

## Yönlendirilmiş Yakıt Enjeksiyona Sahip Yeni Bir Yanma Odası için Yağlama Yağı Element Analizi

İlker Temizer <sup>1\*</sup>, Ömer Cihan <sup>2</sup>

<sup>1</sup>İmalat Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü / Hendek Meslek Yüksekokulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

\*(ilktemizer@gmail.com)

**Özet** – Bu çalışmada, farklı yanma odalarına sahip tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yağlama yağına ait element analizleri gerçekleştirilmiştir. Motor, su pompası olarak kullanılan bir dinamometreye sabit 1800 d/d hızında çalışacak şekilde bağlanarak yeni geliştirilen yanma odası (YYO) ve standart yanma odası (SYO) ile aynı şartlar altında (püskürtme basıncı 200 bar, yakıt türü, gaz pozisyonu ve dinamometre vb.,) yaklaşık 100 saat çalıştırılmıştır. Ardından, 50. ve 100. saatlerde yağlama yağından alınan numunelerdeki kalıntı elementleri (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Ni ve Zn), İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Yağlama yağından alınan 50. ve 100. saatler numuneleri için, önemli aşınma göstergeleri olarak kabul edilen Fe (demir) ve Al (alüminyum) gibi elementlere, yeni yanma odasına sahip motor yağında daha az rastlanmıştır. Buna paralel olarak, yeni yanma odası geometrisi ile çalışan motorda hem 50. saat, hem de 100. saat yağ numunelerinde Cr, Cu, Mn, Mg, Ni ve Mo elementlerine daha az rastlanmıştır. Diğer taraftan Zn, P, Co ve Ca gibi elementler ise, yeni yanma odasını sahip motorda daha fazla tespit edilmiştir. Bu sonuç, farklı yanma dinamiğine maruz kalan motor parçaları için zamana bağlı olarak, aşınma seviyelerinin de değişebileceğini göstermektedir. Özellikle yanma odası türüne bağlı olarak değişen farklı basınç, sıcaklık ve is oluşumlarının, yağlama yağı element dağılımları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Yanma Odası, Yağlama Yağı, Yağ Kalıntısı, Uzun Süreli Dayanım Testleri, Dizel Motor

### I. GİRİŞ

Performans ve verimin daha yüksek olduğu ve bunun yanı sıra katı emisyon standartlarına paralel olarak düşük emisyon değerlerine sahip motorlar elde etmek için çeşitli kurum ve kuruluşlarca araştırma geliştirme faaliyetlerine yönelik birçok çalışma yürütülmektedir [1,3]. Bu özelliklerin iyileştirilmesi, motor performansı ve enerji ekonomisi yönünden son derece önemlidir. Motorlarda iyi bir yanmanın elde edilebilmesi için yanma odasının tasarımı en etken parametrelerden biridir. Yanma odasındaki yakıt-hava karışımı, akış, türbülans ve ısı transferi yanmayı doğrudan etkilemektedir. Bu amaçla yapılan çalışmaların birçoğu, yanma odalarında yanma karakteristiğinin incelenmesini içermektedir [4,5]. Zhou ve arkadaşları, yanma odasında havanın etkisini

geliştirmek için yeni bir Separated Swirl Yanma Sistemi (SSCS) önermiştir. Tek silindirli bir dizel motorda Double Swirl Yanma Sistemi (DSCS) ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak farklı hızlarda, geliştirilen SSCS geometrisi ile diğer geometriye göre daha yüksek termal verim ve daha düşük özgül yakıt tüketimi sağlanmıştır [6]. Blank ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, farklı bir yanma odası geometrisi oluşturulmuştur. Piston oyuğuna ilaveten iki küçük odacık konularak türbülans oluşturulduğu belirtilmiştir. İçten yanmalı pistonlu motorlarda türbülans şiddetinin kimyasal kinetik etkiden daha önemli olduğu vurgulanmıştır. Oluşturulan yanma odası geometrisi ile türbülans artırılarak, motorun veriminin arttığı görülmüştür [7].

Sushma ve Jagadeesha çalışmasında, direkt püskürtmeli tek silindirli dizel motor için hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanmışlardır. Yapılan araştırmada motor performansına direkt etkisi olan swirl yoğunluğunu araştırmak için helical-spiral hava emiş sistemi kullanılmıştır. Silindir içindeki hava hareketlerinin etkilerini görmek için farklı tiplere sahip piston çanak geometrileri kullanılmıştır. Pistonların silindir içi basınç, silindir içi sıcaklık ve swirl oranları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, swirl oranı yüksek olan piston tipinde daha yüksek silindir içi basınç elde edilmiştir [8]. Bir diğer çalışmada, silindir içindeki havanın kullanımını geliştirmek, ısıl yükü azaltmak ve emisyonlarda ilerleme kaydetmek için yatay girdap yanma (LSCS) sistemi kullanılmıştır. Bir dizel motoru farklı hava fazlalık katsayılarında hesaplamalı akışkan dinamiği ile incelenmiş ve LSCS ve DSCS çanak geometrileri emisyon ve yakıt tüketimi bakımından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, LSCS'nin yakıt tüketimi her bir hava fazlalığı oranında 4-5 g/kWh daha düşük olduğu görülmüştür. Yakıt tüketiminde iyileşme sağlandığı, is emisyonlarında ise azalmaların gerçekleştiği tespit edilmiştir. Tasarlanan yeni piston çanak geometrisi yanma verimini yükseltmiş ve silindir içi sıcaklıkları ise arttırmıştır [9]. Li ve arkadaşlarının yaptığı başka çalışmada, AVL FIRE programı kullanılarak LSCS (Lateral Swirl Yanma Sistemleri) ve DSCS (Double Swirl Yanma Sistemleri) analiz edilmiştir. LSCS geometrisiyle yakıt tüketimi ve is emisyonlarının azaldığını rapor etmiştir [10]. Wei ve arkadaşları tarafından, sprey dağılımını iyileştirmek, karışım kalitesini artırmak ve yanma odasında hava akımı hareketini arttırmak için yeni bir swirl oluşumu önerilmiştir. AVL FIRE ile yapılan modellemede 0,8 swirl oranında NO<sub>x</sub> ve is emisyonları yeni yanma odası geometrisi ile daha iyi bir motor performansı elde edilmiştir [11]. Yanma odası içerisindeki hava/yakıt karışım oluşumları da motorlarda çalışma düzenini oldukça değiştirmektedir. Bu doğrultuda yapıla bir başka çalışmada, %20 oranında karanja biyodizel karışımının motor üzerindeki etkisi 200 saatlik bir dayanıklılık testinde incelenmiştir. Biyodizel yakıtlı motorun yağlama yağı, dizel ile karşılaştırıldığında yoğunluğu, karbon kalıntısı ve kül içeriği bakımından yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 100 saat sonra ise demir, alüminyum, bakır, krom ve magnezyum gibi aşınma belirtisi metallerinin

artmasıyla yağlama yağının önemli ölçüde bozulduğunu ifade etmişlerdir [12]. Balakumar ve ark., atık biyodizel ile kirlenmiş yağlayıcının silindir gömleği-piston halkası tribo çifti malzemesinin tribolojik davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Test yakıtı olarak atık yağdan B10, B15 ve B20 oranlarında karışımlar hazırlamıştır. Pim morfolojisinin aşınma yüzeylerini Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanarak incelemiştir. Dizel yakıtı, pim yüzeyinde diğer tüm biyodizel yakıt karışımlarından daha büyük aşınma çizgisi göstererek, pim yüzeyindeki bu aşınma çizgileri sürtünme yükünü ve yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Biyodizel karışımlarının daha az aşındırıcı çizgiler gösterdiğini ve biyodizelin daha iyi yağlama özelliğine sahip olduğunu bildirilmiştir [13].

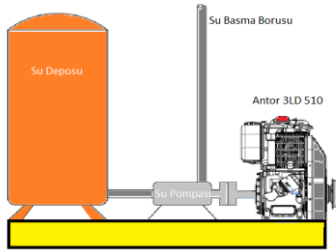
Erkan, motor yağına hacimsel olarak %2,5, %5 ve %10 oranlarında kenevir tohumu yağı (KTY) ilave ederek; tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda motor performans, egzoz emisyon ve yağlama yağında meydana gelen aşınma elementleri etkilerini araştırmıştır. Hazırladığı bu karışımları (KTY2,5, KTY5, KTY10 ve MY100) motorun 100 saatlik çalışma periyodunda değerlendirmiştir. Motor testlerinde ilk olarak MY100 daha sonra ise KTY2,5, KTY5 ve KTY10 alternatif yağlama yağlarını teste tabi tutmuş ve her 20 saatte bir numune alarak aşınma elementlerini tespit etmiştir. Alternatif yağlama yağlarının 100 saat sonundaki aşınma element sonuçları MY100 ile karşılaştırıldığında, aşınma elementleri olan Fe, Cr, Cu, Pb ve Ni miktarının sırası ile arttığını gözlemlemiştir [14].

Yapılan tüm bu araştırmalar ışığında tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoruna, geliştirilen yeni yanma oda geometrisine sahip piston ve standart yanma odasına sahip piston sırasıyla takılarak uzun süreli teste tabi tutulmuştur. Çalışmada her iki piston için aynı çalışma koşulu uygulanarak çanak geometrisinin etkisi incelenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Motorda, iki farklı yanma odası ile toplamda 200 saatlik bir dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Her bir yanma odası için toplamda 100 saatlik çalışma periyodu belirlenmiştir. Bu değer üretici firma tarafından belirlenen yağ değişim süreleri baz alınarak belirlenmiştir. Motor, su pompası olarak

kullanılan bir dinamometreye sabit 1800 d/d motor hızında olacak şekilde bağlanarak (Şekil 1), her iki yanma odası eşit şartlar altında (200 bar püskürtme basıncı, aynı yakıt türü, gaz pozisyonu ve dinamometre üzerinde) test edilmiştir. Yanma odası geometrisi dışında bütün motor parametreleri sabit tutulmuştur. Her bir yanma odası değişiminde, motor yağı, yağ filtresi, segmanlar ve motor silindirleri yenisi ile değiştirilerek, bu elemanlar üzerindeki değişimler analizler için deneyler sonunda hazır hale getirilmiştir. Motor deneylerinde aynı marka ve modele ait 15W-40 dizel motor yağı kullanılmıştır.



Şekil 1. Kısmi yüklemeye yapılan uzun süreli motor test düzeneği

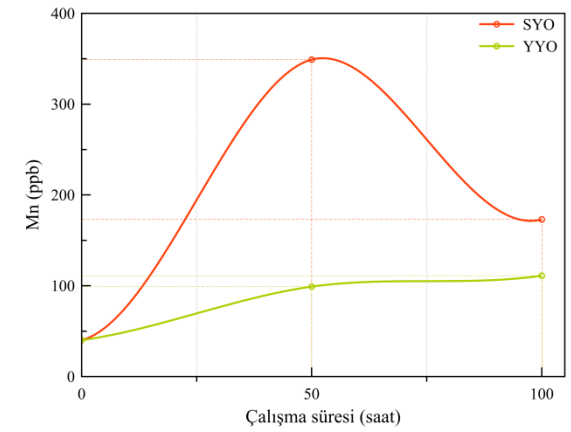
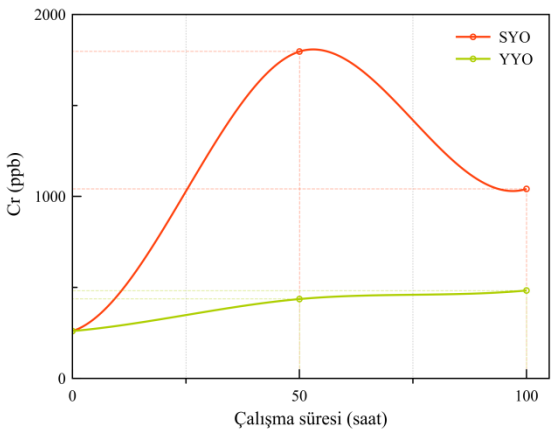
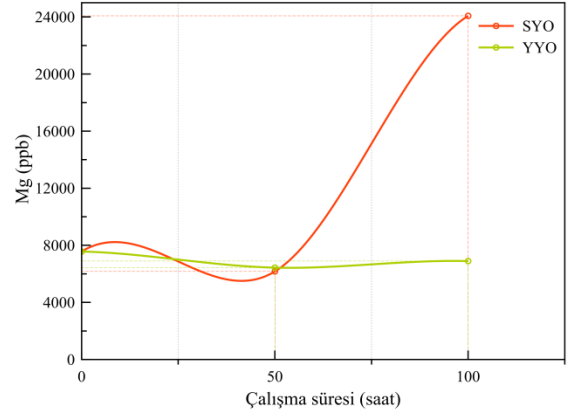
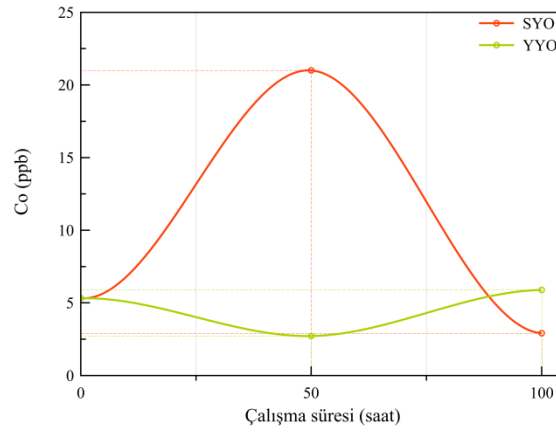
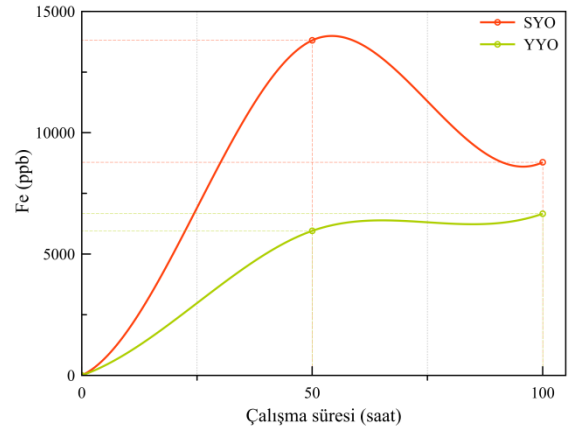
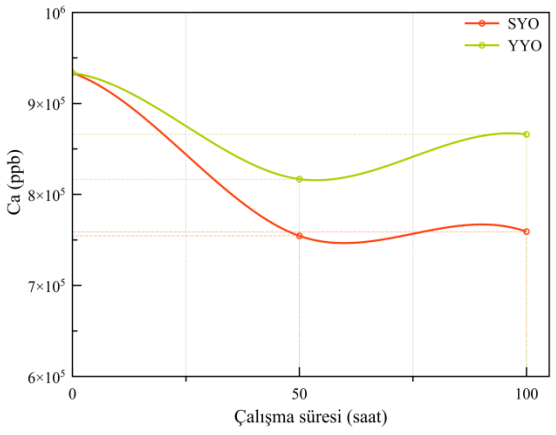
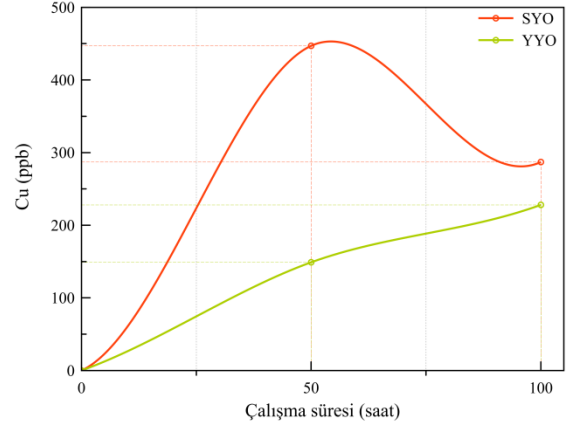
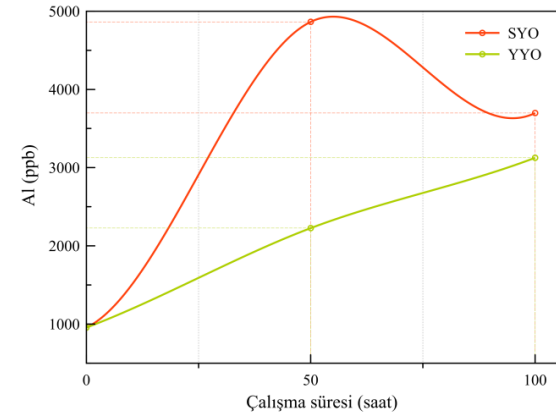
Motor yağlama yağından 50. saatte ve 100. saatte numuneler alınarak, alınan numunelerdeki element tayini Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (CÜTAM) merkezinde ICP-MS cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Motor yağı, organik bileşenler ve yüksek karbon içeriğinden dolayı ICP-MS cihazına direk verilememektedir. Bu yüzden mikro dalga cihazında yüksek basınç ve sıcaklık altında asit ile parçalama işlemine tabii tutulmuştur. İlk olarak Milistone Ethos Easy Marka Cihazda, EPA3051(for oil) yöntemi kullanılarak parçalama işlemi yapılmıştır. EPA3051(for oil) yöntemine göre: numunelerden yaklaşık 0.25 g tartılarak üzerine 10 mL Nitrik Asit (HNO<sub>3</sub>) eklenerek cihazda 180°C parçalama işlemi uygulanmıştır.

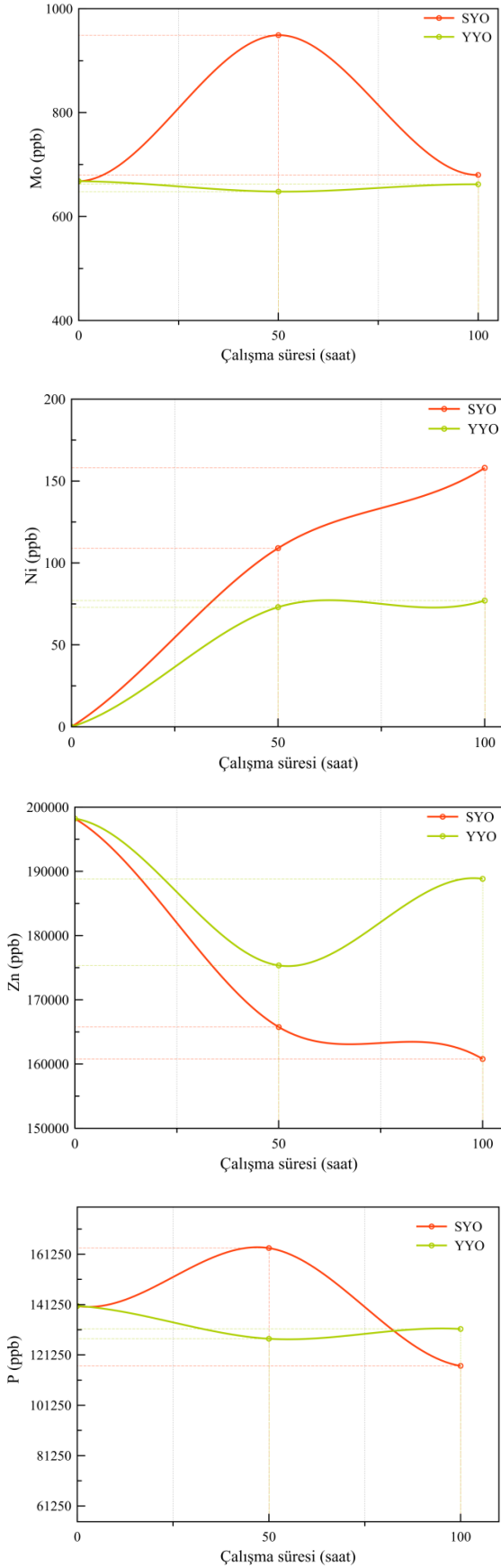
Ardından parçalama işlemi biten örnekler 50 mL ultra saf su ile seyreltilmiş ve Thermo Scientific ICP-MS iCAP Q cihazında element analizine hazır hale gelmiştir. Burada farklı çalışma aralıkları için iki farklı yanma odasının kullanıldığı motora yağlama yağına ait Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Mn, Ni ve Zn element miktarları belirlenmiştir.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt türü, püskürtme basınçları, avans değerleri, yanma odası şekli, karışım oluşumları gibi birçok parametre yanma süreçlerini ve egzoz oluşumlarını doğrudan etkilemektedir. Şekil 2’de, farklı zaman aralıklarında Standart yanma odası (SYO) ve Yönlendirilmiş enjeksiyon yapısına sahip yeni yanma odası (YYO) kullanılan motorlarda, yağlama yağındaki element değişimleri görülmektedir. Yağlama yağı içerisindeki Fe elementinin büyük bir bölümünün silindir duvarları, segmanlar ve krank mili gibi parçaların aşınması sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. İlk 50 saatlik aşınma kalıntısı Fe içeriğine bakıldığında, SYO çalışmasında (YYO ya kıyasla) daha fazla olduğu ve bu durumun 100. saat sonuna da yansıdığı görülmektedir. Benzer şekilde Al, Cr, Cu, Mn, Mg, Ni ve Mo elementleri de hem 50. saat hem de 100. saat numunelerinde SYO odasında (YYO’ya kıyasla) daha fazla bulunmuştur. Bu sürede Ca, P ve Zn elementlerinin ise YYO ile çalışmış motor yağında daha fazla bulunduğu görülmektedir. Mg elementi için 50. saat numunelerinde her iki çalışma yağında çok yakın değerlerde olduğu, Co elementinde ise 50. saate kadar SYO’nda (YYO ya kıyasla) çok daha fazla olduğu, ancak farkın 50. saat sonrasında çalışma süresine bağlı olarak farkın azaldığı görülmektedir. Günümüz motor yağlama yağlarına %20-25 oranlarına kadar katkı maddelerinin ilave edildiği bilinmektedir [15]. Bunlar deterjanlar, dispersanlar, oksidasyon inhibitörleri, aşınma önleyiciler vb., gibi birçok özelliği yağa katarlar. Çinko (Zn), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), fosfor (P) gibi elementler yağlama yağı içerisinde var olan katkı maddeleridir ve yağda organometalik halde bulunarak aşınma ve oksidasyon önleyici elementler olarak bilinir [16]. Bu organometalik bileşiklerin yağlama yağı içerisinde tükenme düzeyleri, yağın yağlama davranışlarında birtakım olumsuzluklara neden olabilir. Çünkü bu elementler metal yüzeylerle bağ yaparak, yağlayıcı film tabakalarının oluşmasına katkı sağlarlar [15]. Bu elementlerin dışında aşınma belirtisi olarak, SYO çalışması yağlama yağında daha fazla tespit edilen Cu, Cr, Al, Fe, Ni gibi elementlerin piston, duvar, valf, yatak ve dişlilerden kaynaklı olduğu söylenebilir. Özellikle 100. saat numunelerinde Fe ve Al gibi motor parçalarında yüksek oranlarda

bulunan metal elementlerinin varlığı, motor aşınmaları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.





Şekil 2. Farklı çalışma saatleri ve yanma odaları için, yağlama yağında tespit edilen elementler ve değişimleri

Özellikle dizel motorların yanma aşamasında, kısmi oksidasyona uğrayan karbon partikülleri eksik yanma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Silindir içerisindeki yakıt zerrecikleri çevreleyen hava moleküllerinin bağlanma süresi, şekli ve yerel sıcaklıklar, karbon oluşumlarını önemli ölçüde belirler. Yanma odasının şekline bağlı olarak karışım oluşumunun iyileşmesi, yakıt zerreciklerinin duvar yardımıyla buharlaşma dereceleri, karbon (C) partiküllerinin YYO kullanılan motorlarda seviyesini düşürmüştür. Ancak, özellikle yağlama yağı üzerinde katı kirleticilerin etkisinin yanı sıra sıcaklık artışları, ani basınç değişimleri gibi birçok faktöründe yağlama yağını zayıflatarak, malzeme yorulmalarına neden olduğu söylenebilir. Oluşan bu durumların 100 saatlik çalışma sonunda, yağlama element miktarları üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 3'te, 100 saatlik çalışma sonunda, farklı yanma odaları kullanılmış motora ait piston görüntüleri sunulmuştur.



a.



b.

Şekil 3. Uzun süreli motor testleri sonunda SYO (a) ve YYO'ya (b) sahip piston görüntüleri

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeni yanma odası (YYO) geometrisi ve standart yanma odası geometrisine sahip pistonların her biri sırasıyla tek silindri ve direkt püskürtmeli bir dizel motora takılarak sabit rejimde çalıştırılmıştır. Uzun süreli teste tabi tutulan her bir piston toplamda 100 saat çalıştırılmış 50. ve 100. saatlerde motor yağından numuneler alınmıştır. Yanma odası geometrisi dışında bütün motor parametreleri sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 50. ve 100. saatlerde alınan yağ numunelerine göre YYO geometrisine sahip piston SYO'ya göre daha düşük Fe ve Al elementine rastlanılmıştır.
- Cr, Cu, Mn, Mg, Ni ve Mo elementleri ise 50. ve 100. saatlerde YYO ile daha düşük olduğu görülmüştür.
- YYO ile çalışmış motor yağında Ca, P ve Zn elementleri daha fazla miktarda görülmüştür.
- 50. saat yağ numunelerinde her iki piston için Mg elementi birbirine yakın bulunmuş, Co elementi ise SYO'da daha yüksek oran elde edilmiştir. 100. saatte ise her iki element iki yağ numunesinde de birbirine yakın değerler elde edilmiştir.
- SYO'ya sahip piston ile çalışma sonrası yağlama yağında daha fazla tespit edilen Cu, Cr, Al, Fe, Ni gibi elementlerin piston, duvar, valf, yatak ve dişlilerden kaynaklı olduğu sonucuna varılabilir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 120M143 numaralı proje kapsamında finansal olarak desteklenmiştir. Yazarlar bu katkısından dolayı, TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

#### KAYNAKLAR

[1] Temizer, İ., Cihan, Ö., Eskici, B. 2020. "Numerical and experimental investigation of the effect of biodiesel/diesel fuel on combustion characteristics in CI engine", *Fuel*, 270, 1-9.

[2] Kalay, İ. 2011. "Dizel motorlarda piston çanağının incelenmesi". Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, 1-133, İstanbul.

[3] Temizer, İ., Eskici, B., 2020. "Investigation on the combustion characteristics and lubrication of biodiesel and diesel fuel used in a diesel engine", *Fuel*, 278, 1-9.

[4] Sakthisaravanasenthil, K., Senthilkumar, S., Sivakumar, G. 2016. "A study on effect of piston bowl shape on engine performance and emission characteristics of a diesel engine", *Innovative Design and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering*, 579-588.

[5] Raj, A. R. G. S., Mallikarjuna, J. M., Ganesan, V. 2013. "Energy efficient piston configuration for effective air motion – A CFD study", *Applied Energy*, 102, 347-354.

[6] Zhou, H., Li, X., Zhao, W., Liu, F., 2019. "Effects of separated swirl combustion chamber geometries on the combustion and emission characteristics of DI diesel engines", *Fuel*, 253, 488-500.

[7] Blank, D. A., Pouring, A. A., Lu, J. 2001. "Qualitative flow field studies of combustion in I .C. engines using a simplified sonex bowl-in piston geometry", *SAE Technical Paper*, 2001-01-0021, 279-290.

[8] Sushma, H., Jagadeesha, K. B. 2013. "CFD modeling of the in cylinder flow in direct injection diesel engine", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3 (12), 1-7.

[9] Li, X., Zhou, H., Su, L., Chen, Y., Qiao, Z., Liu, F. 2016. "Combustion and emission characteristics of a lateral swirl combustion system for DI diesel engines under low excess air ratio conditions", *Fuel*, 184 (15), 672-680.

[10] Li, X., Chen, Y., Su, L., Liu, F. 2018. "Effects of lateral swirl combustion chamber geometries on the combustion and emission characteristics of DI diesel engines and a matching method for the combustion chamber geometry", *Fuel*, 224, 644-660.

[11] Wei, S., Wang, F., Leng, X., Liu, X., Ji, K. 2013. "Numerical analysis on the effect of swirl ratios on swirl chamber combustion system of DI diesel engines", *Energy Conversion and Management*, 75, 184-190.

[12] Dhar, A., and Agarwal, A. K. 2014. "Experimental investigations of effect of Karanja biodiesel on tribological properties of lubricating oil in a compression ignition engine", *Fuel*, 130, 112-119.

[13] 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", *Department of Mechanical Engineering, Sri Chandrasekharendra Saraswathi Viswa Mahavidyalaya University*, 13220-13226.

[14] Erkan, M. F. (2020). Tek silindri bir dizel motorda kenevir yağının yağlama yağı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, *Yozgat Bozok Üniversitesi, Makine Mühendisliği, (Yüksek Lisans Tezi) Yozgat*.

[15] Özkan, D. 2016. "Motor yağları katkı maddelerinin segman-silindir yüzeylerinin aşınmalarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi". Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, 1-337, İstanbul.

[16] Kpan, J. D. A., Krahl, J. 2019. "The impact of adsorbents on the oxidative stability of biodiesel and its influence on the deterioration of engine oil". *Fuel*, 256, 1-10.