

Tahliye Havaasının Turbojet Performansına Etkisi

Yasemin ZENGİN^{1,*}  Sedat TOKGÖZ² 

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

²Gebze Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

*yaseminz99@hotmail.com (Corresponding Author/Sorumlu Yazar)

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş:

Kabul:

Yayın:

Turbojet,
Kompresör,
Tahliye Havaası,
Motor Performansı.

Uçaklardaki turbojet motorlarında farklı sistem ve yerlerde kullanılmak üzere kompresör bölümünden çekilen havaya tahliye havaası denir. Bu çalışmada, tahliye havaasının motor performansına etkisi incelenmiştir. Tahliye havaasının performans üzerine etkisi incelenirken kompresörleri bölme yöntemi ve tüm havanın kompresör çıkışından çekildiği varsayımına dayanan yöntem kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Buna ek olarak, analitik hesaplamalar baz alınarak bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz ile kullanıcının hızlıca sonuç alabilmesi ve grafikler üzerinden kolayca değerlendirme yapabilmesi amaçlanmıştır. Kullanıcı isterse grafiksel inceleme yerine komponent düzeyinde inceleme de yapabilir. MATLAB ortamında oluşturulan bu arayüz ile kullanıcı tarafından girilen Mach sayısı, irtifa ve kompresör sıkıştırma oranı değerlerinde tahliye havaasının itki, jet çıkış basıncı, ve özgül yakıt tüketimine etkisi grafiksel ve komponent düzeyinde bilgi olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Her iki yöntemle de arayüzden elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında maksimum hata oranının yaklaşık %1.1 olduğu belirlenmiştir. Kompresörden çekilen tahliye havaası miktarı arttıkça motorun performansının ve çıkış basıncının düştüğü, özgül yakıt tüketiminin ise arttığı görülmüştür.

Effect of Bleed Air on Turbojet Performance

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received:

Accepted:

Published:

Keywords:

Turbojet,
Kompresör,
Bleed Air,
Engine
Performance.

The air drawn from the compressor section to be used in different systems and places in turbojet engines of airplanes is called "bleed air". In this study, the effect of the bleed air on the engine performance was examined. While the effect of bleed air on engine performance was examined, both the compressor splitting method and the method based on the assumption that all air is removed from the end of the compressor was compared with each other. Additionally, an analytical calculation-based interface was designed. It was aimed that the user could get results quickly and easily carry out the evaluation from the graphs. If it is required, the user can also do component level examination instead of graphical examination. Using the interface created in the MATLAB environment, the relationship of the bleed air with the engine's performance, jet outlet pressure, and specific fuel consumption is presented to the user as graphical and component-level information on the Mach number, altitude, and compressor compression ratio determined by the user. If the results from both methods were compared with the literature, it was determined that the maximum error rate was approximately 1.1%. It has been observed that as the amount of bleed air removed from the compressor increases, the engine's performance and the outlet pressure decrease, while the specific fuel consumption increases.

Atıf/Citation:



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ

Turbojet motorunun hava alığından motor içine alınan hava kompresörde sıkıştırılır ve buna bağlı olarak da ısınır. Sıcak ve basınçlı hava yanma odasına geldiğinde yakıt püskürtülerek yakılır ve türbine gönderilir. Hava türbinde genişletilir ve lüle vasıtasıyla atmosfere atılır. Böylece itki elde edilir (Rolls-Royce Ltd., 2005). Motorun kompresör bölümünden pnömatik, hidrolik ve çevresel kontrol sistemlerinde kullanılmak için hava çekilir. Çekilen hava motordan dışarı atılarak kullanılıyorsa “tahliye havası”, motor içinde yanma odasını atlayarak türbinde sirkülasyona giriyorsa “soğutma havası” olarak adlandırılır. Kompresörden çekilen hava itki kuvvetinin azalması ve özgül yakıt tüketiminin artması başta olmak üzere çeşitli performans düşüşlerine neden olmaktadır. Buna rağmen bu havanın çekilmesi motor için vazgeçilmezdir (Bin vd., 2011). Literatür incelendiğinde tahliye havaasının performans üzerindeki etkisini incelemenin iki ana yöntemi olduğu görülmektedir. Bunlar kısaca kompresörleri bölme yöntemi ve tüm havanın kompresör çıkışından çekildiği varsayımdır. Kompresörleri bölme yönteminde tahliye havaasının çekildiği kompresör kademesinden itibaren kompresör yapay olarak ikiye ayrılır. Bu yaklaşımda birden fazla kompresör arka arkaya yerleştirilmiş gibi hesaplama yapılır. Hesaplamalarda öndeki kompresörün çıkışı, takip eden kompresörün girişi olarak alınır, ve tahliye havası iki kompresörün arasından çekilir. Tüm havanın kompresör çıkışından çekilmesine dayanan varsayım metodunda ise tahliye havaasının çekildiği kademelerin etkileri ihmal edilir ve sistemde bulunan tek kompresör çıkışından tüm hava tahliye edilir. Bu iki yöntem birbiriyle karşılaştırıldığında kompresörleri bölme yöntemi ile daha doğru sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Hackney vd., 2020).

Bu çalışmada, standart bir turbojet motorunun kompresöründen çekilen tahliye havası miktarına bağlı olarak itki, özgül yakıt tüketimi ve jet çıkış basıncı analitik olarak incelenecektir. İncelemeler hem kompresörleri bölme yöntemiyle hem de tüm havanın kompresör çıkışından çekildiği varsayımına dayanan yöntemle gerçekleştirilecektir. Buna ek olarak MATLAB kullanılarak analitik hesaplamaların kolayca gerçekleştirilip sonuçların hızlıca incelenmesine olanak sağlayacak bir arayüz tasarlanacaktır. Bu arayüz vasıtasıyla da her iki yöntemle elde edilebilecek sonuçlar kullanıcıya sunulacaktır. Oluşturulacak bu hesaplama aracı sayesinde kullanıcı, belirlediği tahliye havası miktarının ilgili performans çıktılarına etkisini kolayca inceleyebilecektir.

LİTERATÜR TARAMASI

Tahliye havaasının turbojet motorların performansına etkisi üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde termodinamiğin 1. yasasından yola çıkılarak gerçekleştirilen ekserji analizleri öne çıkmaktadır (Balli & Caliskan, 2021; Bin vd., 2011.; Ekici vd., 2017; Şöhret & Karakoç, 2014; Yadav vd., 2005). Ekserji aynı zamanda bir enerji olduğundan, temelde bu yöntem kontrol hacminde enerji ve ekserji korunumuna dayanmaktadır. Bin vd., (2011) çalışmaları sonucunda uygun tahliye havası debisi kullanılıp hem kompresör çıkışında toplam basınç oranı hem de verim aynı anda artırılabilirse tahliye havaasının motor performansı üzerindeki olumsuz etkisinin ortadan kaldırılabilirliğini göstermiştir. Ayrıca, kompresör basınç oranında ve veriminde iyileştirme yapılarak hava tahliye sistemi kullanılabilirse hem kompresör hem de motor performansının geliştirilebileceğini vurgulamıştır.

Tahliye havaasının performans etkisinin incelendiği diğer bir yöntem ise, Enalou vd.,(2017) ve Rahman & Whidborne, (2008) tarafından kullanılan bileşenler arası hacim yöntemidir. Bu yöntem zamana bağlı sistemlerin çalışması sırasında gerçekçi sonuçlar vermesinden dolayı motorun farklı konumlarındaki basınç oranı değişikliklerini hesaplamak için kullanılır. Gaz yasaları bu yöntemde önemli bir rol oynamaktadır (Saravanamuttoo, 2017). El-Sayed vd (2017) çalışmalarında yüksek baypas oranına sahip bir turbofan motorun soğuk bölümlerinin performansını ve tasarım noktası seçimini sunmuştur. Kalkış ve seyir koşullarında geçerli olan performans analizi için MATLAB kullanılmıştır. Sonuç olarak türbin girişi sıcaklığının artmasıyla itki kuvvetinin arttığı, toplam basınç oranının artmasıyla termal verimin düştüğü ve bypass oranının artmasıyla özgül itkinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Klein & Abeykoon (2015) çalışmalarında, MATLAB Simulink kullanarak turbojet motorunun teorik ve hesaplamalı modellemesini yapmışlar ve modellemelerini GasTurb programında özgül yakıt tüketimi ve net itki değerlerini kullanarak valide etmişlerdir. 500 ve 10000 m irtifa için atmosfer koşulları dikkate alınarak yapılan çalışmada, modellemenin GasTurb ile uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bakalis & Stamatis (2012) ise çalışmalarında AMT Olympus turbojet motoru için uyarlamalı performans simülasyon modeli geliştirirken yaşanan sorunları ve verilen çözümleri incelemiştir. Çalışmanın sonunda, türbin çıkışında toplam basınç yerine statik basınçlarla değerlerin kalibre edildiği bir model önermişler ve bu model kullanıldığında hesaplanan parametreler ve türbin verimliliği açısından makul değerler elde edildiğini göstermişlerdir. Başka bir simülasyon çalışması Enalou vd (2017)'ne aittir. Bu çalışmada sundukları modeli MATLAB Simulink'te uygulamış ve deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır. Rahman & Whidborne (2008) ise değişken motor tahliye havaasının tek shaftlı bir turbojet motorunun performansı üzerindeki etkisini araştırmak için gerçek zamanlı bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Simülasyonlarını AMT Olympus tek shaftlı turbojet motorunun deneysel verileriyle doğrulamışlardır. Sonuç olarak simülasyon ve deneysel verilerin uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Khalil vd. (2013), itki özgül yakıt tüketimi parametresinin motor performansı üzerindeki etkisini farklı parametrelerle ortaya koymuştur. Bahsedilen çalışmada turbofan performansı, tahliye havaasının türbine geri döndüğü ve dönmediği durumlar için karşılaştırılmıştır. Ayrıca yüksek basınçlı kompresörden çekilen havanın motor performansı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Kowalski & Kotlarz (2020) ise çalışmalarında baypasslı bir turbojet motorunda sızdırma havaasının kullanımını ve bu havanın türbinde karıştırılmasını incelemiş ve bu iki durumu bir turbofan motoru ile karşılaştırmıştır. Ayrıca hava tahliyesi ve türbin beslemesinin birim itki ve birim güç tüketimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Achmus vd (2020), tahliye havaasının kompresörde rotor veya statordan sonra çekildiği durumları karşılaştırarak, tahliye geometrisinin aerodinamik davranışını ve bunun dönen bir sistemdeki 1,5 kademeli yüksek basınçlı aksenal kompresör ile etkileşimini incelemiştir.

YÖNTEM

Analitik Model

Bu çalışmada analitik modele dayanan bir arayüz geliştirilecek, ve bu arayüz kullanılarak tahliye havaasının motor performansına etkisi farklı parametreler açısından incelenecektir. Literatür incelendiğinde bu parametrelerin hesaplanmasında farklı kaynakların baz alındığı görülmektedir. Bu çalışmada literatürde de ana kaynaklardan biri olarak kullanılan Walsh ve Fletcher (1998)'in çalışmasında verilen bileşenler arası hacim yöntemi denklemleri kullanılmıştır. Oluşturulan arayüz ile performans üzerinde önemli etkisi olan itki (Denklem 1), özgül yakıt tüketimi (Denklem 2) ve jet çıkış basıncı için inceleme yapılabilir.

$$F_{NET} = \dot{m}_e V_e - \dot{m}_o V_o + A_e (P_e - P_o) \quad (1)$$

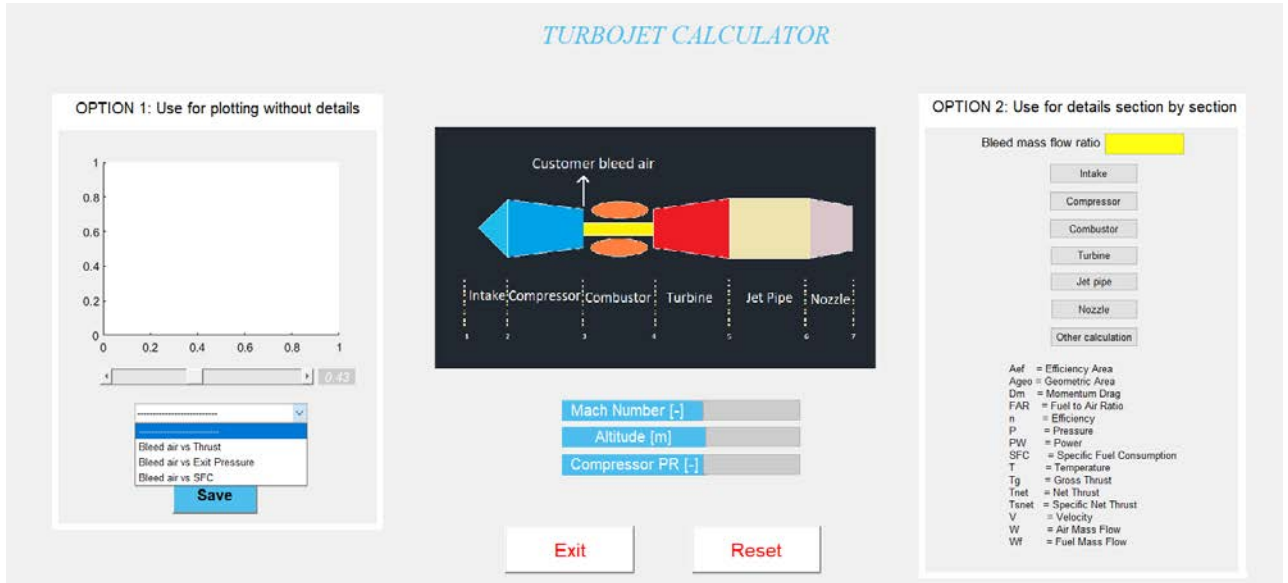
$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_f}{F_{NET}} \quad (2)$$

Bu çalışmanın temelinde olan bu iki denklem, komponentler arası ilişkilerin hesaba katılarak hesaplanmasında ve performans analizlerinin yapılmasında kullanılan iki önemli denklemdir.

Arayüz Çalışmaları

Daha önce bahsedildiği gibi, MATLAB yazılımı kullanılarak geliştirilen arayüzde kullanıcının belirleyeceği şartlara göre tahliye havaasının motor performansına etkisi analitik olarak hesaplanacak, istenilen istasyonda hesaplanan değerler arayüz üzerinde kullanıcıya sunulacaktır. Örnek arayüz Şekil 1'de gösterilmiştir. Genel hatlarıyla arayüzün sol tarafında grafiksel inceleme imkânı ve sağ tarafında

komponent düzeyinde inceleme imkânı bulunmaktadır. Kullanıcının belirlemesi istenen parametreler orta kısımdan arayüze girilir. Arayüzde kullanıcı hesaplama yöntemi seçimini de yapabilmektedir... Şekil 1’de verilen arayüz ekranı tüm tahliye havaasının kompresör çıkışından çekildiği varsayımına dayanan yöntem aittir. Sol tarafta bulunan grafiksel inceleme seçeneğinde kullanıcıya üç farklı sonuç grafiği sunulabilmektedir. Bunlar; "tahliye havası-itki", "tahliye havası- jet çıkış basıncı", ve "tahliye havası- özgül yakıt tüketimi" ilişkileridir. Sağ tarafta bulunan komponent düzeyinde inceleme seçeneğinde ise kullanıcı komponentlere ait tuşları seçerek istediği istasyondaki ilgili analitik hesaplama sonuçlarına erişebilir. Bu bölgede ayrıca kısaltma ve sembollerin açıklamalarına yer verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan Arayüz Ekranı

Arayüzün çalışma mantığı ise şu şekilde açıklanabilir; arayüzde öncelikle kullanıcıdan tahliye havaasının hangi analitik yöntemle incelenmek istendiğinin bilgisi alınmaktadır. Kullanıcı öncelikle kompresörleri bölme veya tüm havanın kompresör çıkışından çekildiği varsayımı yöntemlerinden birini seçmektedir. Daha sonra kullanıcıdan Mach sayısı, irtifa ve kompresör sıkıştırma oranı parametrelerini girmesi beklenmektedir. Girilen değerlere göre arka planda analitik hesaplamalar anlık olarak yapılır ve sonuçlar arayüzün solundaki ilgili bölümde grafiksel olarak gösterilir. İstenirse elde edilen grafik daha sonra kullanmak amacıyla kaydedilebilir. Grafiğin alt tarafına konumlandırılan kaydırma çubuğu vasıtasıyla tahliye havası yüzdesi değiştirilerek farklı değerler için grafikler yeniden çizdirilebilir. Ancak komponent düzeyinde inceleme yapmak istendiğinde (arayüzün sağ bölgesinde gösterilmektedir), ilgili hesaplamalar tek bir tahliye havası çekilme yüzdesi noktasında yapıldığından, kullanıcının tahliye havası yüzdesini de ayrıca belirlemesi beklenmektedir. Arayüzün arka planında tüm hesaplama adımları tutulmaktadır, kullanıcı detayını görmek istediği komponent hakkında bu sayede kolaylıkla bilgi edinebilmektedir.

Her analitik modelde olduğu gibi, turbojet motorunun analitik olarak modellenmesinde de bazı kabüllerin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda benzer çalışmalarda yapılan kabüller incelenmiş, uygun görülenler adapte edilerek kullanılmıştır (Balli & Caliskan, 2021; Bin et al., 2011; Şöhret & Karakoç, 2014; Kowalski & Kotlarz, 2020; Walsh & Fletcher, 1998). Bu çalışma boyunca kullanılan kabüller aşağıda özetlenmiştir:

- Hava ideal gaz ve akış tek boyutludur.
- Zamandan bağımsız sürekli bir sistemdir.

- Akış izentropiktir.
- İrtifa analiz boyunca sabittir.
- Tasarım verileri basınç ve verimlilikle kalibre edilir.
- Havanın kütleli debisi toplam 100 kg/s'dir.
- Yanma odası giriş sıcaklığı 1400 K'dir.
- Yakıt alt ısı değeri 43100 kJ/kg'dır.
- Özgül ısı değeri, gaz sabiti ve ısı kapasitesi oranı sabittir. (Soğuk kısım için özgül ısı değeri 1.005 kJ/kg, ısı kapasitesi oranı 1.4 ve sıcak kısım için özgül ısı değeri 1.15 kJ/kg, ısı kapasitesi oranı 1.333'tür. Gaz sabiti 287.15 J/kgK'dir.)
- Komponentlerin politropik verimlilikleri sabittir; kompresör için 0.88, yanma odası için 0.99 türbin için 0.89 ve şaft için kullanılan mekanik verim 0.995 kabul edilmiştir.
- Basınç düşüşleri sabittir; hava alığında %0.5, kompresör çıkışında %2, yanma odasında %3 ve jet borusunda %1 basınç düşüşü olduğu kabul edilmiştir.
- Lülede için deşarj ve itki katsayıları sırasıyla 0.97 ve 0.99 kabul edilmiştir.

SONUÇLAR

Arayüz kullanılarak yapılan analitik hesaplamaların doğrulanması amacıyla 0.8 Mach hız, 11000 m irtifa ve kompresör basınç oranının 25 olduğu bir turbojet motorunun tahliye havası olmadığı durum için sonuçlar elde edilmiş ve literatürle (Walsh & Fletcher, 1998) karşılaştırılmıştır. Tahliye havaasının olmadığı durumda elde edilen sonuçlar her iki metot için de hem bu çalışmada hem de literatürde aynıdır. Sonuçlar arasındaki farklar Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloya göre maximum fark yaklaşık %1.1'dir. Bu değerden yola çıkılarak hesaplamalarda kullanılan model ve kabullerin oldukça düşük bir hata ile doğru sonuç verdiği ve güvenilir olduğu söylenebilir.

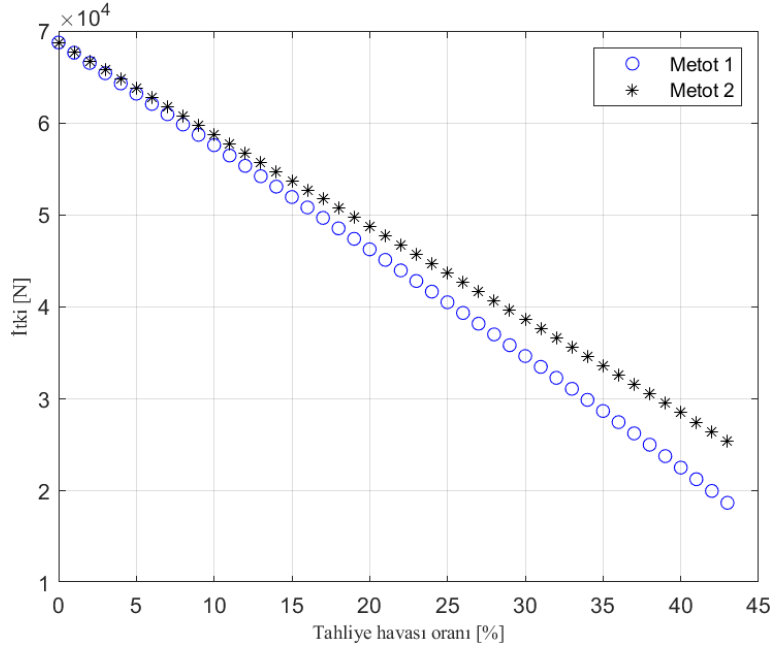
Tablo 1. Analitik Sonuçlar

| Parametre | Walsh ve Fletcher (1998) | Sonuç | Fark [%] |
|--------------------------|--------------------------|------------|----------|
| $T_{\text{kompresör}}$ | 695.1 K | 694.94 K | 0.023 |
| $T_{\text{türbin}}$ | 1010.5 K | 1011.66 K | 0.115 |
| $P_{\text{kompresör}}$ | 857.5 kPa | 858.16 kPa | 0.077 |
| $P_{\text{yanma odası}}$ | 815.1 kPa | 815.77 kPa | 0.082 |
| $P_{\text{türbin}}$ | 187.8 kPa | 188.91 kPa | 0.591 |
| Yakıt-hava oranı | 0.0188 | 0.019 | 1.063 |
| Özgül Yakıt tüketimi | 0.0992 kg/Nh | 0.10 kg/Nh | 0.806 |
| İtki | 68238 N | 68746.44 N | 0.745 |

Kompresörden çekilen tahliye havası motor üzerinde daha önce bahsedilen etkilere sahiptir. Daha önce yapılan çalışmalarda tahliye havaasının türbin giriş sıcaklığını ve özgül yakıt tüketimini artırdığı, özgül itkiyi ise düşürdüğü gösterilmiştir (Bin vd., 2011.; Kowalski & Kotlarz, 2020). Bu çalışmada da tahliye havası miktarına bağlı olarak itki, özgü yakıt tüketimi ve jet çıkış basıncı parametrelerinin nasıl

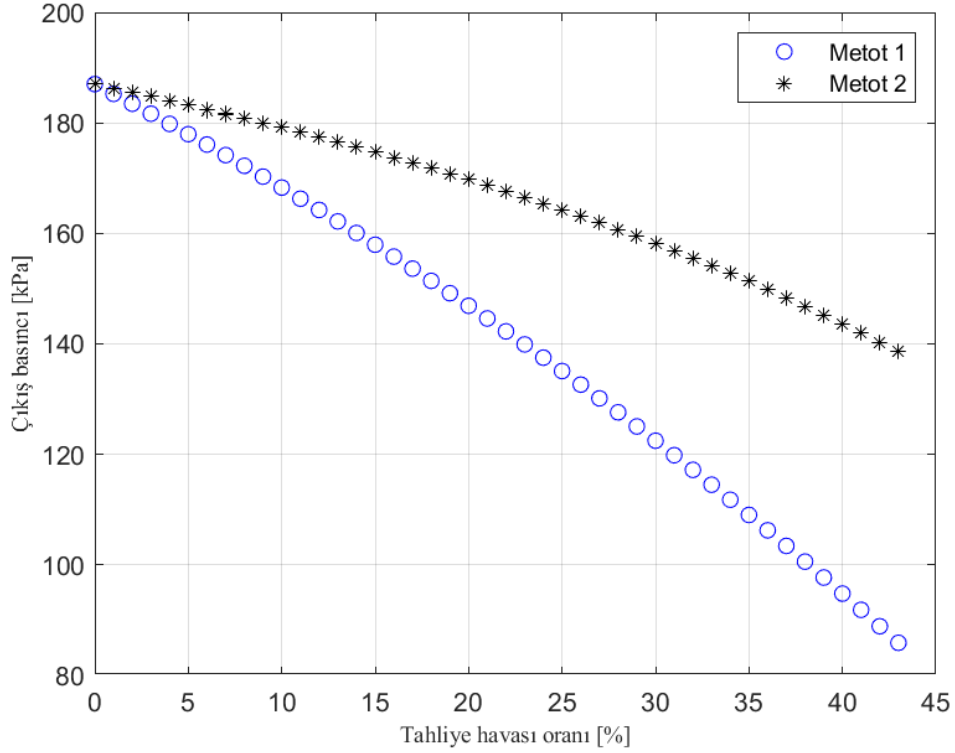
etkilendiği incelenmiştir.

Şekil 2’de tahliye havaının itkiyle ilişkisi görülmektedir. Turbojet motordan çekilen tahliye havaı oranı arttıkça itki düşmektedir. Bu düşüş lineerdir. Metot 1 (tüm havanın kompresör çıkışından çekilmesi yöntemi) için itki değerleri incelendiğinde yaklaşık %27 tahliye havaı oranındaki itki değerlerinin tahliye havaı olmayan durumdaki değerlerin yarısına düştüğü görülmektedir. Metot 2 (kompresörleri bölme yöntemi) ile inceleme yapıldığında ise yaklaşık %25 tahliye havaı oranındaki itki değerlerinin tahliye havaı olmayan durumdaki değerlerin yarısına düştüğü görülmektedir. Ancak her iki metot arasındaki itki değerleri farklı tahliye havaı oranı arttıkça artmaktadır. Yaklaşık %43 tahliye havaı oranında bu farkın yaklaşık %27 civarında olduğu görülmektedir...



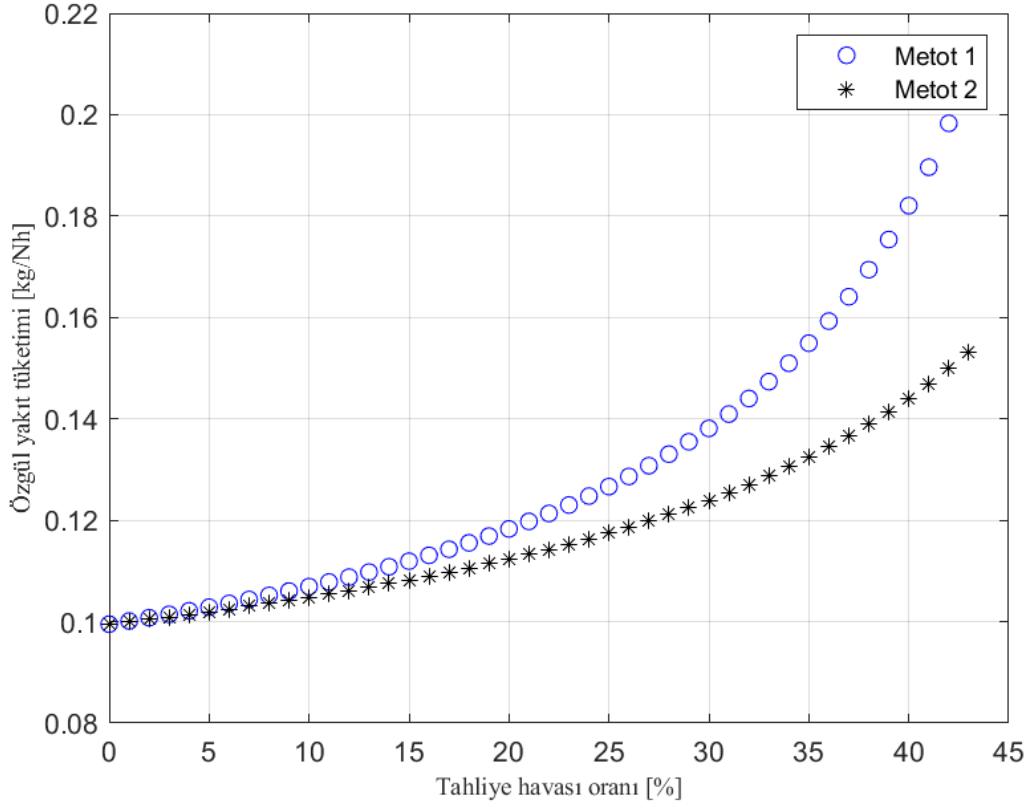
Şekil 2. Tahliye havaı-itki ilişkisi

Şekil 3’te tahliye havaının jet çıkış basıncıyla ilişkisi verilmiştir. Görüldüğü gibi çekilen tahliye havaı oranı arttıkça çıkış basıncı hızlanarak düşmektedir. Şekil 2 ile birlikte değerlendirildiğinde tahliye havaının artışıyla birlikte itkiye doğrusal bir düşüş görülmektedir, ancak jet çıkış basıncında meydana gelen düşüş doğrusal değildir. Jet çıkış basıncı için Metot 1 için yapılan incelemelerde yaklaşık %25 tahliye havaı oranındaki değerlerin tahliye havaı olmayan durumdaki değerlerin %40’ına, %43 tahliye havaı oranında ise tahliye havaı olmayan durumdaki değerlerin yaklaşık %70’ine düştüğü görülmektedir... Metot 2 için yapılan incelemelerde ise çıkış basıncındaki düşüşün Metot 1’e göre daha yavaş olduğu görülmektedir.



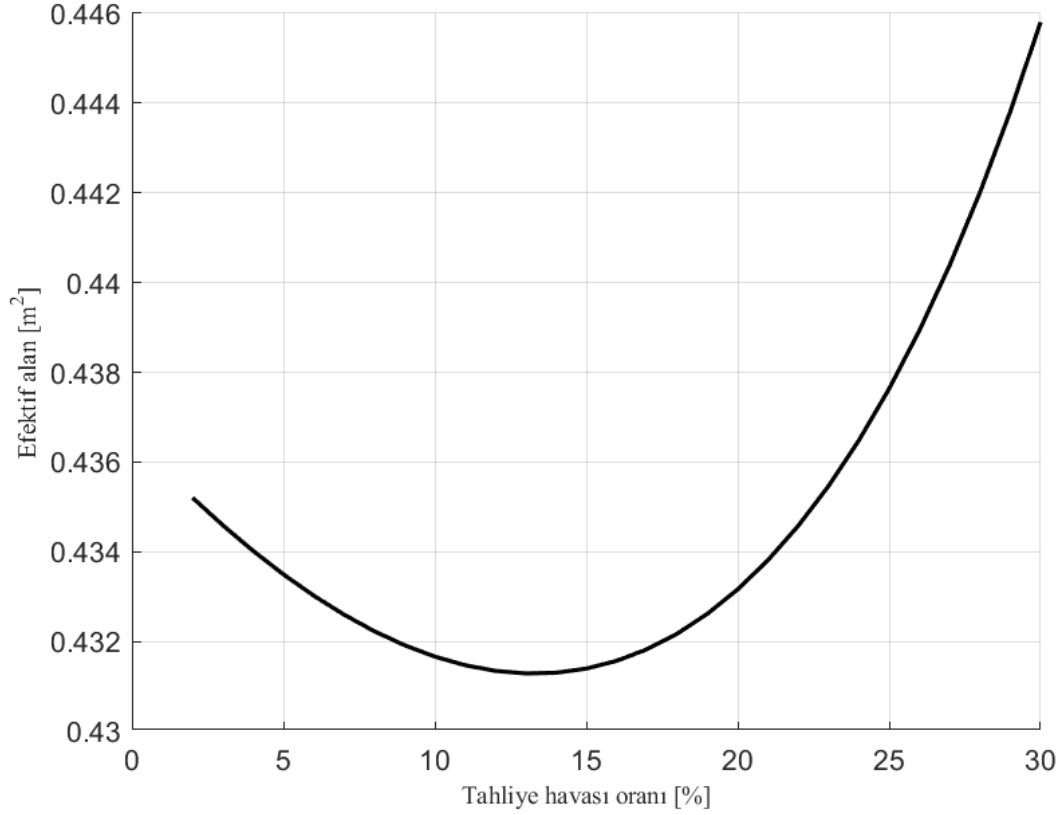
Şekil 3. Tahliye havası- jet çıkış basıncı ilişkisi

Özgül yakıt tüketimi, tasarımlarda minimum düzeyde tutulması gereken en önemli performans parametrelerinden biridir (Tunçer & İçke, 2016, Khalil vd., 2013). Şekil 4'te tahliye havasının özgül yakıt tüketimiyle ilişkisi görülmektedir. Tahliye havası oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi üstel şekilde artmaktadır. Metot 1 kullanıldığında tahliye havası oranının yaklaşık %20 olduğu durumda özgül yakıt tüketimi %20 artmaktadır. Ancak turbojet motordan çekilen tahliye havası oranı %40'a çıktığında özgül yakıt tüketimi büyük bir artış göstererek tahliye havasının olmadığı durumdan %80 daha yüksek bir değere ulaşmaktadır. Metot 2 kullanılarak yapılan incelemelerde özgül yakıt tüketimindeki artış miktarı Metot 1'e göre daha düşüktür. Örneğin Metot 2 ile yapılan hesaplamalarda özgül yakıt tüketimindeki %20 artış tahliye havası oranının yaklaşık %27 olduğu durumda meydana gelir. Benzer şekilde çekilen tahliye havası oranı %40'a çıktığında özgül yakıt tüketimindeki artış sadece %44 kadardır.



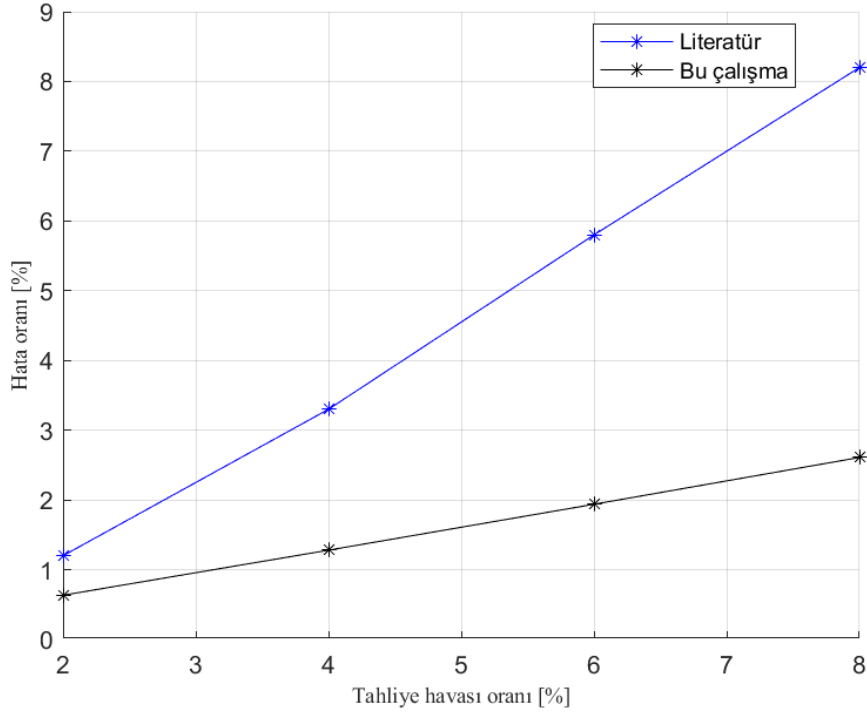
Şekil 4. Tahliye havası- özgül yakıt tüketimi ilişkisi

Hava lüleye vardığında atmosfere karıştırılmak için uğrayacağı son istasyona gelmiştir. Lüle çıkışı havanın motordan çıkarak atmosfere karıştığı noktadır. Lüle çıkış alanı da havanın atmosfere atılırken çıkış hızını etkileyen bir parametredir. Turbojet motordan tahliye havası çekilmesi itki üzerinde etkili olan efektif lüle alanını da etkilemektedir. Metot 1 kullanılarak elde edilen sonuçlar ile çizilen Şekil 5'te görüldüğü gibi yaklaşık %13 tahliye havası oranına kadar alanda daraltma yapılabilir. Ancak %13 tahliye havası oranı aşıldığında istenen itkiyi sağlamak için gereken lüle çıkışı alanı hızlı bir şekilde artmaktadır. Alanın büyümesi buradan geçen havanın genişlemesinden dolayı basıncın ve sıcaklığının düşmesine sebep olur. Bunun sonucunda da daha az itki üretilmiş olur.



Şekil 5. Tahliye havası- lüle çıkış alanı ilişkisi

En son olarak, daha önce bahsedilen iki farklı hesaplama metoduyla elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 6'da siyah çizgi ile belirtilen hata miktarı bu çalışmada baz alınan motorun her iki yöntemle farklı tahliye havası oranlarında elde edilen sonuçları arasındaki farkı göstermektedir. Görüldüğü gibi tahliye havası oranı arttıkça yöntemler arasındaki farklar atmaktadır. Örneğin tahliye havası oranı %2 iken fark %0.7 civarındayken, tahliye havası oranı %8'e çıktığında bu fark %2.6 civarına çıkmaktadır. Şekil 6'da görülen mavi çizgi ise literatürde (Hackney vd., 2020) benzer bir motor kullanılarak iki metodun karşılaştırmasından elde edilen değerleri göstermektedir. Literatür ile mevcut çalışma karşılaştırıldığında tüm tahliye havası oranları için yöntemler arasında literatürde bildirilen diğer analizlerdeki sonuçlardan daha düşük farklar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6. Yöntemler arasındaki hata oranının karşılaştırılması

TARTIŞMA

Turbojet motorlardan tahliye havası çekilmesi motor performansını olumsuz etkilese de uçaklardaki diğer sistemlerde kullanılmak üzere bu havanın motordan çekilmesi gerekmektedir (Bin vd., 2011). Bu sebeple tahliye havaasının sistemden çekilme konumu ve miktarı optimize edilmelidir. Bu çalışmada iki farklı analitik metot kullanılarak motordan çekilen tahliye havaasının farklı değerleri için itki, jet çıkış basıncı ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. MATLAB ortamında oluşturulan arayüz ile hesaplama sonuçları grafiksel ve parametresel olarak sunulmuştur. Parametresel incelemeler komponent düzeyinde tek bir tahliye havasında yapılırken grafiksel incelemeler farklı tahliye havası oranlarında daha genel olarak yapılır.

Çalışmanın sonucunda, bu çalışmada elde edilen sonuçların literatürle farkının maksimum %1.1 olduğu görülmektedir. Ayrıca seçilen yöntemle ilgili olarak meydana gelecek hata oranının literatürden daha iyi düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, yöntemler arasındaki farkın tahliye havaasının yüzdesel değeri arttıkça arttığı görülmüştür. Bu çalışma gelecekte havacılıkta kullanılan diğer turbofan, turboşaft ve turboprop motorlar için de uyarlanabilir.

KAYNAKÇA

- Achmus, M., Friedrichs, J., & Becker, B. (2011). *Experimental Investigation Of Bleed Air Extraction Through A Circumferential Gap In A Low Speed Axial Compressor Stage*. www.gpps.global
- Bakalis, D. P., & Stamatis, A. G. (2012). Data Analysis And Performance Model Calibration Of A Small Turbojet Engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 226(12), 1523–1533. <https://doi.org/10.1177/0954410011425126>
- Balaghi Enalou, H., Abbasi Soreshjani, E., Rashed, M., Shen Yeoh, S., & Bozhko, S. (2017). A Detailed Modular Governor-Turbine Model for Multiple-Spool Gas Turbine with Scrutiny of Bleeding Effect. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 139(11). <https://doi.org/10.1115/1.4036947>
- Balli, O., & Caliskan, H. (2021). Turbofan Engine Performances From Aviation, Thermodynamic And Environmental Perspectives. *Energy*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121031>

- Bin, Z., Shaobin, L., Qiushi, L., & Sheng, Z. (2011). *Impact Of Air System Bleeding On Aircraft Engine Performance*. <http://www.asme.org/ab>
- Ekici, S., Şöhret, Y., & Karakoç, T. H. (2017). Performance Evaluation Parameters For Turbojet Engines. *Journal of Aviation Yıl:1, Cilt:1* (Issue 1).
- El-Sayed, A., Emeara, M. S., El-Sayed, A. F., & Fayed, M. K. (2017). Performance Analysis of Cold Sections of High Bypass Ratio Turbofan Aeroengine. In *J Robot Mech Eng Resr* (Vol. 2, Issue 1). www.verizonaonlinepublishing.com
- Şöhret, Y., & Karakoç, T. H. (2014). *Gaz Türbinli Uçak Motorlarının Termodinamik Modellenmesi Thermodynamic Modeling of Gas Turbine Aero-Engines* (Issue 2). <http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd>
- Hackney, R., Nikolaidis, T., & Pellegrini, A. (2020). A Method For Modelling Compressor Bleed In Gas Turbine Analysis Software. *Applied Thermal Engineering*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115087>
- Khalil, E. E., El-Sayed, A. F., & Abdelghany, E. S. (2013). Effect Of Bleed Air On Performance Of Turbofan Engines. *51st AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 2013*. <https://doi.org/10.2514/6.2013-598>
- Klein, D., & Abeykoon, C. (2015). *Modelling Of A Turbojet Gas Turbine Engine*. <http://man.ac.uk/04Y6Bo>
- Kowalski, M., & Kotlarz, W. (2020). The Advantages of Using a Bleed of Air from Behind the Compressor and Supplying It Behind the Turbine in an Aircraft Engine. *Journal of KONBiN*, 50(3), 381–394. <https://doi.org/10.2478/jok-2020-0067>
- Rahman, N. U., & Whidborne, J. F. (2008). A Numerical Investigation Into The Effect Of Engine Bleed On Performance Of A Single-Spool Turbojet Engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 222(7), 939–949. <https://doi.org/10.1243/09544100JAERO389>
- Rolls-Royce Ltd. (2005). *The jet engine*. Rolls-Royce.
- Saravanamuttoo, H. I. H. (2017). *Gas turbine theory*.
- Tunçer, O., & İçe, R. Ö. (2016). Bir Mikro Turbojet Motorun Ters Mühendislik ile İncelenmesi. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, 18(54), 562–562. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2016185422>
- Walsh, & Fletcher. (1998). *Gas Turbine Performance* (Second). Blackwell.
- Yadav, R., Jugseniya, C. B., & Scientist, A. A. P. (2005). *Thermodynamic Analysis Of Turbofan Engine*. <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/gt2005/72537/>