

## YÜKSEK BYPASSLI TURBOFAN MOTORLARININ TASARIM NOKTASI ANALİZLERİ

**Önder TURAN**

Anadolu Üniversitesi  
SHYO, Eskişehir  
onderturan@anadolu.edu.tr

**İlkay ORHAN**

Anadolu Üniversitesi  
SHYO, Eskişehir  
iorhan@anadolu.edu.tr

**T.Hikmet KARAKOÇ**

Anadolu Üniversitesi  
SHYO, Eskişehir  
hkarakoc@anadolu.edu.tr

### ÖZET

*Bu çalışmada, sivil yolcu uçaklarında kullanılan yüksek bypasslı, ayrık akışlı ve ardyanmasız turbofan motorlarının tasarım noktası performansı incelenmiş, tasarım değişkenleri (kompresör sıkıştırma oranı, fan sıkıştırma oranı, türbin giriş sıcaklığı, bypass oranı, soğutma havası oranları, lülelerdeki basınç kayıpları gibi) ve farklı uçuş koşullarının (uçuş irtifası ve uçuş Mach sayısı gibi) motor performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Analizlerin yapılması için Visual Basic 6.0 programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Özgül yakıt sarfiyatı ve özgül itki gibi performans parametrelerinin uçuş ve tasarım koşullarındaki değerleri geliştirilen bu yazılım yardımıyla hesaplanmış ve performans eğrileri elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Bypasslı Turbofan, Parametrik Analiz, Ön Tasarım, İtki, Gaz Türbini

### ON-DESIGN ANALYSIS OF HIGH BYPASS TURBOFAN ENGINES

#### ABSTRACT

*In this paper, on design analysis of high bypass turbofan engines with separate flow and no afterburning used in commercial aircraft was analysed and then effects of some design variables (e.g. compressor pressure ratio, fan pressure ratio, turbine inlet temperature, bypass ratio, cooling air ratio, nozzles pressure losses) and effects of different flight conditions (e.g. flight altitude and flight Mach number) on the engine performance were investigated. A new software program had been developed for this purpose in Visual Basic 6.0 programming language. Values of the engine performance parameters such as specific fuel consumption and specific thrust were calculated and then performance curves were obtained in this software program.*

**Keywords:** High Bypass Turbofan, Parametric Analysis, Preliminary Design, Propulsion, Gas Turbine

### 1.GİRİŞ

Günümüzde orta ve uzun menzilli sivil yolcu ve kargo taşımacılığı gerek ülkemizde gerekse dünya üzerinde büyük bir ivme kazanmıştır. 2006-2025 yılları arasında dünya üzerindeki ticari hava taşımacılığında kullanılan uçakların ve bu uçaklarda kullanılan motorların pazar araştırması motor yapımcıları tarafından yapılmaktadır. Rolls-Royce firmasının [1] yaptığı pazar araştırmasına göre önümüzdeki 20 yıllık süreçte 130-180 koltuk kapasiteli yolcu uçaklarının pazara hakim olacağı görülmektedir. Pazarda ikinci sırayı iş jetleri almakta olup 400 ve üzeri koltuklu yolcu uçaklarının ise pazarda en düşük paya sahip oldukları öngörülmüştür.

Önümüzdeki 25 yıllık süreçte motor itki değeri 22,000-45,000 lb (97.86-200.17 kN) olan motor

grubunun adet olarak liderliği ele aldığı görülürken, değer bazında pazarın liderliğini 75,000 lb ve üstü (333.6 kN ve üstü) itki grubuna bıraktığını ve ikinci sıraya gerilediği görülmektedir. Turboprop motorlar ise her iki kategoride pazarda en az paya sahiptir. Önümüzdeki 20 yıllık süreçte sayı olarak iş jetleri ve tek koridorlu uçaklar önemli bir yer tutarken, değer bazında ise çift koridorlu ve uzun menzilli uçakların pazarın hakimi olacağı öngörülmektedir. 2025 yılına kadar olan süreçte dağıtımı yapılacak uçak sayısının toplam değeri 2.7 trilyon doları bulacaktır. Bunun %50'si çift koridorlu, %32'si ise tek koridorlu uçaklar oluşturmaktadır. Küçük bir sektör olmasına rağmen çift koridorlu kargo uçaklarının değeri ise bu zaman dilimi içerisinde 170 milyar doları bulacağı tahmin edilmektedir [1]. Bu durum Çizelge 1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 1.** Uçak adeti ve değeri [1]

Uçak tipi	Uçak sayısı	Değer (milyar \$)
İş jeti	24,027	344
Bölgesel jet	5,745	120
Tek koridorlu uçak	14,965	857
Çift koridorlu uçak	6,287	1,195
Kargo	790	171
<b>Toplam</b>	<b>51,814</b>	<b>2,687</b>

Uçak motor pazarındaki bu durum, uçak pazarının dinamiğini ve dağılımını da göstermektedir. Uçak motor pazarı, uçak kalkış itki değerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, aynı zamanda uçak sınıflandırması için de bir referans değer olabilmektedir. Örneğin kalkış itkisi 6000 lb (26.69 kN) olan uçaklar küçük iş jetleri, 6,000-22,000 lb (26.69-97.86 kN) arasında olanlar bölgesel jetler ve güçlü iş jetleri, 22,000-45,000 lb (97.86 kN-200.17 kN) aralığında olanlar tek koridorlu, 45,000 lb (200.17 kN) değerinden daha yüksek olanlar ise çift koridorlu uçaklar olarak sınıflandırılabilir. İtki grupları maksimum itki değerine göre sınıflandırılarak sayı ve değer bazında motor dağılımı Çizelge 2’de gösterilmiştir. Çizelge 3’te ise sektöre bağlı olarak motor dağılımı adet ve değer olarak verilmektedir.

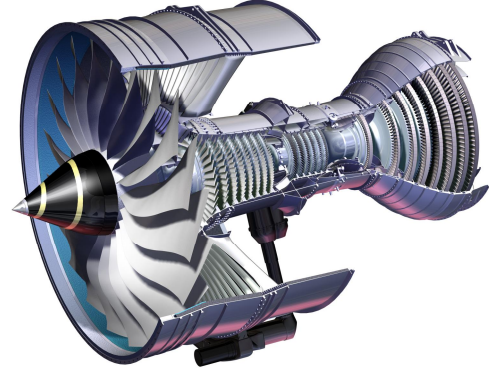
**Çizelge 2.** Uçak motor dağılımı [1]

Kategori	Sayı	Değer (milyar \$)
Turboprop	2,001	2
<3000 lb (<13.34 kN)	21,466	14
3000-6000 lb (13.34-26.69 kN)	10,684	13
6000-10000lb (26.69-44.48 kN)	15,284	27
10000-22000 lb (44.48 kN-97.87 kN)	18,142	63
22000-45000 lb (97.87-200.17 kN)	29,107	185
45000-75000 lb (200.17-333.6 kN)	7,934	121
>75000 lb (> 333.6 kN)	10,151	193
<b>Toplam</b>	<b>114,718</b>	<b>618</b>

**Çizelge 3.** Uçak motor dağılımı (sektör bazında) [1]

Sektör	Sayı	Değer (milyar \$)
İş jetleri	51,001	70
Bölgesel uçaklar	12,639	33
Büyük yolcu taşımacılığı	48,570	475
Kargo	2,508	40
<b>Toplam</b>	<b>114,718</b>	<b>618</b>

Yukarıda açıklanan pazar araştırmasına göre orta ve uzun menzilli yolcu ve kargo uçaklarının pazara hakim olacağı görülmektedir. Bu uçaklarda kullanılan örnek bir motor tipi Şekil 1’de görülen yüksek bypasslı, ayırık akışlı ve arduyanmasız bir turbofan motorudur.

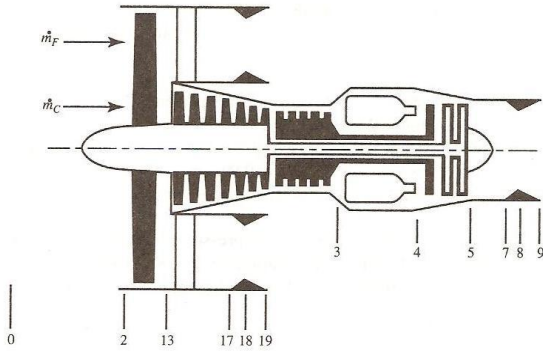
**Şekil 1.** Yüksek bypasslı turbofan motoru [2]

Orta ve uzun menzilli yolcu ve kargo taşımacılığında yüksek bypasslı turbofan motorlarının kullanılmasının sebebi özgül yakıt sarfiyatının turbojet, karışık akışlı turbofan gibi diğer motorlara göre düşük olmasıdır. Özgül yakıt sarfiyatı, tıpkı özgül itki gibi bir motor performans parametresi olup motor tipinin diğer motorlarla karşılaştırılmasında önemli bir kriterdir. Tasarımda bu değer en küçükleme istenmektedir. Özgül yakıt sarfiyatı, özgül itki, itki, ısı ve toplam verimler gibi parametreler motorun önemli tasarım parametreleri olup tasarım noktası analiz (on-design veya parametrik analiz) denklemleriyle hesaplanırlar. Bu çalışmada önce tasarım noktası analiz denklemleri kullanılarak geliştirilen görsel arayüzlü bilgisayar yazılımı tanıtılmış ve bu yazılımdan elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır.

## 2. YÜKSEK BYPASSLI TURBOFAN MOTORUNUN TASARIM NOKTASI ANALİZİ

Tasarım noktasında çevrim analizleri, aracı akışkanın termodinamik değişimlerini inceler. Çevrim analizleri, parametrik çevrim analizi (tasarım noktası) ve

performans analizi (tasarım noktası dışı) olmak üzere iki bölüme ayrılır. Parametrik analiz, farklı uçuş koşulları, farklı tasarım seçimleri (örneğin kompresör sıkıştırma oranı) ve tasarım kısıtları altında (örneğin yanma odası çıkış sıcaklığı) motor performansını belirlemektedir. Performans analizi ise belirlenen özgül değerlere sahip motorun farklı uçuş koşullarında ve güç seviyelerinde performansının hesaplanmasını sağlar. Her iki durumda da motorun bileşenleri, sahip oldukları özelliklerdeki değişimlerle ifade edilirler. Örneğin kompresör, toplam basınç oranı ve verimindeki değişimle karakterize edilir. Mutlak bir motor davranışı, onun geometrisiyle tespit edilir. Parametrik analizlerde motor geometrisi kullanılmamaktadır. Motorun davranışı, özgül itki değeri ve özgül yakıt sarfiyatıyla grafiksel olarak ifade edilebilmektedir. Grafikler üzerinde her bir nokta farklı bir motoru temsil eder ve bu noktadaki motorun geometrisi de farklıdır. Uçak gaz türbinlerinin parametrik ve performans analiz denklemlerini çeşitli kaynaklarda bulmak mümkündür [3-10]. Şekil 2’de yüksek bypasslı bir turbofan motorunun istasyon numaralandırılması görülmektedir.



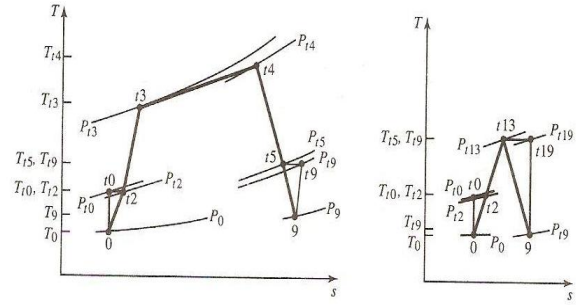
Şekil 2. Yüksek bypasslı turbofan motorunun istasyon numaralandırması [3]

Her bir motor bileşeninin koşulları giriş ve çıkış koşulları istasyon numarasına göre belirtilir. Yüksek bypasslı bir turbofan motorunun gerçek T-s diyagramı Şekil 3’te görülmektedir. Çizelge 4’te ise istasyon numaralarının açıklamaları verilmektedir.

Çevrim analizleri yapılırken ;

- Yanma odası öncesinde,  $c$  alt indisi kompresörü ifade etmekte olup  $\gamma_c$  (özgül ısılar oranı),  $R_c$  (gaz sabiti),  $C_{pc}$  (sabit basınçta özgül ısı) değerleri sabittir ve akışkan gaz mükemmel gazdır.
- Yanma odası sonrasında,  $t$  alt indisi türbini ifade etmekte olup  $\gamma_t$  (özgül ısılar oranı),  $R_t$  (gaz sabiti),  $C_{pt}$  (sabit basınçta özgül ısı) değerleri sabittir ve akışkan gaz mükemmel gazdır.

- Kompresör, fan ve türbin verimleri tanımlanırken sabit politropik verim ifadeleri



her bir bileşen için ayrı ayrı verilmiş olup bu değerler sabittir.

Şekil 3. Yüksek bypasslı turbofan motorunun (kayıplı haldeki) T-s diyagramı [3]

Çizelge 4. Termodinamik noktaların açıklamaları

İstasyon no	Açıklama
0	atmosfer (serbest akım)
2	fan girişi
13	bypass akımı çıkışı
17	bypass akımı boğaz girişi
18	bypass lülesi boğaz bölgesi
19	bypass akımı çıkışı
3	yanma odası girişi
4	yanma odası çıkışı
5	alçak basınç türbini çıkışı
7	egzos lülesi boğaz bölgesi girişi
8	egzos lülesi boğaz bölgesi
9	yanmış gazların motordan çıkışı

$V$  hız,  $T$  sıcaklık,  $P$  basınç,  $\alpha$  bypass oranı,  $f$  yakıt/hava oranı,  $a$  ses hızı,  $M$  Mach sayısı,  $g_c$  Newton sabiti ve  $\dot{m}$  hava debisi olmak üzere özgül itki ( $F / \dot{m}_0$ );

$$\frac{F}{\dot{m}_0} = \frac{1}{1+\alpha} \frac{a_0}{g_c} \left[ \frac{(1+f) \frac{V_9}{a_0} - M_0 + (1+f)}{R_t T_9 / T_0 \frac{1-P_0/P_9}{R_c V_9 / a_0 \gamma_c}} \right] + \frac{\alpha}{1+\alpha} \frac{a_0}{g_c} \times \left[ \frac{\frac{V_{19}}{a_0} - M_0 + T_{19} / T_0 \frac{1-P_0/P_{19}}{V_{19} / a_0 \gamma_c}}{V_{19} / a_0 \gamma_c}} \right] \quad (1)$$

denklemlerle ifade edilir. Bu denklem kullanılarak özgül yakıt sarfiyatı ( $SFC$ ) aşağıdaki (2) nolu denklemle ifade edilir:

$$SFC = \frac{f}{(1+\alpha)F / \dot{m}_0} \quad (2)$$

(1) ve (2) nolu denklemlerde belirtilen parametreler, motorun önemli iki parametresidir. Bundan başka verim ifadelerini de tanımlamakta yarar vardır. İtki verimi ( $\eta_P$ ) aşağıdaki (3) nolu denklemle bulunur:

$$\eta_P = \frac{2M_0[(1+f)V_9/a_0 + \alpha(V_{19}/a_0) - (1+\alpha)M_0]}{(1+f)(V_9/a_0)^2 + \alpha(V_{19}/a_0)^2 + (1+\alpha)M_0^2} \quad (3)$$

Bir motorun ısı verimi ( $\eta_{TH}$ ) ise;

$$\eta_{TH} = \frac{a_0^2[(1+f)(V_9/a_0)^2 + \alpha(V_{19}/a_0)^2 - (1+\alpha)M_0^2]}{2g_c f h_{PR}} \quad (4)$$

olarak ifade edilir. (4) numaralı denklemde  $h_{PR}$  terimi yakıtın alt ısı değerini göstermektedir. Bir motorun toplam verimi ( $\eta_o$ ) ise itki verimiyle ısı veriminin çarpımına eşittir ve aşağıdaki (5) nolu denklemle gösterilir:

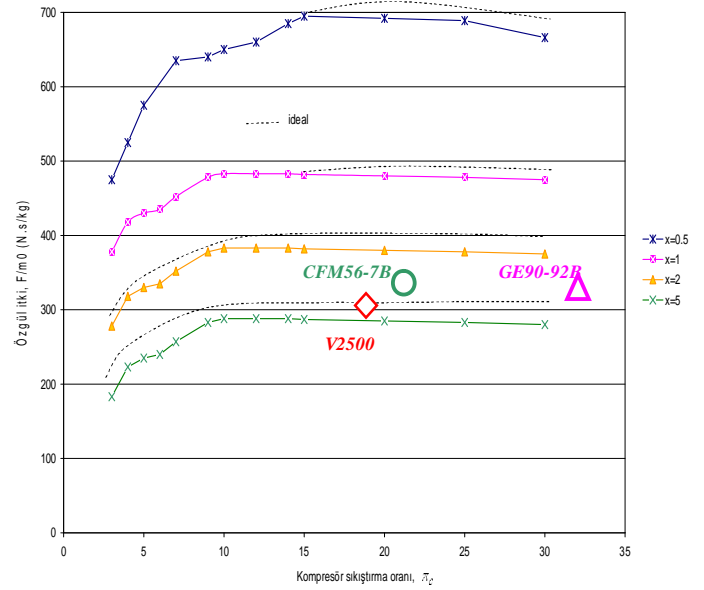
$$\eta_o = (\eta_P)(\eta_{TH}) \quad (5)$$

### 3. GELİŞTİRİLEN YAZILIM YARDIMIYLA YÜKSEK BYPASSLI TURBOFAN MOTORUNUN TASARIM NOKTASI GRAFİKLERİ

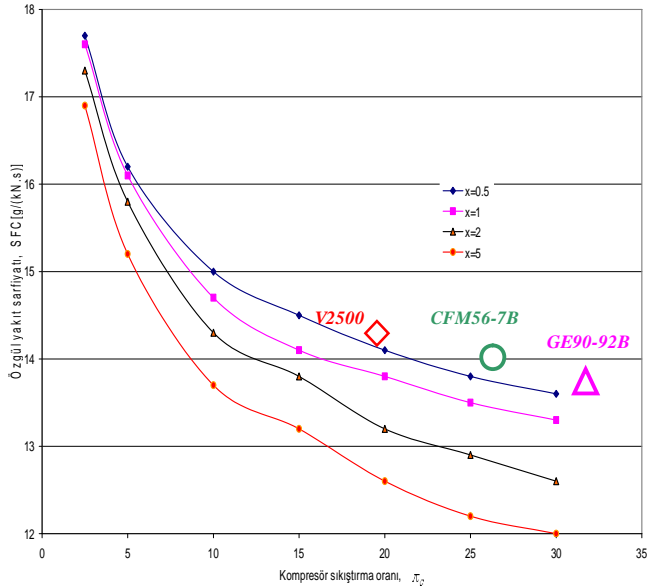
Yüksek bypasslı turbofan motorunun gerek tasarım noktası (parametrik analiz) gerekse tasarım noktası dışı (performans analizi) hesaplamalarını yapan Visual Basic 6.0 programlama dilinde Turan [10] tarafından geliştirilen yazılım 4. bölümde açıklanacak olup, bu bölümde bu yazılımdan elde edilen parametrik sonuçlar ve farklı tasarım değişkenlerine bağlı grafikler anlatılmaktadır. Ayrıca Şekil 4'ten Şekil 9'a kadar olan grafiklerde günümüzde sıkça kullanılan CFM56-7B, V2500 ve GE90-92B motorlarının tasarım noktası değerleri grafikler üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 4'te farklı bypass oranlarında kompresör sıkıştırma oranıyla özgül itkinin ideal ve gerçek çalışma koşullarındaki değişimi görülmektedir.

Şekil 4'e göre kompresör sıkıştırma oranının belirli bir değerine kadar özgül itkinin arttığı, belirli bir değerden sonra sabit kaldığı görülmektedir. Kompresör sıkıştırma oranı sabit olmak üzere bypass oranının artması özgül itkiyi azaltmaktadır. Şekil 5'te ise kompresör sıkıştırma oranıyla özgül yakıt sarfiyatının farklı bypass oranlarındaki değişimi görülmektedir.



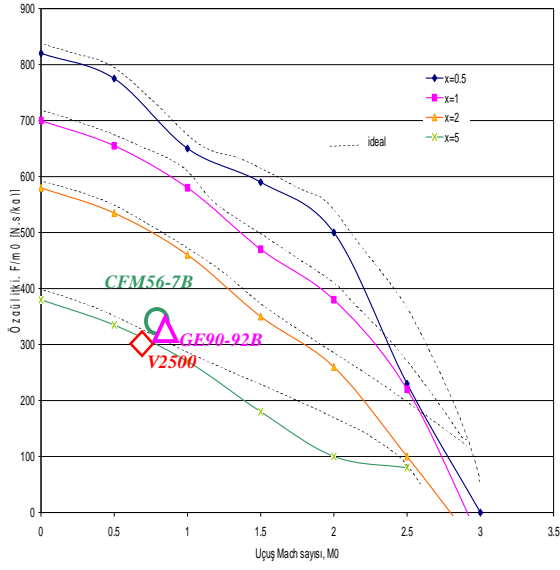
Şekil 4. Kompresör sıkıştırma oranıyla özgül itkinin değişimi [11]



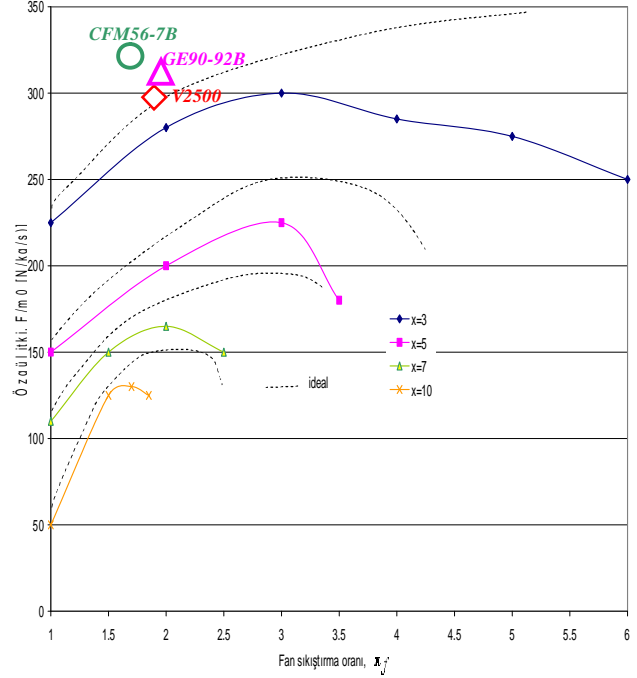
Şekil 5. Kompresör sıkıştırma oranıyla özgül yakıt sarfiyatının değişimi [11]

Özgül yakıt sarfiyatı, Şekil 5'de görüldüğü gibi kompresör sıkıştırma oranıyla azalmaktadır. Bypass oranı arttıkça özgül yakıt sarfiyatındaki bu azalış daha fazladır. Uçuş Mach sayısının özgül itki ve özgül yakıt sarfiyatı üzerindeki etkisi Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir.

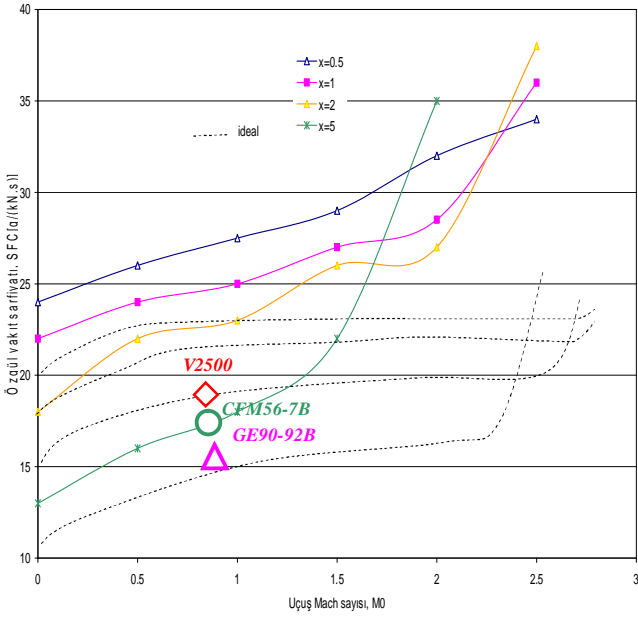
Şekil 6'da görüldüğü gibi uçuş Mach sayısı ve bypass oranının artması özgül itki değerini azaltmaktadır.



Şekil 6. Uçuş Mach sayısı ile özgül itkinin değişimi [11]



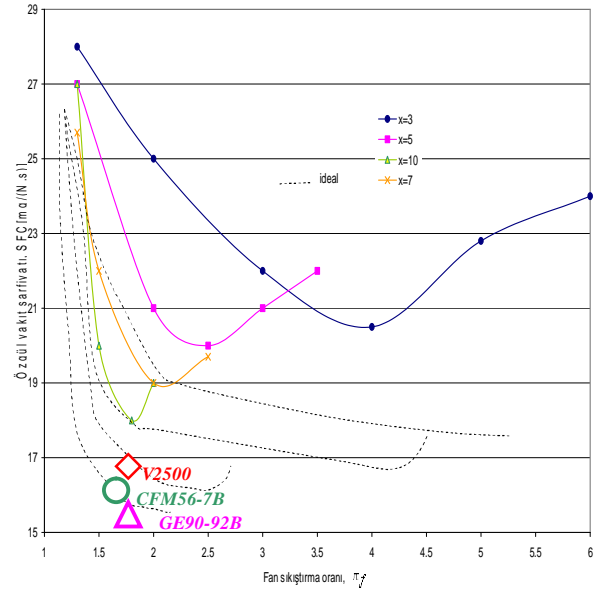
Şekil 8. Fan sıkıştırma oranı ile özgül itkinin değişimi [11]



Şekil 7. Uçuş Mach sayısı ile özgül yakıt sarfiyatının değişimi [11]

Şekil 7'de uçuş Mach sayısının artmasıyla özgül yakıt sarfiyatı artmakta olduğu, daha düşük bypass oranlarında daha yüksek özgül yakıt sarfiyatı elde edilmektedir. Şekil 8 ve Şekil 9'da ise, fan sıkıştırma oranının özgül itki ve özgül yakıt sarfiyatı üzerindeki etkisi görülmektedir.

Şekil 8'de fan sıkıştırma oranının belirli bir değer artışına kadar özgül itki maksimum değerine ulaşırken, Şekil 9'da da özgül yakıt sarfiyatının belirli bir fan sıkıştırma oranında minimum değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 9. Fan sıkıştırma oranı ile özgül yakıt sarfiyatının değişimi [11]

Bu çalışmanın 4. bölümünde analizlerin yapılması için geliştirilen yazılımın ekran görüntüleri ve yazılımın yapısı anlatılmaktadır.

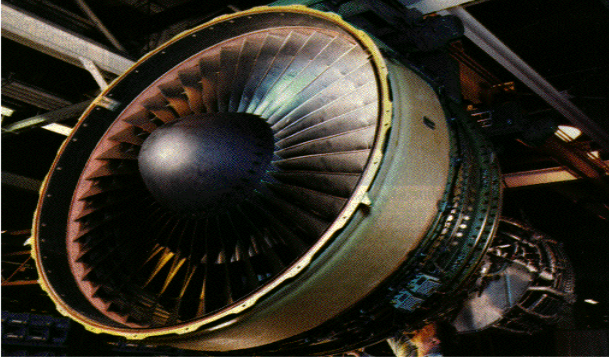
#### 4. YÜKSEK BYPASSLI TURBOFAN MOTORU İÇİN GELİŞTİRİLEN YAZILIM

Literatürde uçak gaz türbinli motorların çevrim performansını hesaplayan birkaç yazılım mevcuttur. Mattingly [13] ve Kurzke [14] tarafından bu konuda geliştirilen yazılımlar mevcuttur. Ancak bu çalışmalardan bir kısmının ücretli olması, bir kısmının da yazılımın geliştirilmesine uygun olmaması sebebiyle yeni bir yazılım geliştirilme ihtiyacı duyulmuştur. 3 bölümde bu yazılımdan elde edilen

grafikler anlatılmıştır. Bu bölümde ise görsel kullanıcı ara yüzüne sahip yazılımın ekran görüntüleri sunulmaktadır.

Şekil 10 ve Şekil 11'de geliştirilen yazılıma ait giriş menüleri verilmektedir. Kullanıcı uçuş irtifası, uçuş Mach sayısı, bileşenlerin mekanik verimleri, yakıtın ısı değeri, soğutma hava oranları gibi tasarımcının belirlediği değerlere göre motor performans değerlerinin hesaplanabilmektedir. Yazılım hem SI birim sisteminde hem de İngiliz birim sisteminde hesaplama yapılabilmektedir.

*On-Design Calculation High Bypass Turbofan Engine Input Menu*



Mach Number	0.8	Cooling Air #2[%]	3
Altitude[ft]	30000	PIB	0.97
T0[R]	411.6852	PI D	0.97
P0 [psia]	4.3651	PI N	0.98
Bleed Air [%]	3	PI N'	0.98
Shaft Coefficient	0.01	ec'	0.89
Gamma C	0.238	eCH	0.90
Gamma T	1.35	eTH	0.89
Cp C [Btu/lbm R]	1.4	eTL	0.91
Cp T [Btu/lbm R]	0.262	nmH	0.98
HPR[Btu/lbm]	18000	nmL	0.99
Cooling Air #1[%]	4	nmP	0.98
nB	0.98	Bypass Ratio	10
PI C'	1.3	T4[R]	2600
PI C	25	Massflow[lbm/sec]	1700

Performance Calculation Of  
High Bypass Turbofan Engine

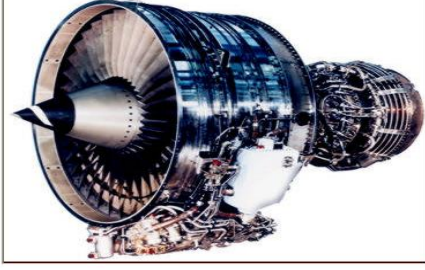
Return To Main Menu

Şekil 10. Yüksek bypasslı turbofan motorunun parametrik giriş menüsü [11]

*On-Design Calculation High Bypass Turbofan Engine Output Menu*

OFF-DESIGN MENU Mach Number Compressor Pressure Ratio Bypass Ratio

V9/V0	2.014
V9/V0	1.2596
PI TH	0.2146
PI TL	0.2784
TAU C'	1.0879
TAU CH	2.5563
TAU TH	0.7011
TAU TL	0.7396
TAU LMD	6.9524
nC'	0.8856



nCH	0.8529
nTH	0.9085
nTL	0.9229
M9	1
M9'	0.9958
P9/P9	1.8627
T9/T0	2.6952
P0/P9	0.8873
P9'/P9'	1.8837
T9'/T0	1.0241
P0/P9'	1
Massflow[lbm/sec]	1700

Return High Bypass Turbofan  
Engine Input Menu

Save Data To File

Şekil 11. Yüksek bypasslı turbofan motorunun parametrik hesaplama menüsü [11]

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüksek bypasslı turbofan motorlarının parametrik ve performans analizlerini gerçekleştirmek için geliştirilen bir yazılım ve bu yazılımdan elde edilen parametrik analiz sonuçları açıklanmıştır. Böylelikle bir motor tasarlanırken, özgül yakıt sarfiyatının enküçüklenmesi, özgül itkinin enbüyüklenmesi, verim değerlerinin enbüyüklenmesi gibi amaç fonksiyonları doğrultusunda, kompresör sıkıştırma oranı, fan sıkıştırma oranı, bypass oranı, uçuş Mach sayısı, yakıtın ısı değeri, havanın nemi, lülelerdeki basınç kayıpları, türbin giriş sıcaklığı gibi değişkenlerin performans değerleri üzerine etkileri görülebilmektedir. Geliştirilen yazılımdan elde edilen parametrik analizlerde kompresör sıkıştırma oranı, bypass oranı ve fan sıkıştırma oranı gibi çeşitli serbest değişkenler seçilerek çok amaç fonksiyonlu (multiobjective) problem yapısı oluşturulup bir eniyileme (optimizasyon) çözümlenmesi yapılabilir.

Bu çalışmada geliştirilen yazılıma eniyileme problemlerini çözebilen yazılım kodları eklenebilir. Geliştirilen bu yazılıma motor performansına etkileyen deneysel çalışmalarla bulunmuş yeni parametreler ilave edilebilir. Dolayısıyla motor tasarım parametrelerinin bir fonksiyonu olan motor ağırlığı, emisyon ve gürültü seviyesi gibi ilave performans özelliklerinin yazılıma eklenmesi motorların performans özelliklerinin daha etkin değerlendirilmesini sağlayacaktır. Sonuç olarak hem uçak gaz türbinleri alanında eğitim gören öğrencilere hem de bu konuda yapılacak AR-GE çalışmalarında kullanılmak amacıyla geliştirilen bu yazılımın ve yazılımdan elde edilen sonuçların faydalı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://www.rollsroyce.com/civil\\_aerospace](http://www.rollsroyce.com/civil_aerospace)
- [2] <http://www.investis.com/il/images/rrmedia>
- [3] Mattingly, D., J., "Elements of Gas Turbine Propulsion", McGraw-Hill, International Editions, Singapore, 1996.
- [4] Mattingly, D., J., Heiser, H.,W. ve Pratt, T.,D., "Aircraft Engine Design", Second Edition, AIAA Education Series, A.B.D., 2002.
- [5] Mattingly, D., J., Heiser, H.,W. ve Pratt, T.,D., "Aircraft Engine Design", Third Printing, AIAA Education Series, A.B.D., 1987.
- [6] Hill, P. ve Peterson, C., "Mechanics and Thermodynamics of Propulsion", Second Edition, Addison Wesley Publishing Company, A.B.D., 1992.
- [7] Oates, C.,G., "Aerothermodynamics of Gas Turbine and Rocket Propulsion", Fourth Printing, AIAA Education Series, A.B.D., 1988.

[8] Cohen, H., Rogers, G., F. ve Saravanamuttoo, H.,I., "Gas Turbine Theory", 4th Edition, Longman Group Limited, England, 1996.

[9] Bathie, W.,W., "Fundamentals of Gas Turbines", Second Edition, John Wiley&Sons, A.B.D., 1996.

[10] Turan, Ö., "Gaz Türbinli Motorlarda Performans Analiz ve Değerlendirme Programları", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2000.

[11] Turan, Ö., "Turbofan Motorlarının Elitizmlı Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimizasyonu", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007

[12] Mattingly, J., ONX ve OFFX programları

[13] Kurzke, J., GASTURB user manuals

## ÖZGEÇMİŞLER

### Dr. Önder TURAN

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Motor Bakım Bölümünden 1998 yılında mezun oldu. 1998-2000 yıllarında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans, 2002-2007 yıllarında da doktora eğitimini tamamladı. Akışkanlar mekaniği, termodinamik, gaz türbinleri, eniyileme ve genetik algoritma konuları ile ilgilenmektedir. Halen Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulunda çalışmaktadır.

### Dr. İlkay ORHAN

Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Motor Bakım Bölümünden 2000 yılında mezun oldu. 2000-2002 yıllarında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans, 2002-2007 yıllarında da doktora eğitimini tamamladı. Termodinamik, kojenerasyon, gaz türbinleri ve eniyileme konuları ile ilgilenmektedir. Halen Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulunda çalışmaktadır.

### Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ

1980'de Anadolu Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1982'de Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Yüksek Lisans Derecesini aldı. 1987'de Doktor, 1988'de Yardımcı Doçent, 1991'de Doçent, 1997'de Profesör oldu. Araştırma konuları Tesisat, Gaz Türbinleri, Havacılık, Yakıtlar ve Yanma, Doğalgaz ve Enerji Ekonomisidir. Ulusal ve uluslararası 60 makale ve bildirisi, ayrıca 10 kitabı yayınlanmıştır. TTMD ve TİMDER dergilerinin Genel Yayın Yönetmenliğini -Editörlüğünü sürdürmektedir. MMO Eskişehir Şubesi, TIBTD, Eskişehir Öğretim Elemanları Derneği ve TTMD'de Yönetim Kurulu

üyesi olarak çalışmış olup, Atatürkçü Düşünce Derneği Şubesi ve Eskişehir Arama Kurtarma Derneği (ESKUT) Başkanlığı görevlerini yürütmüştür. ÇİTOSAN, ESÇİM, 1.Hv. İk. Bk., ODE, İzocam, Gelişim Teknik ve Demirdöküm için çeşitli proje çalışmaları, kitap çalışmaları ve danışmanlık yapmıştır. Halen Anadolu Üniversitesi'nde öğretim üyesidir. Evli ve bir çocuk babasıdır.