

PARAFİN KULLANILAN HİBRİT ROKET YAKITLARINA ALTERNATİF OLARAK BALMUMUNUN ARAŞTIRILMASI VE GELİŞTİRİLMESİ

Levent Hansu¹, Mervenur Tok², Umut Can
Gula³, Salih Can Aydın⁴, İbrahim Polat⁵, Salih
Durmaz⁶, Doğukan Yalçın⁷
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Özden Ağra⁸
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, gelişmekte olan hibrit roket motoru teknolojisinde sıvılaştırılan yakıtların önemi üzerinde durulmuş ve alternatif yakıt yelpazesinin genişletilmesi amaçlanmıştır. Yakın zamanda yapılan çalışmaların insanoğlunun uzaya dokunma hedefi doğrultusunda keşfedilmiş sistemlerin performansını güvenilirlik, maliyet, ulaşılabilirlik, çevreye duyarlılık gibi konular bakımından yeniden değerlendirmiş ve iyileştirme üzerine odaklanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda hibrit roket motoru teknolojisi, katı ve sıvı yakıtlı roket motorlarını geride bırakarak gözle görülür bir ilerleme kaydetmiştir. Geleneksel hibrit roket yakıtlarına alternatif olarak parafin yakıtı, sıvılaştırılan yakıt formunda olması sebebiyle keşfinin ardından yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve üzerinde yapılan çalışmalarla literatüre birçok katkı sağlanmıştır. Bu çalışmada, parafine benzer mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olan balmumunun hibrit roket yakıtı olarak kullanımı araştırılmıştır. Yapılan analiz ve sıcak akış testleri sonucunda elde edilen veriler parafin yakıtı ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Sıcak akış testleri Yıldız Roket Takımı bünyesinde geliştirilen 360 Newton itkiye sahip test ölçekli bir hibrit roket motoru ile gerçekleştirilmiştir.

GİRİŞ

Parafin bazlı yakıtlar, hibrit roket motorlarındaki düşük regresyon oranı sorununu çözmek için etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Günümüzde, hibrit roket sistemlerinde parafinden elde edilen yakıtlar yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak literatür incelendiğinde, balmumunun hibrit roket yakıtı olarak parafine iddialı bir alternatif oluşturduğu, ancak üzerine yapılan çalışmaların sınırlı olduğu ve geliştirilmesi gerektiği görülmektedir [Ishiguro, Sinohara, Sakio, & Nakagawa, 2011].

Balmumu, arıların bal veya polenle temas ettiğinde oluşturduğu petek benzeri yapıları üretmek için salgıladığı bir maddedir. Yapısında 300'den fazla bileşen bulunmaktadır. Esas olarak, balmumunun bileşiminde baskın olan bileşenler, zincir uzunluğu C27-C33 olan hidrokarbonlar (%12-16 oranında), zincir uzunluğu C24-C32 olan serbest yağ asitleri (%12-14 oranında), ve zincir uzunlukları genellikle C40-C48 olan lineer mum monoesterler ve hidroksimonoesterler (%35-45 oranında) gibi maddelerdir. Ayrıca, balmumu propolis kalıntıları, polen, çiçek bileşenleri gibi eksojen maddeler de içerebilir [Fratini, Cilia, Turchi, & Felicioli, 2016].

Balmumunun hibrit roket yakıtı olarak kullanılmasını sağlayacak pek çok iyi özelliği bulunmaktadır. Balmumu, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmeden uzun süreli depolanabilir, temin edilmesi kolaydır ve maliyeti düşüktür. Ayrıca, parafine kıyasla döküldüğü yüzeyden temizlenmesi daha kolaydır [Makled, 2019].

¹ Lisans Öğrencisi, Makine Müh. Böl., E-posta: levent.hansu@std.yildiz.edu.tr

² Lisans Öğrencisi, Kimya Böl. E-posta: mervenur.tok@std.yildiz.edu.tr

³ Lisans Öğrencisi, Makine Müh. Böl., E-posta: can.gula@std.yildiz.edu.tr

⁴ Lisans Öğrencisi, Makine Müh. Böl., E-posta: can.aydin2@std.yildiz.edu.tr

⁵ Lisans Öğrencisi, Makine Müh. Böl., E-posta: ibrahim.polat@std.yildiz.edu.tr

⁶ Lisans Öğrencisi, Mekatronik Müh. Böl., E-posta: salih.durmaz@std.yildiz.edu.tr

⁷ Lisans Öğrencisi, Bilgisayar Müh. Böl., E-posta: dogukan.yalcin@std.yildiz.edu.tr

⁸ Prof. Dr., Makine Müh. Böl., E-posta: oagra@yildiz.edu.tr

Balmumu, parafine benzer regresyon oranlarına sahiptir ancak çevre dostu bir yakıttır. Balmumu üretimi, arılar tarafından gerçekleştirilen doğal bir süreçtir, bu nedenle sürdürülebilir bir yakıt kaynağı olarak görülmektedir. Diğer yandan, parafin petrolden elde edilir ve üretim süreci çevresel etkilere yol açabilir [Hossain, Khan, Ketata, & Islam, 2010]. Bu nedenle, balmumunun performansını artırmak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, projenin amacı, performansı artırılmış bir hibrit roket yakıtı elde etmektir.

YÖNTEM

Yakıt dökümü

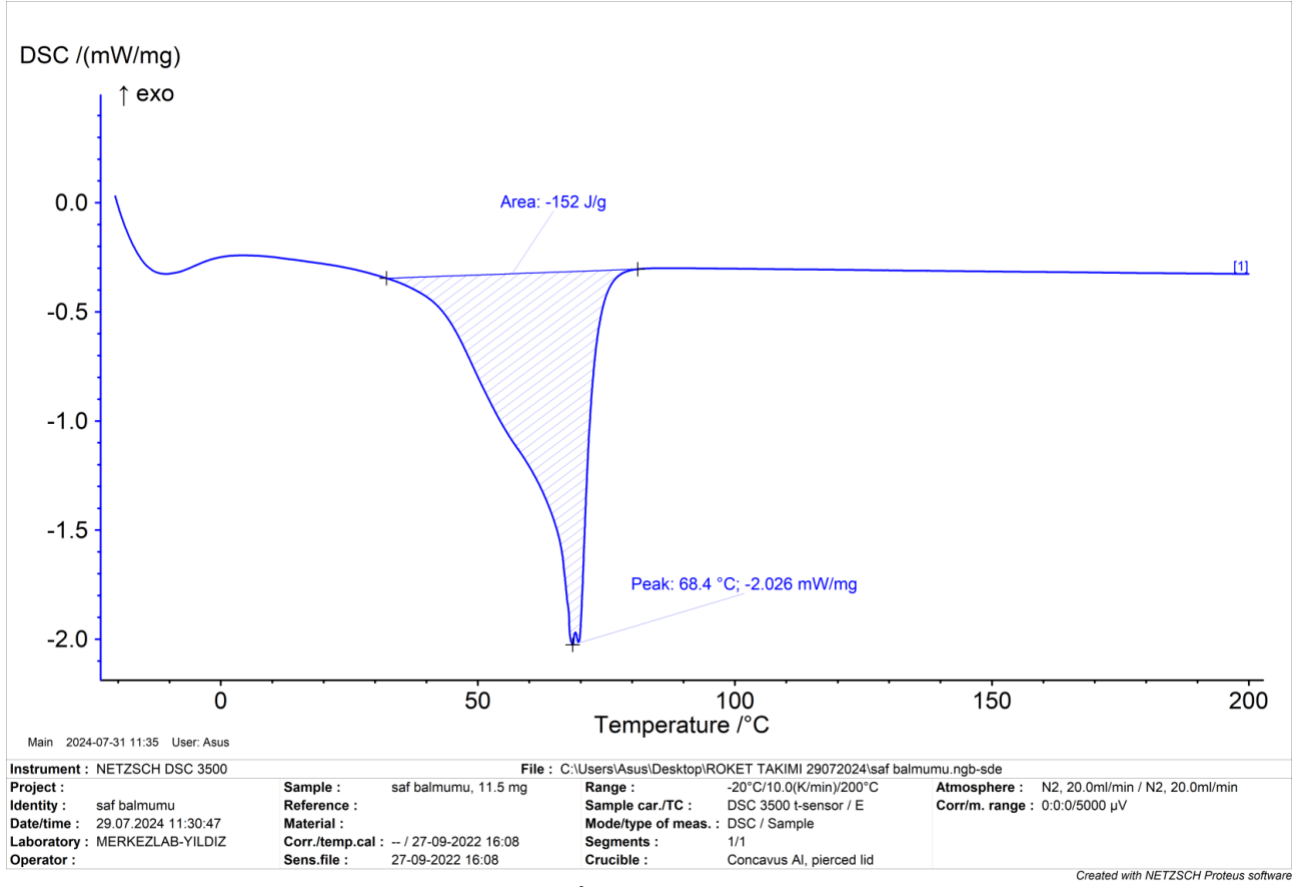
Oda sıcaklığında kristal halde olan parafin mumu, 20°C ile 40°C aralığında viskoelastik bir malzeme gibi davranır. Parafin mumunun kristalleşmesi, çekirdeklenme ile başlar. Bu çekirdekler, erimiş mumdan diğer atomları ve molekülleri etkili bir şekilde çeken küçük kristallerdir. Bu süreç, kristal yapının büyümesini sağlayan kristalleşme hızı olarak adlandırılan bir oranda gerçekleşir. Çekirdeğin rastgele yönlendirilmiş olması önemlidir, bu nedenle kristallerin anizotropisi, mumu yarı izotropik bir malzeme olarak tanımlar [Mózes, 1983]. Naoumov ve diğerleri, alüminyum katkı maddeleri içeren ve içermeyen parafin ve balmumu gibi biyo-türetilmiş yakıtların değerlendirilmesine odaklanmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmalar, yakıtın saflık derecesinin regresyon oranı üzerinde belirgin bir etkisinin olduğunu göstermektedir [Naoumov vd., 2017].

Saf balmumu: Parafine benzer fiziksel özellikler sergileyen balmumu için döküm yöntemleri bu doğrultuda geliştirilmeye çalışılmıştır. Parafine uygulanan döküm aşamaları aşağıda verilmiştir:

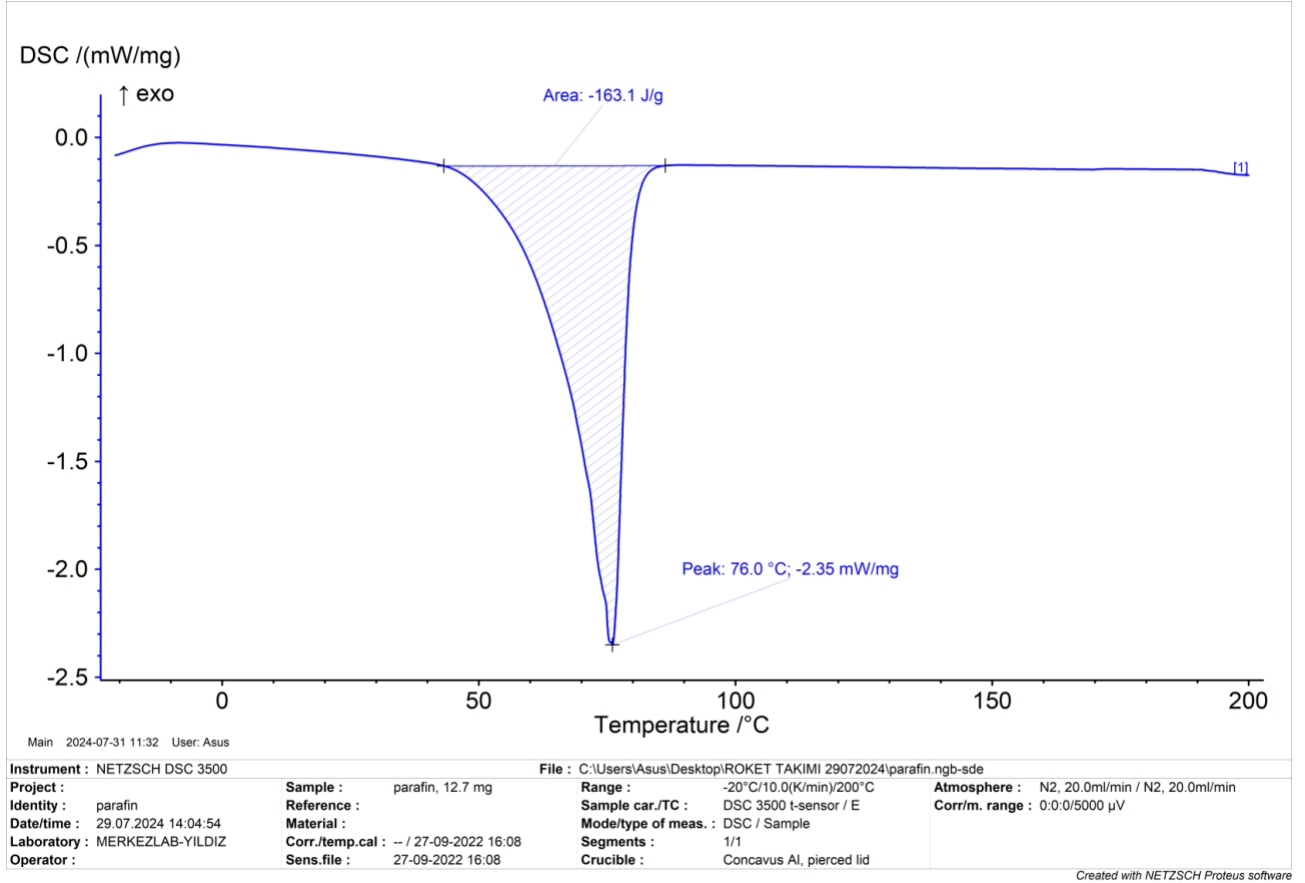
- i. İhtiyaç doğrultusundaki miktarda parafin tartılır.
- ii. Taneler uygun bir kalıba yerleştirilir.
- iii. Parafin sıvı hale gelinceye kadar ısıya tabi tutulur.
- iv. Sıvılaşmaya başlayan parafin karıştırılır.
- v. Karışım oda sıcaklığına gelinceye kadar yavaş soğumaya bırakılır. Bu işlemin oldukça yavaş gerçekleştirilmesi, çatlak ve boşluk oluşumunu önlemek adına önemlidir [Piscitelli, Saccone, Gianvito, Cosentino, & Mazzola, 2015'a].

Balmumu taneleri aynı işlemlere tabi tutularak eşit ortam şartlarında döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir.

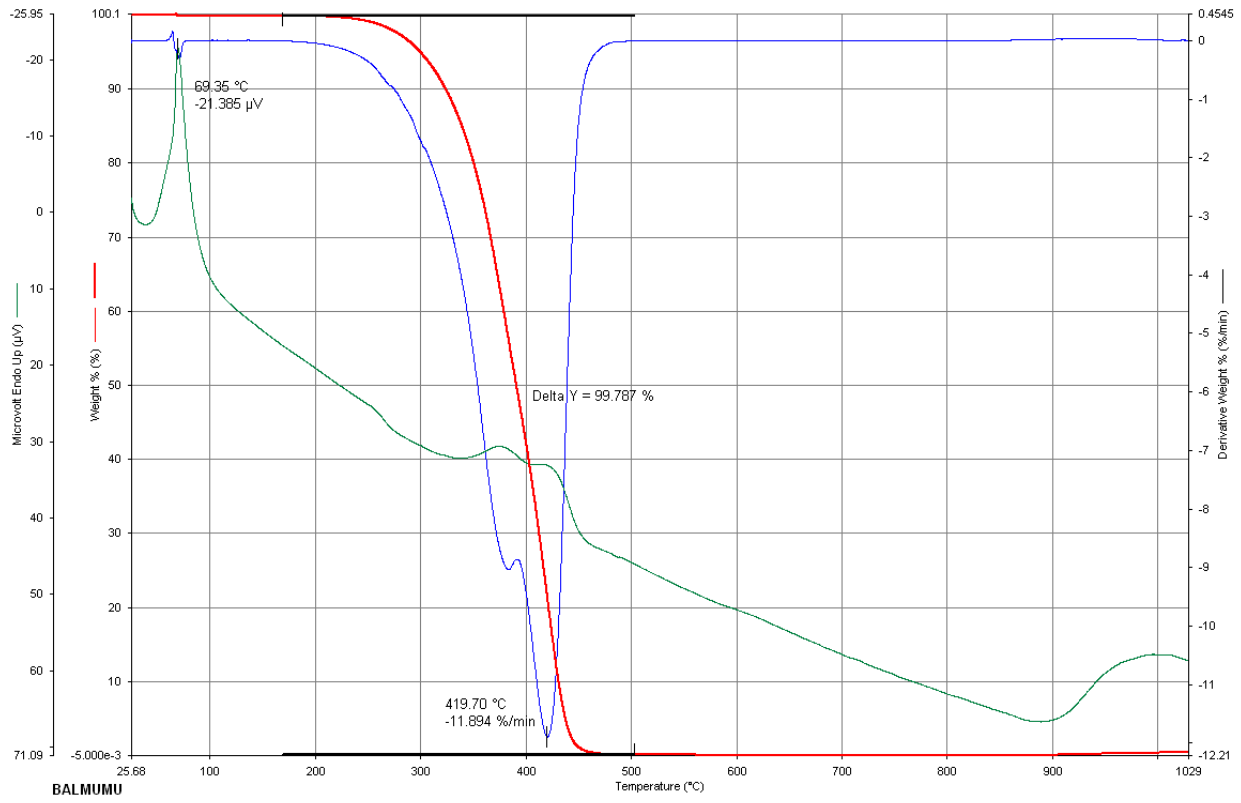
Döküm sıcaklığına, yapılan DSC ve TGA analizleri sonucu elde edilen değerler ve döküm denemeleri sonucu karar verilmiştir. Parafin ve balmumu numunelerinin analizler sonucu erime ve bozunma sıcaklıkları karşılaştırmalı olarak incelenmiş, bu doğrultuda döküm yöntemi ve koşullarında revizeye gidilmiştir.



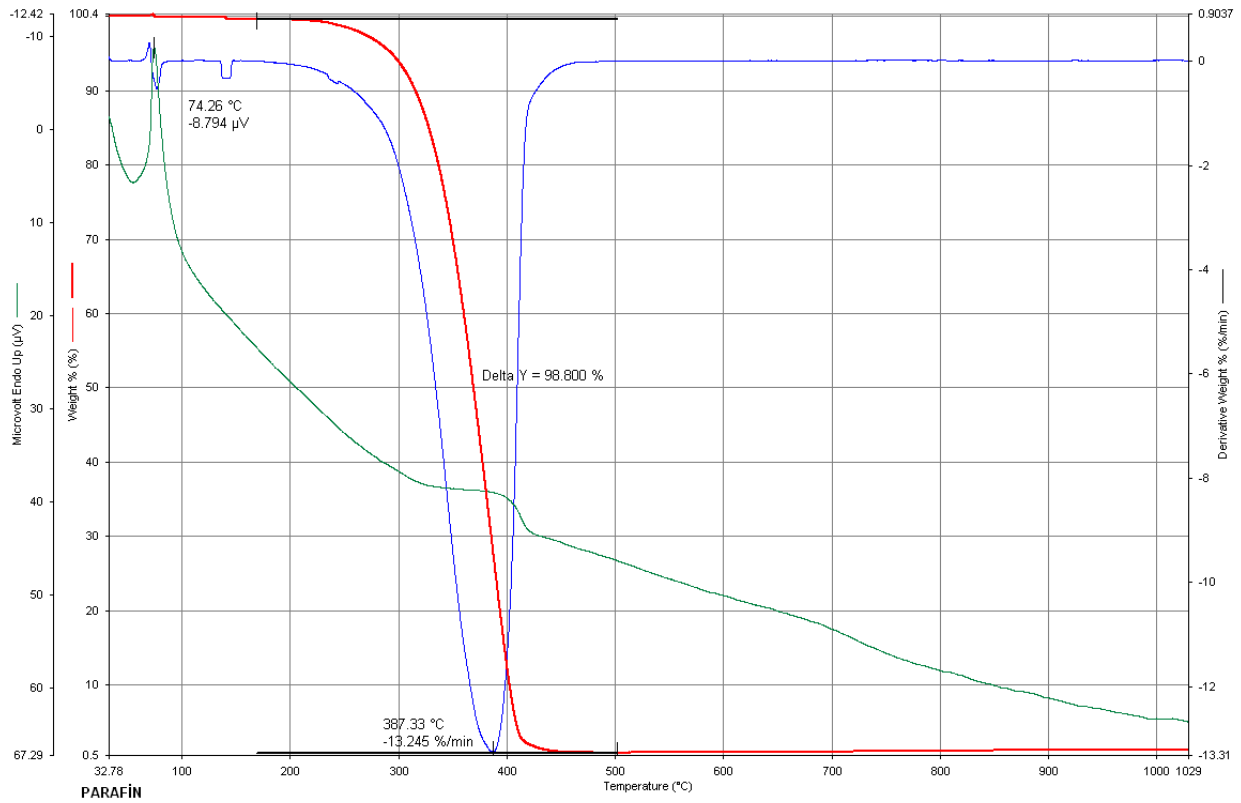
Şekil 1: Balmumu Numunesi İçin Gerçekleştirilen DSC Analiz Sonucu



Şekil 2: Parafin Numunesi İçin Gerçekleştirilen DSC Analiz Sonucu

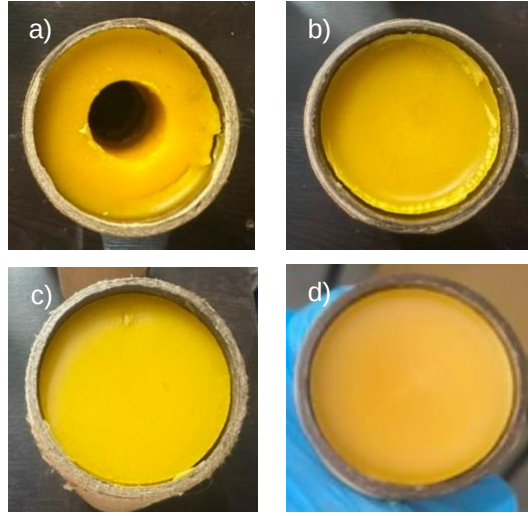


Şekil 3: Balmumu Numunesi İçin Gerçekleştirilen TGA Sonucu



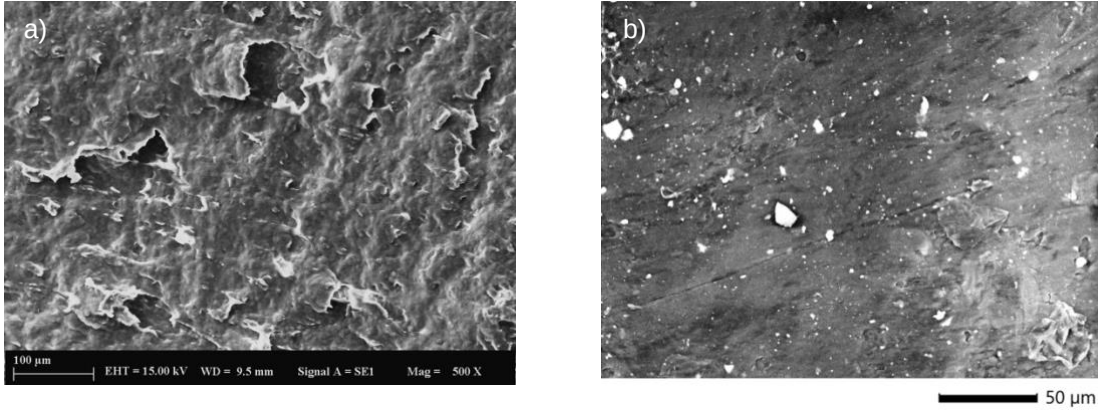
Şekil 4: Parafin Numunesi İçin Gerçekleştirilen TGA Sonucu

Balmumunun dökümü sırasıyla 70°C, 80°C, 90°C ve 100°C'de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5: a) 70°C, b) 80°C, c) 90°C ve d) 100°C'de Dökümü Gerçekleştirilen Balmumu Yakıt Numuneleri

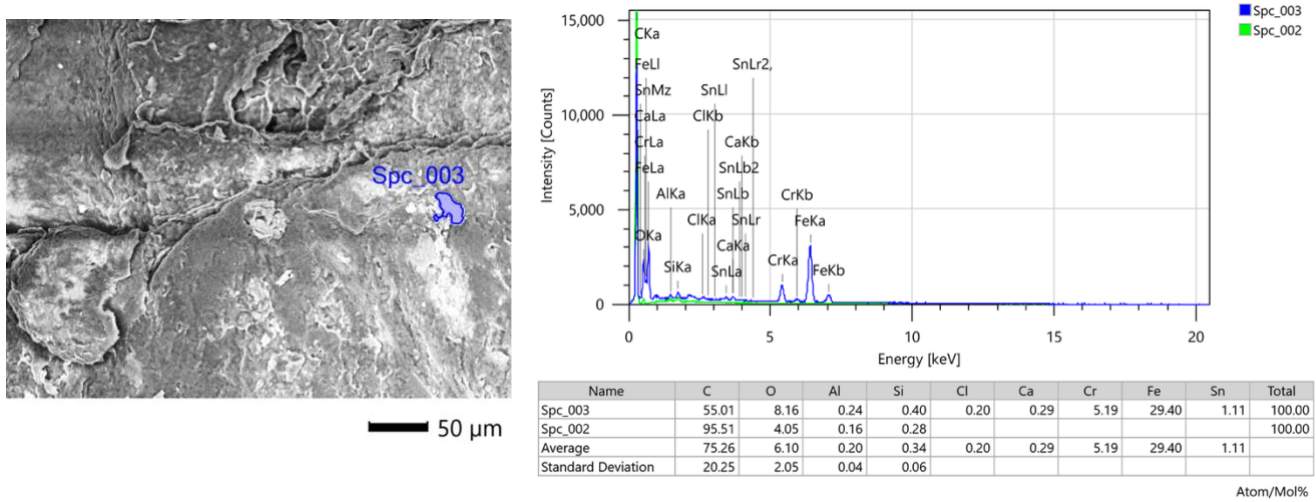
Uygun döküm sıcaklığının 100°C olduğu gözlemlenmektedir. Dökümü gerçekleştirilen yakıt tanesine Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile bakılmış ve aynı koşullarda dökülmüş olan parafin ile karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 6: Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile İncelenen A) Parafin, B) Balmumu Yakıt Numuneleri

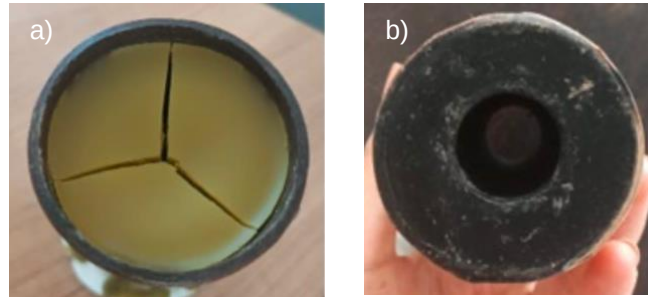
Parafinden farklı olarak gözlemlenen beyaz damlacık yapılarının, elemental analiz ile incelenmesi sonucunda yoğunluklu oksijen konsantrasyonu görülmüş ve balmumunun doğası gereği bulundurduğu yağ asitlerinden kaynaklandığı öngörülmüştür.

İşlem görmemiş balmumu numunesi üzerinde yapılan analize göre, çok sayıda safsızlık bulundurduğu görülmüş ve katkı maddesi eklenmesi uygun bulunmuştur. Bu doğrultuda halihazırda parafine eklenen Alüminyum, Aktif Karbon, Stearik Asit gibi maddeler ile denemeler yapılmıştır.



Şekil 7: İşlem Görmemiş Balmumu Peletinin Elemental Analiz Sonuçları

Eklentili Balmumu: Eklentiler yakıt mukavemeti, yanma verimi, regresyon oranı gibi oranlarda iyileştirme yapmak amacıyla deneylere dahil edilmiştir. Şekil 8 a)'da kullanılan alüminyum tozunun tane boyutu 0-150 µm arasındadır. Bunun dışında 75 µm tanecik boyutuna sahip alüminyum tozu da denenmiş fakat Şekil 8 a)'da görüldüğü üzere çökeltmenin önüne geçilememiştir. Katkı maddeleri ile çalışmak için laboratuvar döküm yönteminin yetersiz kaldığı görülmüştür. Aktif Karbon tozu ile gerçekleştirilen deneylerde ise ateşleme testleri için uygun bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 8: a) 100°C'de Dökümü Gerçekleştirilen Ağırlıkça %10 Al Tozu-Balmumu Yakıt Örneği, b) 100°C'de Dökümü Gerçekleştirilen Ağırlıkça %2 Aktif Karbon-Balmumu Yakıt Örneği

Bu yakıt örneği, homojen karışmayı sağlamış ve herhangi bir deformasyon görülmediğinden ateşleme testleri için uygun görülmüştür.

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

360 Newton itkiye sahip bir hibrit roket motoru ile yapılan statik ateşleme testleri ile hibrit roket motorunun performansının değerlendirilmesi ve çeşitli performans parametrelerinin ölçmesi amaçlanmıştır. Bu ölçümler, yakıtın çalışma koşullarını anlaşılmasına, performansının değerlendirilmesine ve gerektiğinde yakıt formülasyonunda gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak tanıyacaktır. Tablo 1'de testlerin gerçekleştirileceği motora ait tasarım parametre değerleri verilmiştir.

Tablo 1: Hibrit Roket Motoru Performans Parametreleri

Parametre	Değer
İtki	360 N
Özgül İtki	220 s
Toplam Kütlesel Debi	165 g/s
Oksitleyici Kütlesel Debisi	145 g/s
Yakıt Kütlesel Debisi	20 g/s
Karakteristik Hız	1580 m/s
İtki Katsayısı	1,4
Lüle Genişleme Oranı	3,43
Özgül Isılar Oranı	1,2
Adyabatik Alev Sıcaklığı	3200 K

Ayrıca, test sonuçlarının gelecekteki yakıt çalışmalarına yol göstererek yakıt formülasyonunun güvenilirliği, kararlılığı ve verimliliği hakkında bilgi sağlaması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen statik ateşleme testlerinden elde edilen veriler, Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: DEMİRKAZI-I Hibrit Roket Motorunda Yakıt Olarak Balmumu Kullanılan Ateşleme Verileri

Test No	t (s)	F_{avg} (N)	I_{sp} (s)	c* (m/s)
19	5	260	127	1236,7
20	5	253	137	1454,1
21	5	295	146	1316,5
22	4	268	153	1423

SONUÇ

“Kendinden Basıncılı Oksitleyicileri Kullanan Hibrit Roket Motoru” isimli Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, parafine alternatif olarak balmumu gibi biyo-türetilmiş yakıtların hibrit roket motoru teknolojisindeki önemini ve potansiyelini araştırılmıştır. Gelişmekte olan hibrit roket teknolojisinde sıvılaştıran yakıtların rolüne odaklanılarak, alternatif yakıt yelpazesinin genişletilmesi ve performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Literatürde yapılan incelemeler, parafin yakıtların düşük regresyon oranı sorununu çözmenin önemli olduğunu göstermiştir. Ancak, balmumunun parafine alternatif olarak kullanılması konusundaki çalışmalar sınırlıdır ve bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FBA-2021-4755 proje numarasıyla desteklenmiştir.

Kaynaklar

- El-S. Makled, A. (2019). Beeswax Material: Non-Conventional Solid Fuel for Hybrid Rocket Motors. In *Advances in Military Technology* (Vol. 14, Issue 1, pp. 99–113). University of Defence.
- Fratini, F., Cilia, G., Turchi, B., & Felicioli, A. (2016). Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. In *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* (Vol. 9, Issue 9, pp. 839–843). Medknow.
- Hossain, M. E., Khan, M. I., Ketata, C., & Islam, M. R. (2010). Comparative pathway analysis of paraffin wax and beeswax for industrial applications. *International Journal of Characterization and Development of Novel Materials*, 1(4), 1-13.
- Ishiguro, T., Sinohara, K., Sakio, K., & Nakagawa, I. (2011). A Study on Combustion Efficiency of a Paraffin-based Hybrid Rockets. In 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Mózes, G. (Ed.). (1983). *Paraffin products*. Elsevier.
- Naoumov, V. I., Al Masoud, N. A., Sherman, K., Doolittle, M., Ziegler, M., & Thorne, D. (2017). Study of the Combustion of Pure Bio-Derived Fuels and Bio-Derived Fuels with Additives in Hybrid Propellant Rocket Engine. In 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting. 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Piscitelli, F., Saccone, G., Gianvito, A., Cosentino, G., & Mazzola, L. (2015a). Manufacturing Processes of Paraffin Grains as Fuel for Hybrid Rocket Engines. In 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics.