

## AĞIR FUEL OİLİN VİSKOZİTESİNİN SICAKLIKLA VE MANGAN KATKI MADDELERİYLE İNCELENMESİ

Metin GÜRÜ<sup>a\*</sup>, İbrahim BİLİCİ<sup>b</sup>, Deniz ARSLAN<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Gazi Üniversitesi, Müh. Fak., Ankara, 06570 Ankara,

<sup>b</sup>Ankara Üniversitesi, Müh Fak, 06100 Ankara,

[mguru@gazi.edu.tr](mailto:mguru@gazi.edu.tr); [ibilici@eng.ankara.edu.tr](mailto:ibilici@eng.ankara.edu.tr); [denizarslan@gazi.edu.tr](mailto:denizarslan@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 01.11.2010; Kabul/Accepted: 21.06.2011)

### ÖZET

Sıvı yakıtlarda, özellikle 6 numara fuel oilde, yanma problemlerinin ana sebebi akışkanın yüksek viskozitesidir. İlk ateşleme, pulverizasyon ve yanma problemlerinin giderilmesi için ana depodaki serpantinler, eşanjörler, tankın günlük olarak ısıtılması ve brülörlerdeki elektrikli ısıtıcılar vasıtasıyla viskozite azaltılır. Yakıttaki kesikli yanma ve köpürme buhar ve elektrikli ısıtıcılarla aşırı ısıtmadan kaynaklanır. Bununla beraber, katkı maddeleriyle viskozitenin azaltılmasının daha ekonomik olmasının yanı sıra yanma verimliliğini arttırdığı, emisyonu azalttığı, korozyonu ve yakıt polimerizasyonunu önlediği bilinmektedir. Bu çalışmada ağır fuel oil viskozitesinin sıcaklık ve katkı maddesi dozlaması ile azaltılması ve aynı zamanda viskozitedeki bu azalmaya bağlı olarak pulverizasyondaki iyileşme ve alevlenme noktasındaki azalma incelenmiştir. Arrhenius denkleminin

uygun olarak oluşturulan modellere göre katkısız fuel oilin viskozitesi sıcaklığa bağlı  $\mu = -19,1e^{\left(\frac{-8086,2}{T}\right)}$  olarak

değişirken bu değerler katkı maddesi konsantrasyon artışına ve sıcaklığa bağlı olmak üzere  $\mu = -18,7e^{\left(\frac{-7946,6}{T}\right)}$ ,

$\mu = -18,5e^{\left(\frac{-7852,4}{T}\right)}$  ve  $\mu = -18,4e^{\left(\frac{-7816,9}{T}\right)}$  olarak bulunmuştur. Arrhenius denklemindeki A ve B sabitleri 6 numara fuel oilde  $-19,1$  ve  $-8086,2$  iken mangan katkı maddesinin fuel oildeki konsantrasyonu %0,5'e yükseltildiğinde A ve B sabitlerinin de sırasıyla  $-18,4$  ve  $-7816,9$ 'a yükseldiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fuel oil, viskozite, mangan katkı maddesi, pulverizasyon, Arrhenius eşitliği.

## INVESTIGATION OF VISCOSITY OF HEAVY FUEL OIL WITH MANGANESE ADDITIVE AND TEMPERATURE

### ABSTRACT

The main reason of combustion problems in liquid fuels, especially in number 6 fuel oil, is the high viscosity of the fluid. In order to resolve the problems of first ignition, pulverization and combustion, viscosity is lowered by means of main tank serpentines, heat exchangers, daily heating of drum and electrical heaters in burners. Batch combustion and foaming of fuel are caused by excess heating with stream and electrical heaters. However, it is known that the reduction of viscosity with additives is not only more economical but also increases the combustion efficiency, reduces the emission, prevents corrosion and fuel polymerization. In this study, the reduction of the viscosity of the heavy fuel oil with temperature and additive ratio and meanwhile, the improvement of the pulverization and the lowering of the ignition point due to this viscosity reduction were investigated. According to the models that are formed in accordance with Arrhenius equation, while the viscosity

of the pure fuel oil varies as  $\mu = -19,1e^{\left(\frac{-8086,2}{T}\right)}$  depending on the temperature, these values were found as  $\mu =$

$-18,7e^{\left(\frac{-7946,6}{T}\right)}$ ,  $\mu = -18,5e^{\left(\frac{-7852,4}{T}\right)}$  ve  $\mu = -18,4e^{\left(\frac{-7816,9}{T}\right)}$  depending on the additive concentration increment and

temperature. While the constants A and B in Arrhenius equation were  $-19,1$  and  $-8086,2$  for number 6 fuel oil, it was determined that when the concentration of the manganese additive in fuel oil was raised to %0,5, the constants A and B were also raised to  $-18,4$  and  $-7816,9$ , respectively.

**Key Words:** V Fuel oil, viscosity, manganese additive, pulverization, Arrhenius equation.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan enerji ihtiyacı mevcut enerji kaynaklarının daha iyi değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Fuel-oil'in enerji tüketimindeki payı büyüktür ve yanma tüketiminde sağlanacak en küçük bir tasarruf değerinin toplam tüketimde büyük rakamlara ulaşacağı muhakkaktır [1]. Günümüzde enerji tüketiminin %90'dan fazlasını fosil yakıtlar oluşturmaktadır ve bu benzer senaryo gelecekte de uzun süre bu şekilde devam edecek gözükmektedir [2]. Yüksek viskozite brülörlerde tıkanıklığa yol açıp yanma verimliliğini düşürdüğü gibi pompalama için gereken enerji miktarını artırır. Yüksek viskozitedeki yakıtlar, yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite pompalanma ve enjektörlerde püskürtme güçlüğü yaratmakta ve harcanan enerji miktarını artırmaktadır [3, 4]. Örnek olarak Küba enerji santrallerinde fuel oil kullanılırken bunun yerini yerli petrol almıştır. Bu durum beraberinde bazı atomizasyon ve yanma proseslerinde ilave gereklilikleri de zorunlu kılmaktadır. Yakıtın kinematik viskozitesi sıcaklıkla üstel olarak hızla değişmekte, 50°C'da  $1,456 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  iken 80°C'da  $0,255 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  seviyesine düşmektedir. Brülör ve kazan üreticileri salyangoz brülörlerde rahat bir atomizasyon ve verimli bir yanma sağlamak için viskozite değerinin  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  civarında olması gerektiğini belirtmektedir ki bu da yaklaşık 130°C'a kadar yakıtın ön ısıtılması anlamına gelmektedir. Bu değerler asfalta yakın daha ağır petrol ürünleri kullanıldığında daha da artmakta, dolayısıyla daha fazla enerji kaybına yol açmaktadır [5]. Bu tür sorunları çözmek için üreticiler döner başlıklı [6], çift akışkanlı [7], döner basınçlı [7] fanlı [8], ultrasonik [9] ve sıklıkla kullanılan "Y" tipi nozulların yanında [10, 11], kimyasal katkı maddeleri sayesinde yakıtın istenen özelliklerinin sağlanabileceğini belirtmişlerdir [1, 4]. Sıvı yakıtların organik esaslı metal katkı maddeleriyle performans özelliklerinin geliştirilmesine ilişkin literatürde pek çok çalışma mevcuttur [12-15].

Bu çalışmada 6 numara ağır sanayi fuel oilin viskozitesinin sentezlenen organik esaslı mangan katkı maddesiyle düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yakıt içerisine %0,1 ile %0,5 arasında değişen değerlerde katkı maddesi dozlanmış ve farklı sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucunda katkı maddesi konsantrasyonunun ve sıcaklığın fuel oilin viskozite üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu sıcaklıklarda elde edilen verilerin Arrhenius denkleminin uygun olarak modellenmesiyle A ve B sabitleri belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada yakıt olarak yüksek viskoziteden dolayı büyük problemlerin yaşandığı 6 numara ağır fuel oil seçilmiştir. Geri soğutucu donanımlı bir litrelik reaktörde manyetik karıştırıcı ısıtıcı manto yardımıyla abietik asit ve mangan dioksitin, katalizör eşliğinde reaksiyona sokulmasıyla organik esaslı mangan bileşiği sentezlendi. Alkol ve hidrokarbon bileşikleri ile çözelti haline dönüştürülen katkı maddesi değişik konsantrasyonlarda fuel oile dozlanarak bir gün bekletildi. Değişik sıcaklıklarda Brookfield DV-III marka reometre ile katkısız ve katkılı fuel oilin viskoziteleri ölçüldü. Viskozite değerleri, karıştırma çubuğunun (spindle) numune içerisinde kendi eksenine etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetlerinin reometre ile ölçülmesiyle belirlendi. Ölçümlerde SC4-29 BS no.'lu spindle kullanıldı. Katkılı ve katkısız fuel oil numunelerinin viskozite deneyleri, 20°C, 40°C ve 70°C sıcaklıklarda yapıldı ve sonuçlar mPa.s cinsinden verildi. Her bir ölçüm, ASTM D 4402-02'de belirtildiği gibi, 3 dakika süre ile gerçekleştirildi ve 1'er dakika aralıklarla ölçümler kaydedildi. Konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak elde edilen grafikler bu viskozite ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak çizildi. Daha sonra Arrhenius Modellemesi gerçekleştirilerek katkısız fuel oilin ve değişik oranlarda mangan katkılı fuel oilin sıcaklık karşısındaki viskozite davranışları temel alınarak eşitlikler hesaplandı.

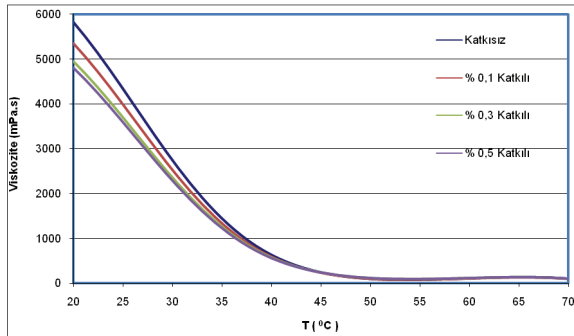
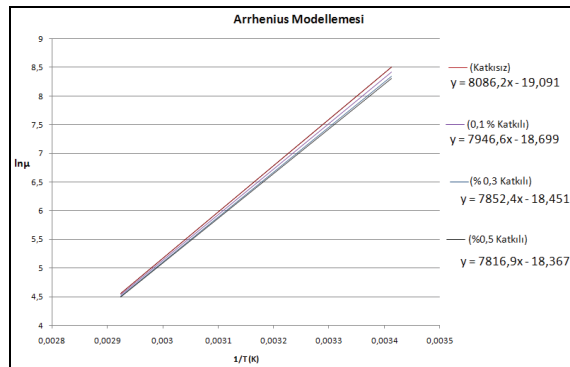
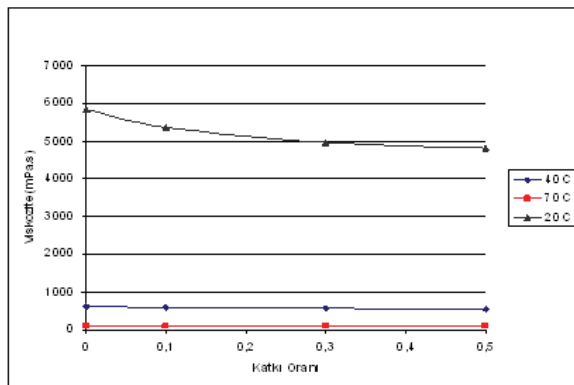
## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 1'de görüldüğü gibi katkı maddesi ilavesi, oda sıcaklığında fuel-oil'in viskozitesinin azalmasında etkili olmaktadır. Sıcaklık arttıkça katkılı ve katkısız viskozite değerlerinde üstel olarak bir azalma kaydedilmektedir. Benzer şekilde, katkı maddesi dozunun artması ile viskozite değerleri logaritmik olarak azalmakta, azalan viskozite değeri farkının bir önceki farka göre daha fazla azalma gösterdiği kaydedilmiştir. Sıcaklığa göre viskozite değişimi, logaritmik olarak  $1/T$ 'ye karşılık grafiğe geçirildiğinde ise doğrusal bir artış gözlenmektedir (Şekil 2). Her bir doğru denkleminin eğim ve kayma değerleri yardımıyla Arrhenius modeli çıkarıldığında

fuel oilin sıcaklıkla değişimi  $\mu = Ae^{\left(\frac{B}{T}\right)}$  şeklinde modellenilebilmekte, hesapla bulunan değerler deneysel değerlerle uyumluluk göstermektedir. Tablo 1'den de görüldüğü gibi katkı maddesi konsantrasyonunun artmasıyla A ve B sabitleri yükselmektedir.

**Tablo 1:** Katkı oranlarına göre hesaplanan A ve B sabitleri (Calculated A and B constants related to additive ratios)

%Katkı	0,0	0,1	0,3	0,5
A	-19,1	-18,7	-18,5	-18,4
B	-8086,2	-7946,6	-7852,4	-7816,9

**Şekil 1:** Katkılı ve katkısız Fuel oilin viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi (Variation of viscosity of Fuel oil with and without additive related to temperature)**Şekil 2:** 1/T ye bağlı olarak viskozitenin logaritmik değişimi (Logarithmic variation of viscosity versus 1/T)**Şekil 3:** Fuel oilin viskozitesinin değişik sıcaklıklarda katkı oranlarına göre değişimi (Variation of viscosity of fuel oil at different temperatures related to additive ratios)

Şekil 3'te farklı sıcaklıklardaki fuel oilin viskozitesinin katkı oranlarına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada düşük sıcaklıklarda katkı

maddesinin fuel oilin viskozitesi üzerine etkisi, yüksek sıcaklıklardakine oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla katkı maddesinin düşük sıcaklıklarda daha fazla etkili olduğunu, çevre sıcaklığına yakın sıcaklıklarda pompalama ve ön ısıtma maliyetlerini düşürebileceğini söylemek mümkündür. Diğer taraftan katkı maddesi ile daha iyi pulverizasyon sağlanarak hava-yakıt buharı karışımının ilk ateşlemeyi kolaylaştırdığı bilinmektedir [4].

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada 6 numara fuel oilin viskozitesi Arrhenius denkleminde uygun olarak

$\mu = -19,81e^{\left(\frac{-8086,2}{T}\right)}$  şeklinde modellenmiştir. Daha sonra mangan katkı maddesi ile değişik miktarlarda dozlanmış katkı fuel oilin sıcaklıkla değişimi modellenmiştir. Bu modellerle yüksek sıcaklıklarda ulaşılabilecek viskozite düşüşlerinin sağlanabileceği daha düşük sıcaklıktaki katkı maddesi konsantrasyonları teorik olarak hesaplanabilmektedir.

İlk tutuşturma, pulverizasyon, yakıtın buharlaşma güclüğü, polimerleşme, karbonlaşma, verim düşüklüğü gibi birçok yanma probleminin sebebini oluşturan viskozite değerinin yüksekliği, ısıtarak yüksek maliyetle aşılabileceği gibi, mangan esaslı katkı maddeleriyle ekonomik olarak çözüm getirilebilmektedir. Bu durum TS 11630 standardında aranan özellikleri karşılayabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan katkı maddesi düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklara nazaran daha fazla etki göstermiştir. Sıcaklık arttıkça akışkanın viskozitesi azalır, dolayısıyla akışkan hale gelir ve yukarıda bahsettiğimiz sorunlarla yüksek sıcaklıkta daha az karşılaşılır. Bu sorunlar genel olarak düşük sıcaklıktaki yakıtlarda karşılaşıldığından ve düşük sıcaklıktaki akışkanın ön ısıtılması sırasında daha çok enerji kaybı olacağından yapılan çalışma sonucunda viskozitedeki azalma etkisinin düşük sıcaklıklarda daha fazla olması olumlu bir gelişmedir. Yapılan çalışmalara ek olarak bu ve benzeri katkı maddelerinin daha düşük sıcaklıklarda test edilmesi literatüre olumlu yönde katkı sağlayacaktır. Diğer taraftan akışkanlığı artırmak üzere yapılan depolama sıcaklıklarını sürekli olarak yüksek sıcaklıklarda tutmak suretiyle uçucu hidrokarbonların kaçmasına, polimerleşme reaksiyonlarının hızlanmasına ve yakıtın yaşlanmasına sebep olmaktadır. Bu şekilde uzun süreli ısıtma işlemleri yakıtın katılaşmasına, tortu oluşumunun artmasına ve viskozitesinin yükselmesine yol açtığından viskozite düşüşü sıcaklık artışıyla değil, katkı maddelerinin dozlanmasıyla sağlanmalıdır. Ayrıca, yanma problemlerinin ve emisyon kirliliğinin organik esaslı katkı maddeleriyle azaltılması mümkün görünmektedir [12-15]. Diğer taraftan fuel-oil ya da benzeri bir yakıtın pompalandığı bir tesiste viskozitenin

düşürülebilmesiyle ön ısıtma ve pompalamadan kaynaklanan elektrik enerjisinden elde edilecek tasarruf görsel olarak elde edilecek olan ekonomik kazanca açıklık getirecektir.

##### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gürü, M., “Manganlı Bileşiklerin Fuel-Oil Yakıtına Etkileri”, **6. Enerji ve Enerji Tasarrufu Semineri**, 11-13 Ocak 1988, İstanbul.
2. EIA, International Energy Outlook 2000, Energy Information Administration, US Department of Energy, Washington, 2000.
3. Karasmanoğlu, F., Tetik E., “Fuel properties of pyrolytic oil of the straw and stalk of rape plant”, **Renewable Energy**, 16: 1090-1093, 1999.
4. M. Gürü., A. Alicılar., A. Murathan., Ş. Dursun, “Yakıt Püskürtmeli Güç Santrallerinde Yanma Sorunları ve Çözümleri”, **7th International Combustion Symposium**, Ankara, July 17-18, 338-345, 2002.
5. Ferreira G., García J.A., Barreras F., Lozano A., Linchetab E., “Design optimization of twin-fluid atomizers with an internal mixing chamber for heavy fuel oils” **Fuel Processing Technology**, 90, 270–278, 2009.
6. Fraser R.P., Dombrowski N., Routley J.H., “The filming of liquids by spinning cups”, **Chem. Eng. Sci.**, 18 (6) 323–337, 1993.
7. A. Mansour, N. Chigier, “Air-blast atomization of non-Newtonian liquids”, **J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, 58 (2-3), 161–194, 1995.
8. Radcliffe A., “The performance of a type of swirl atomizer”, **Proc. Inst. Mech. Eng.**, 169 93–106, 1955.
9. Dombrowski N., Hanson D., Ward D.E., “Some aspects of liquid flow through fan spray nozzles”, **Chem. Eng. Sci.**, 12 35–50, 1960.
10. Mullingen P.J., Chigier N.A., “The design and performance of internal mixing multijet twin fluid atomizers”, **J. Inst. Fuel** 47 251–261, 1974.
11. Bryce W.B., Cox N.W., Joyce W.I., “Oil droplet production and size measurement from a twin-fluid atomizer using real fluids”, **Proc. of the 1st Int. Conference on Liq. Atomization and Spray Systems**, Tokyo, 259–263, 1978.
12. Keskin A., Gürü M., Altıparmak D., “Influence of metallic based fuel additives on performance and exhaust emissions of diesel engine”, **Energy Conversion and Management**, 52(1), 60-65, 2011.
13. Keskin A., Gürü M., Altıparmak D., “Investigation of performance and emissions characteristics of tall oil biodiesel with Co based additive”, **Energy Sources Part A**, 32(20), 1899-1907, 2010.
14. Çaynak S, Gürü M., Biçer A., Keskin A., İçingür Y., “Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive”, **Fuel**, 88(3), 532-536, 2009.
15. Çelikten İ., Gürü M., Improvement of Performance and Emission Criteria of Petrodiesel and Rapeseed Oil Biodiesel with Manganese Based Additive, **J. of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26 (3), 643-648, 2011.