



Demiryollarında Kullanılan Ağır Hizmet Dizel Motorlarında Viskozite Ölçümüyle Motor Yağı Yakıt Seyreltmesinin Teşhisi

Mustafa Ertunç TAT^{*1}, Emine DORU²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Raylı Sistemler Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye

*metat@ogu.edu.tr

(Alınış/Received: 22.03.2023, Kabul/Accepted: 10.04.2023, Yayımlama/Published: 31.07.2023)

Öz: Kestirimci bakım yöntemleriyle karmaşık mühendislik sistemlerinde ortaya çıkabilecek arızalar önceden kontrol altına alınabilir. Titreşim analizi, ultrasonik test, termal kamera ile görüntüleme ve yağ analizi gibi uygulamalar kestirimci bakım yöntemleridir. Bu yöntemlerle, arıza henüz meydana gelmeden veyahut ciddi boyutlara ulaşmadan, sensörler aracılığıyla sistem ve ekipman gerekliliklerine göre belirlenmiş verilerin elde edilip incelenmesiyle muhtemel arızaların önüne geçilebilir. Bu çalışmada bir ağır dizel motor yağının (10W-40) içerisine ağırlıkça %1, %2, %5 ve %10 oranlarında biyodizel yakıtı konularak seyreltilmiştir. Yakıtla seyreltilmiş ağır dizel motor yağının viskozite ve yoğunluk performansları Anton Paar Automated Micro Viscometer ve DMA 4500 Density Meter kullanılarak 40, 60, 80 ve 90 °C, sıcaklıklarında ölçülmüştür. Yağın içerisindeki yakıt miktarı seyreltmesinin viskozite ve yoğunluk değerleri üzerinden gözlemlenebildiği, seyreltmenin artmasıyla viskozitenin düştüğü fakat yoğunluğun arttığı ve yoğunluk üzerindeki değişimin sıcaklıktan etkilenmediği fakat viskozite değerlerindeki ayrışmanın sıcaklıktan etkilendiği görülmüştür. Özellikle yakıt seyreltmesinin viskozite üzerindeki sıcaklığa bağlı etkisi %5 oranına kadar sabitken, seyreltme oranı artıkça sıcaklığa bağlı davranış değişikliği göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Viskozite, Ağır hizmet dizel motoru, Motor yağı, Kestirimci bakım

Diagnosing Engine Oil Fuel Dilution by Viscosity Measurement in Heavy-Duty Diesel Engines Used in Railways

Abstract: Predictive maintenance methods allow failures that may occur in complex engineering systems to be controlled beforehand. Vibration, ultrasonic testing, thermal imaging, and oil analysis are predictive maintenance methods. These methods prevent possible malfunctions by obtaining and examining the data determined according to the system and equipment requirements through sensors before the malfunction occurs or reaches profound dimensions. In this study, heavy diesel engine oil (10W-40) was diluted by adding %1, %2, %5, and 10% by weight of biodiesel fuel. Viscosity and density performances of heavy diesel engine oil diluted with biofuel were evaluated using Anton Paar Automated Micro Viscometer and DMA 4500 Density Meter at temperatures 40, 60, 80, and 90 °C. It was observed that the amount of fuel in engine oil could be detectable through the viscosity and density values. As the dilution increases, the viscosity decreases, but the density increases and the change in density is not affected by the temperature, but the temperature affects the change in the viscosity values. In particular, while the temperature-dependent effect of fuel dilution on viscosity was constant up to 5%, the temperature-dependent behavior changed as the dilution increased.

Keywords: Viscosity, Heavy-duty diesel engine, Engine oil, Predictive maintenance

1. Giriş

Demiryolu taşımacılığı maliyet, zaman ve güvenilirlik açısından önemli taşımacılık yöntemlerinden biridir. Demiryolu uygun maliyetli yolcu taşımasıyla ve ağır tonajlı, hacimli

Atıf için/Cite as: M.E. Tat, E. Doru, "Demiryollarında kullanılan ağır hizmet dizel motorlarında viskozite ölçümüyle motor yağı yakıt seyreltmesinin teşhisi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 18, pp. 26-35, July 2023. doi: 10.47072/demiryolu.1268973

yüklerin taşınmasına elverişli olmasıyla ön plana çıkar. Kötü hava koşullarından en az şekilde etkilenen tek taşımacılıktır. Demiryolu taşımacılığı, güvenilir olması, insana bağımlılığın ve dolayısıyla hata riskinin asgariye indirilmiş olması, rekabetçi maliyetler oluşturulabilmesi, güzergâh üzerindeki avantajları ve çevre dostu bir çözüm oluşturması itibarıyla son dönemlerde artarak ilgi gören bir taşıma modelidir. Ulaşım ve taşıma sistemleri açısından demiryolu ile toplu taşımacılık ve yük taşımacılığı anlayışı bu sebeplerle ekonomik kalkınmanın önemli bir unsurudur [1].

Demiryolu endüstrisi de diğer teknolojiler gibi güncel teknolojiye entegre edilmeye ihtiyaç duyar. Endüstri 4.0 veya dördüncü nesil endüstriyel faaliyet, bu sektörlerde verimlilik, güvenilirlik ve emniyet sağlar. Gelişmiş akıllı sistemlerle mevcut durumları izlemek ortaya çıkan istenmeyen durumların önceden tespitinde yardımcı olur. Endüstri 4.0'ın verimlilik, kapasite ve maliyet açısından faydalarını demiryolu endüstrisinde de görmek mümkün olacaktır. Ulaştırma sistemleri, çok çeşitli insan faktörlerinden, organizasyonlarından ve teknik çözümlerden meydana geldiği için karmaşıktır. Akıllı sistemler ve internet tabanlı çözümleri kapsayan endüstri 4.0 ile karmaşık sistemleri daha anlaşılır bir şekilde indirgemek mümkündür. Kestirimci bakım uygulamaları ve nesnelerin internetini (IoT) kullanarak arızaları tahmin edebilir kılan akıllı sistemler oluşturulabilir. Dünya genelinde en çok tercih edilen ulaşım ve taşıma yöntemlerinden biri olan demiryollarında arızalar oluşabilir ve bu arızalar yüksek can ve mal kaybıyla sonuçlanan kazalara neden olabilir. Bu nedenle bu sistemlerin belirli periyotlar ile denetlenmesi hasarların önlenmesi ve oluşabilecek kazaların önüne geçilebilmesi kritik derecede önemlidir. Sistemin sağlıklı çalışması açısından üç ana bakım yaklaşımından söz edilebilir. Bu bakım yaklaşımları düzeltici, önleyici ve kestirimci bakım olarak ele alınıp kategorize edilebilir. Bakım maliyetleri işletmelerin mali durumunu büyük ölçekte etkileyen faktörlerden biridir. Bakım yöntemleri ekipman duruşlarını en aza indirerek ve beklenmeyen arızaları önleyerek işletmeleri mali kayıp ve işletim süreci aksamaları gibi birçok açıdan korur.

Bu çalışmada kestirimci bakım kapsamında, özellikle ağır hizmet dizel motorlarında karşılaşılan, zamanla ya da yakıt enjektör sistemindeki arızalardan kaynaklı motoryağına yakıt karışarak yakıt seyrelmesinin durumunda motor yağının performansının viskozite ve yoğunluk değişimi üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Yakıt seyrelmesi ağır dizel motorlarında yaygın karşılaşılan bir durumdur. Benzer şekilde soğutma suyu da motor yağına karışabilir. Bu durumda veya bu durumun belirli kritik eşik değerinin üzerine çıkması durumunda çok kısa bir sürede ağır motor hasarı ortaya çıkacaktır. Motor yağının durumu ve hatta dolaylı olarak yakıt sisteminin durumu motor yağı viskozite ve yoğunluğu üzerinden dolaylı olarak kestirilebilir ve gerekli kararlar verilebilir.

Bu konuda yapılan çalışmalara örnek olarak; Abusaad vd. [2] elektriksel parametrelerin ölçümlerine dayalı olarak madeni yağ bozulmasını teşhis etmek için uygun maliyetli yeni bir yöntem geliştirdikleri çalışmada, yağın bozulmasına bağlı olarak yağ viskozitesindeki değişiklik, bir dişli kutusu transmisyon sisteminin hem statik güç tüketiminde hem de dinamik davranışında değişikliklere neden olduğu bu çalışmada tespit edilmiştir. Bu değişiklikler, bir değişken hız sürücüsü (VSD) tarafından beslenen 10 kW'lık bir dişli kutusu ile deneysel olarak doğrulanmıştır. Spesifik olarak, yağ viskozitesindeki artışın, viskoz sürtünme ve çalkalama etkisinden dolayı güç tüketiminde ölçülebilir bir artışa yol açtığı bulunmuştur. Aynı zamanda, etki, sönümleme etkisini azalttığı ve atalet momentlerinin dengesizliğini artırdığı için dişli şanzıman sisteminin dinamiklerini de değiştirmiştir. Dinamik davranışlardaki değişiklik üzerine oluşturulan bir sistemin yağ viskozitesi değişikliklerini ayırt edebiliyor oluşu bu sistemin beklenen tam performansını uzmanlara verebileceğini [2] göstermiştir.

Seçilmiş toplu taşıma araçlarından periyodik olarak yağ numunelerinin alındığı bir çalışmada, bu numuneler, aracın ve motor yağının özellikleriyle birlikte a laboratuvara gönderilmiştir; araç numarası, marka, model; araç cinsi; motor; ekipman kilometre sayısı; yağın kilometre sayısı;

numune tarihi; numune teslim tarihi. Çalışmada birçok değişken için değerler toplanmış olsa da, yalnızca yağın bozulması için daha önemli olduğu düşünülen, kurum (karbon maddesi), viskozite, toplam baz sayısı (Total Base Number, TBN), aşınma ve kirlenme metalleri, parçacık değişkenlerine odaklanılmıştır. En önemli kabul edilen değişkenlerden biri kurum veya karbonlu maddeler ve metal aşınma parçacıkları olmuştur. Çalışma, kurum ve demir içeriği gibi bazı değişkenlerin dizel motorların durumunu gözlemlememize olanak sağladığını öne sürmüştür. Yağ durumunun izlenmesinin ekipmanın kullanılabilirliğini artırabileceğini ve bozulmaya erken müdahaleye izin vererek arıza önlemenin gerçekleştirilebileceği saptanmıştır [3].

Mevcut yağlama yağı durum izleme çözümlerinin kapsamlı bir incelemesinin ve sınıflandırmasının araştırıldığı bir çalışmada, tekniklerin değerlendirilmesi ve incelenmesiyle yağ analiz teknikleri dört kategoride sınıflandırılmıştır. Bu teknikler elektriksel (manyetik), fiziksel, kimyasal ve optik teknikler olarak sıralanabilir. Her tekniğin karakteristiği ve algılama yöntemi, yağın durumunu izlemek ve yağdaki değişiklikleri teşhis etmek için bir takım özelliklere göre değerlendirilmiştir ve bu teknikler arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır [4]. Guan [5] yağlama yağının oksidasyon oranını ölçmek için dielektrik sabitini dielektrik spektroskopisi adı verilen analitik bir yöntemle birleştirmiştir. Dielektrik spektroskopisi, dielektrik malzeme için güçlü bir yapısal algılama tekniği olan radyo frekansı ve mikrodalga aralığında dielektrik malzeme ile elektromanyetik enerji arasındaki etkileşim üzerine analitik bir tekniktir. Bu teknik oksidasyon süresini, toplam asit sayısını (TAN) ve çözünmeyen içeriği (IC) tespit etme yeteneğine sahiptir.

Viskozite çeşitli çalışma koşullarından bağımsız olması nedeniyle genellikle yağlayıcı bozunma karşılaştırma standardı olarak kabul edilir. Agostonet [6], otomotiv uygulamaları için viskoziteyi elektriksel olarak ölçmek için bir mikro akustik sensör kullanmıştır. Bu sensör küçüktür ve dayanıklı olduğu için ağır endüstriyel ortamlarda kullanılabilir.

Schmitgal ve Moyer'in [7] dizel motorları üzerindeki araştırması, bir kinematik viskozimetrenin yağlayıcı kurum partikülü, su kirliliği ve oksidasyon bozulma tespiti yapabildiğini göstermiştir. Kinematik viskozimetrelerin veri işleme karmaşıklığı düşük ve bakım maliyeti ile tüm yağ temel bozunma özelliklerini anlık olarak izleyebilir. Sensörlü ve alıcılı bir sistem geliştirilmiştir. Turner ve Austin'in [8] çalışması temiz hidrolik sıvıdaki katı parçacıklar tarafından saçılan ultrasonu algılamıştır. Bu teknik, anlık durum izlemeyi mümkün kılmıştır.

Kuntner [9] madeni yağdaki su kirlenmesi ve bozunma süreçlerinin artan bir termal iletkenliğe yol açtığını tespit etmiştir. Bu çalışma, yağ durumu izlemede termal iletkenlik sensörlerinin potansiyelini göstermiştir.

Mann [10], kimyasal reaksiyona bağlı oksidasyonun etkilerinin yanı sıra yanmanın yan ürünlerinin bir motor içinde nispeten yüksek asidik bileşikler ürettiğinden bahsetmiştir. Bu bileşikler, dahili motor bileşenlerinde korozyona, tortulara ve yağ viskozitesinde, vernikte, çamurda ve diğer çözünmeyen oksidasyon ürünlerinde değişikliklere neden olur ve bu da motorun belirli bir süre boyunca performans ve dayanıklılığında azalmaya neden olabileceğini belirtmiştir.

İnce film kirlenme izleme yaklaşımının incelendiği bir çalışmada, yağlama yağındaki partikül kirlenmesini izlemek için bir elektrik devresinin parçasını oluşturan ince bir metalik film kullanılmıştır [11]. Halderman [12], film tabakası yağ akışına maruz kalır ve yağ bozunurken katı parçacıklar tarafından sürekli olarak aşınır. Sonuç olarak, direnç yükselir. Bu teknik, sık bakım gerektiren partikül boyutuna ve konsantrasyonuna bağlıdır.

Kumar ve Mukherjee [13] çalışmalarında yağın görsel şeffaflığını kaydetmek ve daha sonra onu dirence dönüştürmek için ışığa bağımlı dirençli (LDR) bir optik sensör geliştirmişlerdir. Sensör, altı silindireli bir benzinli motorda test edildi. Araştırmacılar, direnç verilerini çalışma saatleri,

viskozite ve oksidasyon (pH ölçümü ile ölçeklendirilmiş) ile ilişkilendirdi ve tasarlanan sensörün etkinliğini kanıtladı.

Turner ve Austin'in [8] gerçekleştirdikleri çalışmaya göre yağ bozulduğunda nitrat bileşiği oluşur. Bu bileşik kızılötesi (IR) radyasyonu emer. Bu etki, IR emilimini ölçen ve yağ durumuyla ölçümü ilişkilendirmeye çalışan bir sensörde kullanılmıştır. Anlık olarak yağ bozulmasını izleyebilse de bu teşhis sistemi için tekrarlanabilirlik sorunlarının üstesinden gelmek ve üretim maliyetini azaltmak için gelecekte bazı iyileştirmelere ihtiyaç duyabileceği öngörülmüştür.

Yakıt enjektörlerinin zamanla aşınması veya kurum yapması sonucu yakıtın tam olarak atomize edilmeden püskürtülmesi sonucunda yakıtın silindir duvarlarına sıvaşması ve tam olarak yanmaması, özellikle ağır dizel motorlarında yaygın bir arıza ve endişe kaynağıdır. Bu durumda yakıt motor yağına karışır ve motor yağının seyrelmesi durumu ortaya çıkar. Yakıt ile seyrelen motor yağı bozulur, yağlama performansını kaybeder. Bu da motorda aşınmalara ve gittikçe şiddetlenen arızalara yol açar. Bu çalışmanın amacı motor yağının yakıt seyrelmesiyle karşılaştığı durumda yağın viskozite ve yoğunluk davranışının sıcaklığa ve yakıt seyrelmesine bağlı olarak nasıl değiştiğini gözlemlemek ve anlamlandırmaktır. Ayrıca motor yağı yoğunluk ve viskozite değerleri üzerinden kestirimci bakım sağlayabilmektir.

2. Metot

Bu çalışmada ticari bir 10W-40 motor yağı ve motor yağının seyreltilmesi için ESOGÜ Makine Mühendisliği Yakıt Laboratuvarında üretilmiş Ayçiçek yağı biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Deney kapsamında 200 ml' lik şişelerde ağırlıkça %100 motor yağı, %1 oranında biyodizel seyreltilmiş motor yağı, %2 oranında biyodizel seyreltilmiş motor yağı, %5 oranında biyodizel seyreltilmiş motor yağı, %10 oranında biyodizel seyreltilmiş motor yağı olarak hazırlanmış ve 10 dakika süreyle 100 °C de karıştırılmıştır. Numunelerin viskoziteleri ve yoğunlukları 40 °C, 60 °C, 80 °C ve 90 °C sıcaklıklarda ölçülmüş ve değerleri kaydedilmiştir. Hazırlanan numunelerin viskozite değerleri Anton Paar Automated Micro Viscometer AMVn cihazında, Şekil 1, ölçülmüştür. Kullanılan cihaz, Höppler'in düşen top prensibine göre şeffaf ve opak sıvılar içinde bir topun yuvarlanma süresini ölçen düşen bir top viskozimetresidir. Yoğunluk değerleri ise Anton Paar DMA 4500 Density Meter (Şekil 1) cihazıyla elde edilmiştir.



Şekil 1. Anton Paar Automated Micro Viscometer AMVn ve Anton Paar DMA 4500 Density Meter

3. Bulgular

Dinamik viskozite ölçüm değerleri Tablo 1’de, kinematik viskozite ölçüm değerleri Tablo 2’de ve yoğunluk ölçüm değerleri de Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1. Dinamik viskozite (mPa.s) ölçüm değerleri tablosu

Sıcaklık (°C)	Motoryağı	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	81,6551	80,0676	78,3498	69,8538	57,5583
60	36,2392	35,5120	35,0161	31,3752	27,1283
80	19,2342	19,0373	18,6689	16,9379	15,2411
90	14,7202	14,5134	14,2519	13,0857	11,9401

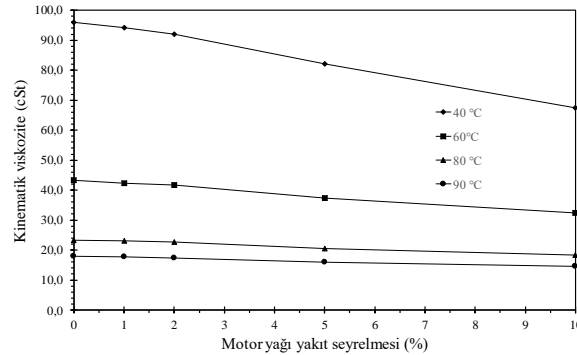
Tablo 2. Kinematik viskozite (mm²/s) ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)	Motoryağı	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	95,9903	94,0943	92,0636	82,0169	67,5075
60	43,2366	42,3574	41,7559	37,3911	32,2983
80	23,2964	23,0517	22,6010	20,4937	18,4247
90	17,9659	17,7092	17,3870	15,9554	14,5468

Tablo 3. Yoğunluk (g/cm³) ölçüm değerleri

Sıcaklık (°C)	Motoryağı	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	0,85066	0,85093	0,85104	0,85170	0,85262
60	0,83816	0,83839	0,83859	0,83911	0,83993
80	0,82563	0,82585	0,82602	0,82649	0,82721
90	0,81934	0,81954	0,81969	0,82014	0,82081

Şekil 2’de motor yağı biyodizel yakıt seyrelmesi (%) nin kinematik viskoziteye etkisi farklı ölçüm sıcaklıklarında sunulmuştur. Şekil incelendiğinde yakıt seyrelme miktarı arttıkça viskozitenin azaldığı her sıcaklıkta gözükmektedir. En yüksek seyrelme etkisi 40 °C deki ölçümlerde gözükmektedir ve sıcaklık arttıkça seyrelmenin viskozite üzerine etkisinin azaldığı gözükmektedir.

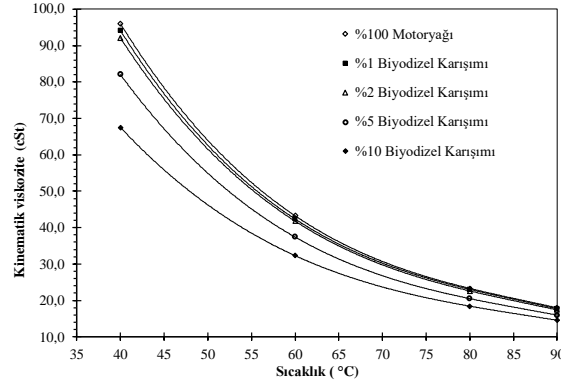


Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda motor yağı yakıt seyrelmesinin (w-%) kinematik viskozite (cSt) üzerine etkisi

Şekil 3’te ise farklı yakıt seyrelme oranlarında sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değerleri gösterilmiştir. Beklenildiği gibi sıcaklık yükseldikçe viskozite değerleri düşmektedir. Motor

yağının içine Biyodizel yakıtının motor yağına karıştırarak motor yağının seyrelmesiyle motor yağının viskozite değeri de şiddetle azalmaktadır. Çok düşük oranda (%1) seyrelme olsa bile viskozite üzerinden anlamlı bir şekilde anlaşılabilir. Karışım oranına bağlı sıcaklık-kinematik viskozite değerleri üçüncü dereceden polinom denklemleri kullanılarak regresyon katsayıları Excel programı kullanılarak grafik noktaları üzerinden belirlenmiştir. Karışım oranına bağlı sıcaklık-kinematik viskozite regresyon formülasyonu aşağıda Denklem 1’de verilmiştir.

$$y = A x^3 + B x^2 + C x + D \quad (1)$$



Şekil 3. Farklı yakıt seyrelme oranlarındaki motor yağı kinematik viskozite (cSt) değerlerinin sıcaklığa (°C) bağlı olarak değişimi regresyon değerleri

Tablo 4’te sıcaklık-kinematik viskozite regresyon katsayıları verilmiştir. Regresyon denklemleri kullanılarak kinematik viskozite değerleri 40 °C’den 100 °C sıcaklıklar için hesaplanabilir. Tablo 5’deki değerler bu katsayıları ve Denklem 1 formülasyonu uygulanarak yeniden hesaplanmıştır. Tablo 5’de hesaplanan viskozite değerleri görülmektedir.

Tablo 4. Kinematik viskozite regresyon denklemleri katsayıları

Test numuneleri	A	B	C	D	R ²
%100 Motor yağı için	-0,000511	0,133020	-12,054087	398,055861	1
%1 Biyodizel seyrelmesi	-0,000523	0,134756	-12,084406	395,360118	1
%2 Biyodizel seyrelmesi	-0,000488	0,126767	-11,483888	379,818585	1
%5 Biyodizel seyrelmesi	-0,000433	0,112514	-10,195554	337,497812	1
%10 Biyodizel seyrelmesi	-0,000329	0,085974	-7,853890	265,190924	1

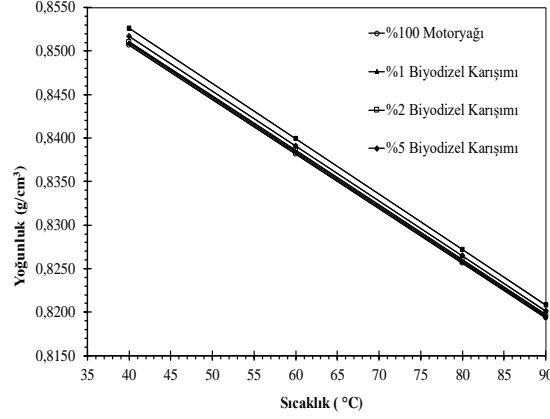
Tablo 5. Denklem 1 formülasyonu ve Tablo 4 katsayıları kullanılarak hesaplanan kinematik viskozite (mm²/s) değerleri

Sıcaklık (°C)	Motoryağı	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	95,9916	94,1215	92,0583	81,9861	67,537724
60	43,2418	42,4494	41,7385	37,2870	32,399924
80	23,3097	23,2700	22,5603	20,2471	18,665324
90	17,9852	18,0202	17,3294	15,6044	14,889224
100	11,6672	11,4795	11,0998	10,0824	10,541924

Şekil 4’de farklı seyrelme seviyelerinde sıcaklığa bağlı yoğunluk değerleri ölçüm sonuçları sunulmuştur. Seyrelme oranı arttıkça orantılı olarak yoğunluk da artmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak farklı seyrelme grafikleri Denklem 2’deki gibi bir doğru denklemleri kullanılarak sıcaklık-yoğunluk regresyon denklemleri elde edilmiştir.

$$y = A x + B \quad (2)$$

Regresyon denkleminin katsayıları Tablo 6’da verilmiştir. Elde edilen bu sabit katsayı değerleri regresyon denklemlerinde kullanılarak yoğunluk değerleri 40 °C, 60 °C, 80 °C, 90 °C ve 100 °C sıcaklıklarda tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 7’de hesaplanan yoğunluk değerleri olarak sunulmuştur.



Şekil 4. Karışım oranına bağlı sıcaklık-yoğunluk regresyon grafiği

Tablo 6. Yoğunluk regresyon denklemleri katsayıları

	A	B	R ²
%100 Motor yağı için	-0,0006	0,8757	1
%1 Biyodizel Seyrelmesi için	-0,0006	0,8760	1
%2 Biyodizel seyrelmesi için	-0,0006	0,8762	1
%5 Biyodizel seyrelmesi için	-0,0006	0,8770	1
%10 Biyodizel seyrelmesi için	-0,0006	0,8781	1

Tablo 7. Hesaplanan yoğunluk (g/cm³) değerleri

Sıcaklık (°C)	Motoryağı	% 1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	% 10 Biyodizel Seyrelmesi
40	0,85170	0,85200	0,85220	0,85300	0,85410
60	0,83970	0,84000	0,84020	0,84100	0,84210
80	0,82770	0,82800	0,82820	0,82900	0,83010
90	0,82170	0,82200	0,82220	0,82300	0,82410
100	0,81570	0,81600	0,81620	0,81700	0,81810

Farklı oranlarda yakıt seyreltilmiş motor yağlarının seyreltilmemiş motor yağı viskozitesine nispet hangi oranda düştüğünü ve sıcaklığa bağlı nasıl değişim gösterdiğini incelemek için viskozite oranları Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu relatif kinematik viskozite bozulma oranları Tablo 8 de listelenmiştir.

$$\text{Kinematic viskozite oranı} = \frac{\text{Yakıt seyreltilmiş motor yağı viskozite değeri (A)}}{\text{Motor yağı viskozite değeri (B)}} \quad (3)$$

Tablo 8. Kinematik viskozite oranları

Sıcaklık (°C)	Motoryağı viskozite (cSt)	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	95,9916	0,9805	0,9590	0,8541	0,7036
60	43,2418	0,9817	0,9652	0,8623	0,7493
80	23,3097	0,9983	0,9679	0,8686	0,8008
90	17,9852	1,0019	0,9635	0,8676	0,8279
100	11,6672	0,9839	0,9514	0,8642	0,9036

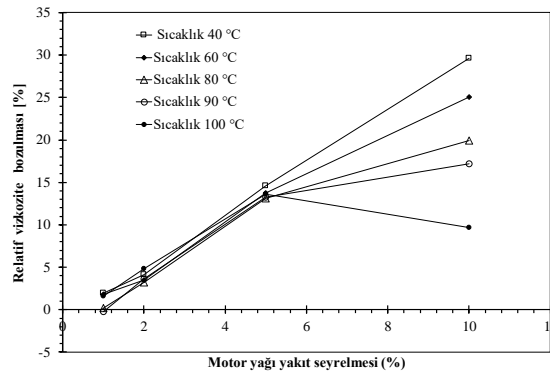
Denklem 3'te verilen viskozite oranı bir tam değerinden çıkartılarak ve yüz ile çarpılarak yüzde relatif bozulma değeri Denklem 4'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Formül üzerinde A değeri değişen sıcaklıklara karşılık gelen seyreltilmiş motor yağı viskozitelerini temsil ederken B değeri değişen sıcaklıklara karşılık gelen motor yağı viskozitelerini temsil etmektedir. Tablo 9'da relatif bozulmanın Denklem 4 formülasyonu ile hesaplanmış yüzdelik cinsinden değerleri sunulmaktadır.

$$y = \left[1 - \left(\frac{A}{B} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

Tablo 9. Kinematik Viskozite için Relatif Bozulma (%)

Sıcaklık (°C)	Motoryağı viskozite (cSt)	%1 Biyodizel Seyrelmesi	%2 Biyodizel Seyrelmesi	%5 Biyodizel Seyrelmesi	%10 Biyodizel Seyrelmesi
40	95,9916	1,9482	4,0976	14,5904	29,6420
60	43,2418	1,8327	3,4766	13,7711	25,0727
80	23,3097	0,1702	3,2148	13,1388	19,9247
90	17,9852	-0,1943	3,6467	13,2380	17,2142
100	11,6672	1,6083	4,8630	13,5830	9,64450

En yüksek bozulmanın %10 Biyodizel seyrelmesi için 40 C'de yaklaşık %30 olduğu gözlemlenmektedir. Bu sapmanın sıcaklık yükseldikçe %9 seviyesine kadar düşmüştür. Yani düşük sıcaklıklarda viskozite bozulması daha iyi gözlemlenmektedir. Farklı sıcaklıklarda relatif viskozite bozulmasının yakıt seyrelmesine bağlı grafiği Şekil 5'de verilmiştir.

**Şekil 5.** Motoryağı yakıt seyrelmesinin sıcaklığa bağlı relatif viskozite bozulmasına etkisinin grafiği

Farklı yakıt seyrelmeleri için tüm sıcaklıklar %5 yakıt seyrelme seviyesine kadar ortak davranış göstermişler ve tüm sıcaklıklarda seyrelme oranının üç katı kadar (% Relatif viskozite

bozulması/%Motor yağı yakıt seyrelmesi) viskozite değerlerinde bozulma ortaya çıkmıştır. Fakat relatif viskozite bozulumunda %5 yakıt seyrelme oranını geçtikten sonra, grafiklerde sıcaklığa bağlı saçılma gözlemlenmiş olup, relatif viskozite bozulumu değişikliği görülmüştür. Bu durumlarda yakıt seyrelme oranı %5'i geçtikten sonra sıcaklığa bağlı bozulma ortak davranışı değişmiştir. Sıcaklık arttıkça bozulmadaki artış oranı düşmüştür. En yüksek bozulma oranı tüm seyrelme miktarlarında 40 °C de gözlemlenmiştir, üç oranı korunmuştur. Bu sebeple %5 seyrelme oranı, bozulma oranındaki kritik değer olarak ortaya çıkmıştır. Bu seyrelme oranından sonra motor yağında seyrelmeden dolayı yapısal değişikliklerin olabileceği değerlendirilmiştir.

4. Sonuç

Raylı sistemler gibi karmaşık mühendislik yapılarını içeren sistemlerde gerçekleşen arızalar maddi ve zamansal açıdan büyük kayıplara yol açabilmektedirler. Bu arızaların gerçekleşmeden önce tespit edilmesi daha büyük kayıpların meydana gelmesini önleyecektir. Bu arızaların oluşumu kestirimci bakım yöntemlerinden olan titreşim, ultrasonik ve termal kamera ile görüntüleme ve yağ analizi gibi uygulamalarla tespiti mümkündür.

Bu çalışmada yağ analizi ile kestirimci bakım uygulaması kapsamında motor yağına belirli oranlarla karıştırılan biyodizel yakıtın yağın ayırt edici özelliklerinden olan viskozite ve yoğunluk değerlerine etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmada, yakıt seyrelmesinin motor yağının yoğunluğunu arttırırken viskoziteyi de düşürdüğü gözlemlenmiştir. Viskozite düşüşünde ki fark yoğunlukta ki artıştan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Viskozite düşüşü %5'e kadar tüm seyrelme oranlarında sıcaklığa bağlı ortak davranış göstermiştir. Yakıt seyrelme oranı %5'e çıktığında, viskozitedeki bozulma oranı da tüm sıcaklıklar için %15'e çıkmıştır. Yakıt seyrelmesi %5 oranını geçtikten sonra, relatif bozulma sıcaklığa bağlı olarak saçılma göstermiştir. Viskozite bozulumunda davranış değişikliği görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda bozulma oranında düşme gözlemlenmiştir. Bu durum, yakıt seyrelme oranının %5'i geçmesi hali motor yağının karakteristiğinin bozulması olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle, motor yağı yakıt seyrelme oranı ve sıcaklığa bağlı viskozite parametrelerinin izlenmesiyle yağın durumu gözlemlenebilir ve yağın karakteristiğinin davranış değişikliği takip edilerek motordaki aşınma kontrol altına alınırken, yakıt sisteminin arızası da tespit edilebilir. Dolayısıyla gerçekleşmeden önce arızaların önüne geçilebilir. Teşhis ve kestirimci bakım gözüyle ise; yağın viskozite değerleri üzerinden tanımlı bozulma hızı ile bilgi edinilebilecektir.

Teşekkür

Viskozite ve yoğunluk ölçümlerinde destek veren Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Cansel TUNCER'e teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Moslojistik, "Demiryolu taşımacılığının avantajları," 2016. [Online]. Available: <http://www.moslojistik.com/demiryolu-tasimaciliginin-avantajlari>. [Accessed: 08-April-2022].
- [2] S. Abusaad, K. Brethee, M. Assaeh, R. Zhang, F. Gu, and A.D. Ball, "The detection of lubricating oil viscosity changes in gearbox transmission systems driven by sensorless variable speed drives using electrical supply parameters," *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-9, 2016, doi: 10.1088/1742-6596/628/1/012078
- [3] H. Raposa, J. T. Farinha, I. Fonseca, and D. Galarb, "Predicting condition based on oil analysis – A case study," *Tribology International*, pp. 65-74, 2019, doi: 10.1016/j.triboint.2019.01.041
- [4] J. Zhu, D. He, and E. Bechhoefer, "Survey of lubrication oil condition monitoring, diagnostics, and prognostics techniques," *Journal of Chemical Science and Technology and Systems*, pp. 100-115, 2013.
- [5] L. Guan, X.L. Feng, G. Xiong, and J.A. Xie, "Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation," *Sensors and Actuators A*, Vol. 168, pp. 22 – 29, 2011, doi: 10.1016/j.sna.2011.03.033

- [6] Agostonet Agoston, C. Otsch, and B. Jakoby, “Viscosity sensors for engine oil condition monitoring- Application and interpretation of results,” *Sensors and Actuators A Physical*, vol. 121, no. 2, pp. 327 – 332, 2005, doi: 10.1016/j.sna.2005.02.024
- [7] J. Schmitgal and S. Moyer, “Evaluation of sensors for on-board diesel oil condition monitoring of U.S. Army ground equipment,” *TACOM/TARDEC*, Report No. 14113, 04 JAN 2005.
- [8] J.D. Turner and L. Austin, “Electrical techniques for monitoring the condition of lubrication oil,” *Measurement Science and Technology*, vol. 14, no. 10, pp. 1794 – 1800, 2003, doi: 10.1088/0957-0233/14/10/308.
- [9] J. Kuntner, R. Chabicovsky, and B. Jakoby, “Oil condition monitoring using a thermal conductivity sensor,” *Proceedings of the GMe Forum*, Vienna, Austria, March 17 - 18, 2005, pp. 203 – 209.
- [10] D. Mann, “*Motor oils and engine lubrication*”, USA, Motor Oil Engineers, L.L.C., pp. 4, 2003.
- [11] B.C. Sharma and O.P. Gandhi, “Performance evaluation and analysis of lubricating oil using parameter profile approach,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 60, no. 3, pp. 131 – 137, 2008, doi: 10.1108/00368790810871057.
- [12] J. D. Halderman, *Automotive Technology*, New York: McGraw-Hill. A 1996
- [13] S. Kumar, P.S. Mukherjee, and N. M. Mishra, “Online condition monitoring of engine oil,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 57, no. 6, pp. 260 – 267, 2005 doi: 10.1108/00368790510622362
- [14] J.D. Turner and L. Austin, “Electrical techniques for monitoring the condition of lubrication oil,” *Measurement Science and Technology*, pp. 1794 – 1800, 2003, doi: 10.1088/0957-0233/14/10/308

Özgeçmiş



Mustafa Ertunç TAT

Lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimlerini Amerika Birleşik Devletleri Iowa Eyalet Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümlerinde tamamlamıştır. Aynı üniversitede doktora sonrası çalışma da gerçekleştirmiştir. Halen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi (Doç. Dr.) olarak görevine devam etmektedir. İlgi alanına giren araştırma konuları termodinamik, sürdürülebilir enerji, verimlilik, pistonlu motorlar, egzoz emisyonları, motor test ve en iyileştirme, alternatif ve çevre dostu yakıtlar ve makine yağlarıdır. E-Posta: metat@ogu.edu.tr



Emine DORU

Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldum. 2018-2019 yılları arasında Osmangazi Üniversitesi'nde İş Sağlığı ve Güvenliği tezsiz yüksek lisans programını bitirdim. Osmangazi Üniversitesi'nde 2019 yılında başladığım Raylı Sistemler yüksek lisans programını 2022 senesinde tamamladım. Raylı Sistemler yüksek lisans öğrenimim boyunca ağır hizmet dizel motor yağı yakıt seyreltmesi viskozite ölçümü ile incelenmesi konusu üzerine çalıştım. Bakım, kontrol ve sinyalizasyon, kalite kontrol alanlarında iş arayışım mevcut. E-Posta: E-Posta: doruemine@gmail.com

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayım etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Emine DORU: Uygulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Görselleştirme. Mustafa Ertunç TAT: Kavramsallaştırma, Doğrulama, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme.