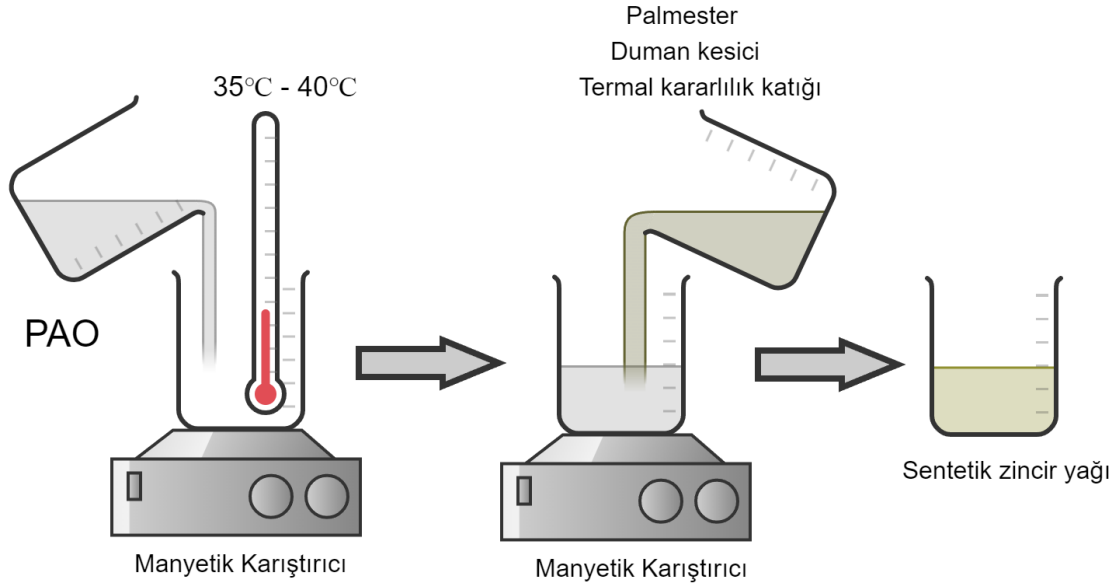
Zincir yağının sentezlenme prosedürü Şekil 1'de gösterildiği gibi öncelikle PAO (polialfaolefin) eklenerek başlanmaktadır. PAO yaklaşık 35-40 °C aralığında ısıtılarak behere eklenmektedir. Daha sonra sırasıyla behere palmester, termal kararlılık katığı ve duman kesici katık da eklenerek numune bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılır. 40-45 dakikalık karışma sonrasında sentetik zincir yağı eldesi tamamlanmış olmaktadır. Termal kararlılık katığı %2 oranında belirlenmiş olup reçete oluşturulmuştur.

2.3. Yoğunluk Analizi

Şekil 2'de verilen Kyoto-KEM DA 130N yoğunluk ölçer cihaz kullanılarak ISO 12185 standardına göre yoğunluk analizi yapılmıştır. Cihaza 5-10 mL arasında numune konularak 15°C'de ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Yoğunluk ölçer cihazı



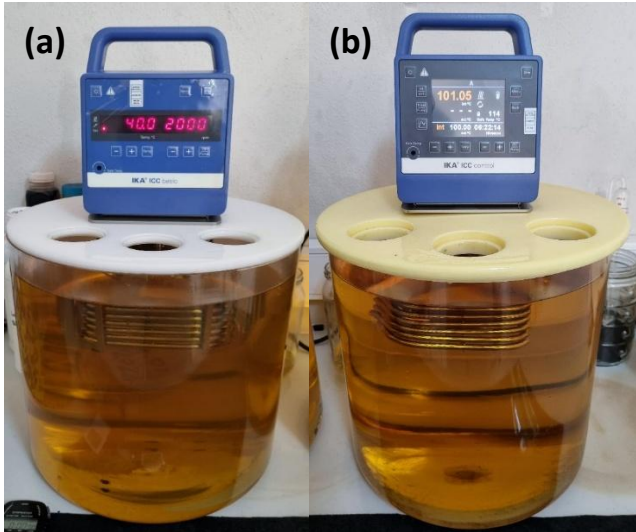
Şekil 1. Sentetik zincir yağının sentezlenmesinin şematik gösterimi.

2.4. Kinematik Viskozite Analizi

IKA-ICC BASIC kinematik viskozite ölçüm cihazı kullanılarak TS 1451 EN ISO 3104 standardına göre analizler gerçekleştirilmiştir. 20-25 mL numune cihaza koyularak 40°C ve 100°C sıcaklıklarda ölçümler yapılmıştır. Şekil 3'te cihaz gösterilmiştir.

2.5. Parlama Noktası Analizi

Şekil 4'te verilen TEKNOSEM TAN 400 cihazı kullanılarak ISO 2592 standardına göre analiz gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 70 mL numune cihaza eklenerek parlama noktası gelene kadar kademeli olarak sıcaklık artırılarak analiz yapılmıştır.



Şekil 3. Kinematik viskozite ölçüm cihazları: (a) 40 °C; (b) 100°C.



Şekil 4. Parlama noktası ölçüm cihazı.

2.6. Akma Noktası Analizi

Şekil 5'te verilen TEKNOSEM TFP 402 cihazı kullanılarak ISO 3016 standardına göre analiz gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 30 mL numune cihaza eklenerek akmanın durduğu noktaya kadar kademeli olarak soğutulurak analiz yapılmıştır.



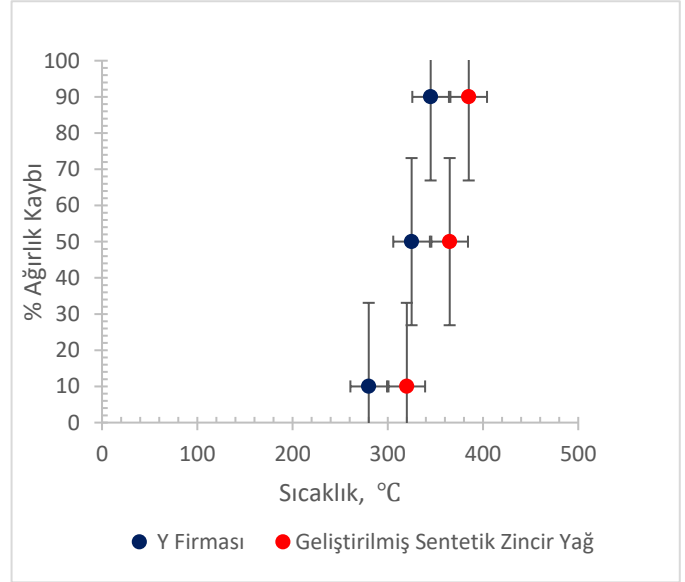
Şekil 5. Akma noktası analiz cihazı.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölüm, hazırlanmış sentetik zincir yağına ilişkin gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarını ve bu sonuçlarla ilgili değerlendirmeleri içermektedir.

Materyal ve sentez prosedürü bölümlerinde de belirtildiği gibi baz maddesi olarak PAO seçilmiştir. Daha düşük çekiş katsayıları nedeniyle enerji tasarrufu, daha uzun yorulma ömrü ve daha düşük çalışma sıcaklıkları, geniş çalışma sıcaklıkları ve mükemmel stabilitesi sayesinde ekipmanda durma süresinde azalma, bakım gereksinimlerinde azalma ve daha uzun yağ ömrü sağlamasıyla nedeniyle PAO baz yağ olarak tercih edilmiştir [4]. Sentezlenen sentetik zincir yağının yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası ve akma noktası analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası ve akma noktası analizler standartlara uygun sonuçlar vermiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada kimyasal özellikleri karşılaştırmak adına literatür araştırması firmanın yapılarak referans A firmasının kimyasal özellikleri de Tablo 1'e eklenmiştir. Ancak firmanın özgül ağırlık ve akma noktası verilerine ulaşılamamıştır. , ASTM D 1298 standardına göre özgül ağırlık aralığı 0,600 ile 1,100 olması gerekmektedir ve

numuneler bu aralıkları sağlamaktadır [12]. Kinematik viskozite değerleri ASTM D 445 standardına göre belirlenmelidir ve tüm sıcaklıklarda 0,2 mm²/s ile 300.000 mm²/s aralığında olması gerekmektedir. Bu çalışmada sentezlenen zincir yağı ve referans olarak alınan A firmasının iki farklı sıcaklıktaki değerlerine bakıldığında, her ikisinin bu aralıklar arasında olduğu görülmüştür [13]. Akma noktası analizi ise ASTM D 97 standardına göre yapılmaktadır ve yağlayıcılar için genellikle -10°C ile -32 °C olmaktadır [14]. ASTM D 92 standardı ile de parlama noktası analizleri yapılmaktadır ve parlama noktası değerlerinin 79°C ile 400°C aralığında olması gerekmektedir [15]. Tablo 1'e bakıldığında bu çalışmada sentezlenen numune ve diğer referans olarak alınan A firmasının yağlayıcı değerlerinin bu aralıkta olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Geliştirilmiş olan sentetik zincir yağın yüksek sıcaklıklarda ağırlık kaybının referans Y firması ile karşılaştırılması.

Ayrıca ısı kararlılık ve termogravimetrik analizleri (TGA) gerçekleştirilmiştir. 300°C'de ve 48 saat boyunca gerçekleştirilmiş olan ısı kararlılık analizine bakıldığında referans Y firması zincir yağının viskozite artışı 6,4 olurken bu çalışmada sentezlenmiş olan numune 2,59 olarak tespit edilmiştir. Böylelikle yüksek sıcaklıkta yağın ağırlaşması daha az seviyeye çekilmiştir. Ağırlık kaybı ölçümleri TG analizi ile gerçekleştirilmiştir. TG analizi bir numunenin kütlesinin sıcaklık artışıyla değişmesini kantitatif olarak gösteren bir analiz yöntemidir. Argon veya azot ortamında analiz gerçekleştirilmektedir. Ağırlık kaybına bakıldığında ise referans olarak alınan Y firmasının zincir yağının 4,67 oranının bir kayıp yaşadığı görülürken bu çalışmada sentezlenmiş olan numunede ise bu oran 0,98 olmuştur. Uygulanan yüzeylerde ürün kaybının büyük oranda azaldığı görülmüştür.

Tablo 1. Sentezlenen Sentetik Zincir Yağı ve A Firmasının Kimyasal Özellikleri

Zincir Yağı	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Kinematik Viskozite (40°C), mm ² /s	Kinematik Viskozite (100°C), mm ² /s	Parlama Noktası, °C	Akma Noktası, °C
Sentezlenen sentetik zincir yağı	0,965 (15°C)	320	29,6	286	-10
A Firması [11]	-	313,1	25,7	270	-

Başka bir çalışmada 210°C’de ve 48 saat boyunca yapılan analizde yaklaşık %20’lik bir ağırlık kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. [16]. 200°C’de 6 saat boyunca yapılan farklı bir çalışmanın analiz sonuçları incelendiğinde; ağırlık kaybının ortalama %1 olduğu görülmüştür.[17]. **Şekil 6**’da görülen termogravimetrik analizine bakıldığında ise %10, %50 ve %90 numune ağırlık kayıplarında veri alınarak grafik oluşturulmuştur. Dakikada 10°C arttırılarak yapılan analizde %10, %50 ve %90 numune kaybı referans firma zincir yağı için sırasıyla 280°C, 325°C ve 345°C’lerde gerçekleşirken sentezlenen numunede sırasıyla 320°C, 365°C ve 385°C’de bu kayıplar yaşanmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde referans Y firması zincir yağına göre bu çalışmada geliştirilmiş olan zincir yağında daha yüksek sıcaklarda kayıplar yaşanmıştır. Böylelikle gerçekleştirilen çalışmada sentezlenen zincir yağının daha yüksek sıcaklıklarda varlığını koruyabilmesi sağlanmıştır.

4. Sonuçlar

Sonuç olarak bu çalışmada sentezlenen sentetik zincir yağının analizlerinden elde edilen sonuçlara göre standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirildiği eklenen termal kararlılık katığı sayesinde bu çalışmada referans olarak alınan sentetik zincir yağıyla karşılaştırıldığında viskozite artışında azalma olduğu görülmüştür ve aynı zamanda ısı ağırlık ölçümsel analizine bakıldığında termal kararlılık katığının yüksek sıcaklıklarda etkili olduğu gözlenmiş olup sentezlenen numunenin kütle kaybı rakip zincir yağına göre yüksek sıcaklarda yaşanmıştır.

Yazar Katkı Beyanı

Ceren Acar: Gerekli literatür taraması ve sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan malzeme ve ekipmanların temini, tasarımın yapılması, görselleştirme.

Özlem Ünal: Metodoloji (Fikrin oluşması), tasarımın yapılması, makalenin kontrol edilmesi, veri düzenlemesi, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, makalenin kontrol edilmesi.

Etik Standartlar Beyanı

"Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkilemiş gibi görünebilecek, bilinen rakip mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

- [1] Lebedev, N., & Pokrovskaya, S. (2016). Modern gear oils and special aspects of their production.
- [2] Liu, H., Liu, H., Zhu, C., & Parker, R. G. (2020). Effects of lubrication on gear performance: A review. *Mechanism and Machine Theory*, 145, 103701.
- [3] Tokashiki, M. (1985). Synthetic Lubricants. *Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan*, 43(7), 703-716.
- [4] Wu, M. M., Ho, S. C., & Forbus, T. R. (2006). Synthetic lubricant base stock processes and products. *Practical advances in petroleum processing*, 553-577.
- [5] Nagendramma, P., & Kaul, S. (2008). Study of synthetic complex esters as automotive gear lubricants. *Journal of Synthetic Lubrication*, 25(4), 131-136.
- [6] Parajo, J. J., Villanueva, M., Otero, I., Fernandez, J., & Salgado, J. (2018). Thermal stability of aprotic ionic liquids as potential lubricants. Comparison with synthetic oil bases. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 116, 185-196.
- [7] Eychenne, V., Mouloungui, Z., & Gaset, A. (1998). Thermal behavior of neopentylpolyol esters: Comparison between determination by TGA-DTA and flash point. *Thermochimica acta*, 320(1-2), 201-208.

- [8] Dambatta, Y. S., Kuburi, L. S., & Kaisan, M. U. (2024). Analysis of physicochemical and tribological properties of nano alumina-based gear oil developed from effluent of lube oil blending plant. *Industrial Crops and Products*, 209, 117936.
- [9] Akin, M., & Tekin, N. (2016). Preparation of additive package for gear lubricants and determination of tribological properties. *Petroleum Chemistry*, 56, 175-180.
- [10] Adebogun, A., Hudson, R., Breakspear, A., Warrens, C., Gholinia, A., Matthews, A., & Withers, P. (2018). Industrial gear oils: tribological performance and subsurface changes. *Tribology letters*, 66, 1-13.
- [11] Sinopec Synthetic Lubricants. URL: https://sinopecenergy.com/wp-content/uploads/2016/04/Technical_Specification_Synthetic_Lubricants.pdf. Son Erişim Tarihi: 11.10.2024
- [12] Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/3239/84bf8b33f3c541b6a587b5f1877c7b05/ASTM-D1298-99.pdf> Son Erişim Tarihi: 17.01.2025
- [13] Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). (2024). URL: <https://www.astm.org/standards/d445> Son Erişim Tarihi: 17.01.2025
- [14] Pour Point Definition and Testing Standards. (2021). URL: <https://www.tribonet.org/wiki/pour-point-definition-and-testing-standards/> Son Erişim Tarihi: 17.01.2025
- [15] Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. (2024). URL: <https://www.astm.org/d0092-18.html> Son Erişim Tarihi: 17.01.2025
- [16] High Performance Chain Oil. URL: https://www.bechem.de/Resources/Persistent/7/a/a/8/7aa84549bde6758096de4a485cf72bb7b7bcd5d/BE_CHEM_High_performance_chain_oils_en.pdf. Son Erişim Tarihi: 16.10.2024
- [17] Product Selection For High Temperature Chain Oil. URL: https://www.nyco-group.com/wp-content/uploads/NYCO_Application_TDS_Chain_oils_issue5_web.pdf. Son Erişim Tarihi: 16.10.2024