



ÖZGÜN TÜRBO-DÖNGÜSEL MOTOR TASARIMI, İMALATI VE PERFORMANS DEĞERLERİ

İbrahim Sinan AKMANDOR¹, Melih OKUR²

¹ Prof. Dr. İbrahim Sinan AKMANDOR (E), Pars Makina Ltd., Ankara, sinan.akmandor@parsmakina.com

² Doç. Dr. Melih OKUR, Otomotiv Müh. Böl., Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar, Ankara, mokur@gazi.edu.tr

DOI: [10.23890/SUHAD.2017.0103](https://doi.org/10.23890/SUHAD.2017.0103)

ÖZET

300 DaN itki sınıfında klasik bir turbojet motor performansı ile tamamen yerli bir konsept olan Pars turbojet motorun itki ve yakıt tüketim düzeyleri karşılaştırılmıştır. Pars turbojet motor klasik turbojet motora göre %35 daha az hava ile tüm kompresör basma oranları ve tüm türbin giriş sıcaklıklarında klasik turbojet motoruna göre %5 daha fazla itki ürettiği ve %3 daha iyi özgül impuls'a sahip olduğu ortaya konmaktadır. Bu iyileştirmenin sebebi aynı kompresör basıncı ve türbin giriş sıcaklığında daha fazla iş üretebilen patentli özgün termodinamik çevrimdir. 1'e kadar artan uçuş Mach sayısına göre itki ve yakıt tüketimine bakıldığında ise çok düşük Mach sayıları hariç Pars turbojet motorun klasik turbojet motora göre daha üstün performans sergilediği görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Paletli Turbo Motor, Turbo-Döngüsel Motor, Dönel Piston Kompresör ve Türbin, Yüksek Verimli Özgün Turbojet, Düşük Devirli Yüksek Verimli Motor

NOVEL TURBO-ROTARY ENGINE DESIGN, MANUFACTURING AND PERFORMANCE VALUES

ABSTRACT

The thrust and fuel consumption levels of a totally indigenous concept named as Pars turbojet and a conventional turbojet engine in the 300 DaN thrust range have been compared to each other. Compared to this conventional turbojet, Pars turbojet uses 35% less air and produces %5 more thrust with 3% better specific impulse across all compressor pressure ratios and all turbine inlet temperatures. The reason of this performance improvement is the patented novel thermodynamic cycle that can produce more work for same compressor pressure ratio and turbine inlet temperature. Also when flight Mach number was varied from 0 to 1, Pars turbojet exhibited a performance higher than conventional turbojet except for very low Mach numbers.

Keywords: Turbo Vane Engine, Turbo-Rotary Engine, Rolling Piston Compressor and Turbine, Highly Efficient Innovative Turbojet, Low RPM High Efficiency Engine

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır gaz türbinli motorlar hafif, güçlü fakat göreceli olarak daha az verimli motorlar olarak havacılık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pistonlu motorlar ise kara ve deniz ulaşımında piyasa payı açısından üstünlüklerini tartışmaşız olarak sürdürmektedirler. Pistonlu motorlar üretikleri güce göre çok ağır olmalarına rağmen verimli oldukları için tercih edilmektedirler. Emre amadelik ve periyodik bakım aralığı olarak ise gaz türbinli motorların pistonlu motorlara üstünlük

kurduklarını görmekteyiz. Gaz türbinli motorlar 20000 saatte bir ağır bakıma girmelerine karşın, pistonlu motorlarda bu rakkam 3000 saat civarında kalmaktadır.

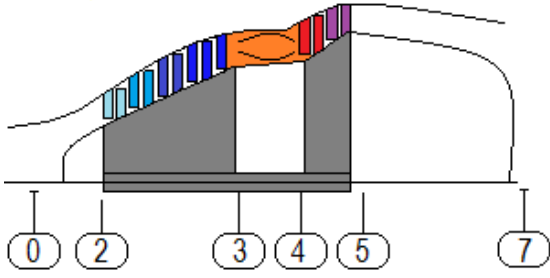
Döngüsel motorlar yüksek verimlilik ve güç vaat etmelerine karşın Wankel motor dışında henüz piyasaya çıkmış bir motor bulunmamaktadır. Bunun nedeni bu motorların henüz temel mekanik sorunlarını çözmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Geleneksel paletli turbo motorlar hala birkaç kayda değer sorun

sergilemektedirler. Paletlerin her biri kendi ilgili yuvanın içinde ileriye ve geriye doğru hareket ettiği zaman, hatırı sayılır bir derecede sürtünme, ısı ve aşınma üretilmektedir. Bu nedenle döngüsel motorlar yoğun olarak motor içi yağlama gerektirmekte buda emisyonları olumsuz yönde etkilemektedir. Yağlama olmaksızın uzun süreli çalışmada ise palet yuvaları zamanından önce aşınmakta, boşluklar artmakta ve performans bozulmaktadır. Pars Makina patentlerinde ve makalelerinde açıklandığı üzere, kavisli dönele paletle sahip olan kompresör ya da genişleticilerde bu gibi aşınmalar önlenmiştir. (I. S. Akmandor, 2015), (I. S. Akmandor, 2014), (I. S. Akmandor, 2013), (I. S. Akmandor, N. Ersoz, 2008), (M. Okur, I. S. Akmandor, 2011) Ancak daha önceki döngüsel motorların eksantrik değerleri pistonlu motorlara göre düşük olduğu için yeteri kadar tork üretememekteydi. Döngüsel motorlardaki düşük tork sorunu, iç rotor ile birlikte dönen dış gövde yapısı ile aşılmış görünmektedir. Böylelikle Pars türbojet motor, gaz türbinli motor ile pistonlu motor konseptlerinin bir melezi olarak motor dünyasında performansı, üretim kolaylığı, ucuzluğu, sağlam ve uzun ömürlülüğü ile önder bir yer edinmeyi hedeflemektedir.

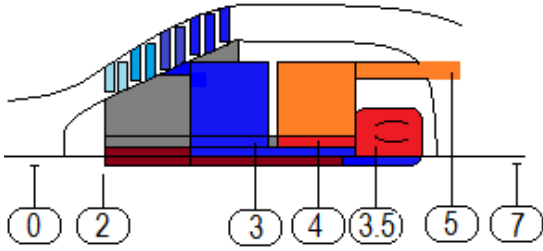
2. MOTOR YAPISI VE ÖNE ÇIKAN ÖZELLİKLER

Klasik türbojet yapısı şekil 1'de verilmektedir. Bu yapı çok balanslı olmasına rağmen birçok zafiyet de içermektedir. Bunlar; a) Kompresör kademesi basma oranları çok azdır. Çünkü ister aksel, ister radyal kompresörler'de olsun, kompresyon süreci, önu ve arkası açık bir yapı içinde gerçekleştirilmektedir. Önu ve arkası açık bir bölgede havanın sıkıştırılabilmesi için rotorların çok yüksek hızda ve kanatçıkların çok iyi bir aerodinamik yapı ile döndürülmesinin gereklidir. Bu yüksek hız, büyük ve ağır rotor disklerinin varlığına yol açmaktadır çünkü kanatçıkları merkez kaç kuvvetini yenerek disk bağlantılarına zarar vermemesi gerekir. Kompresör kademesinin basınçlandırma kabiliyeti sınırlı olduğundan, arzu edilen basma oranlarına ulaşmak için uzun ve ağır kompresör grupları tasarlanmaktadır. b) Türbojet motorlar küçüldükçe motorun verimliliğide azalmaktadır. Oysa insansız hava araçlarının yaygınlaşması ile birlikte motorların küçülmesi dünya geleceğinin kaçınılmaz bir olgusudur. Küçük gaz türbinli motorlar -düşük verimliliklerinden dolayı- pazar paylarının bir bölümünü pistonlu motorlara devretmektedirler. c) Sürekli yüksek sıcaklığa maruz kalan türbin kanatçıklarının soğutulması gereklidir. Bu soğutma gereksinimi bazen kompresörde üretilen basınçlı ve faydalı havanın %20sinden fazlasını bile

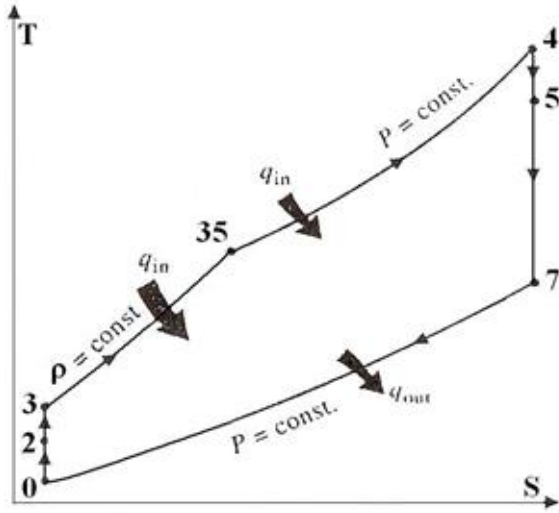
tüketmektedir. Pars türbojet yapısı Şekil 2'de verilmektedir. A) Klasik türbojetin merkezinden ince bir shaft kompresör ve türbin gruplarını bağlarken Pars türbojet'te kompresör ve türbin sabit ve sağlam bir kiriş üzerine monte edilmektedir. B) Pars türbojetin motor dış gövdesi döndüğü için kompresör havası en dış çapta teğetsel yönde kepeçlenerek içeri alınmaktadır. Bu olgu hava alığının yüksek volümetrik verimde sürekli çalışmasını sağlamaktadır. C) Kompresör kapalı hacim içinde sıkıştırma yapmakta, basma verimi %30'a kadar artmaktadır. D) Yanma odası sabit merkez kiriş üzerine monte edilerek motor çapı en verimli şekilde kullanılmaktadır. E) Türbin radyal yönde içten dışa genişleme sağlamakta, yüksek enerjili dolgu, kapalı hacim içinde geliştirildiği için klasik türbojet motorlarına göre çok daha yüksek sıcaklıkları işleyebilmekte, verimliliğin artmasına katkıda bulunmaktadır. F) Klasik türbojetlerden farklı olarak türbin girişi değil kompresör girişi boğulmaktadır. Böylelikle akış içindeki basınçlandırma darbeleri sönmelenmekte, sürekli yanma türbojet motorlarında olduğu gibi sağlanmaktadır. G) yanma kapalı küçük bir yanma hacmi içinde oluşmaktadır, Pars türbojet motor devir hızı klasik türbojet motorlarına göre daha az olduğu için yanmanın ilk evresinde sabit hacim yanma ile birlikte basınç dahada artmakta, sistemin ürettiği itki de bu oranda yükselmektedir. Daha fazla yakıt harcanmadığı için sistem termal verimi daha yüksek olmaktadır. F) Yanma odası sabit merkez kirişte olması, türbindeki genişlemenin merkezden dışa doğru olmasını sağlamaktadır. Radyal yönü aksel yön ile birlikte kullanıldığı için bu olgu motor dış çapının klasik türbojet motorlara göre daha az küçüktür (bakınız Şekil 1 ve Şekil 2) G) Türbin girişinde bulunan yönlendirici lüle çıkışında oluşan ani öngenleşme Pars türbojet motorda önlenmiş, faydalı genişleme süreci artmıştır. Şekil 3'te Pars türbojet motora ait patentli termodinamik çevrim verilmektedir. Brayton çevriminden ana fark yanmanın bir bölümünün (3-3.5) sabit hacim yanma olmasıdır. Sabit yoğunluk eğrisi (3-3.5) sabit basınç eğrisine (3.5-4) göre daha yüksek bir eğime sahip olduğu için çevrimin faydalı iş alanı artmaktadır. Tasarlanan motor şekil 4'te verilmektedir. Şekil 5 üretilen motor prototipini göstermektedir. Motor üretimi süreçleri sırası ile universal torna, malzeme normalizasyonu, CNC freze, malzeme normalizasyonu ve malzeme sertleştirme, universal taşlama, satıh taşlama ve son olarak tel erozyon CNC işlemlerini içermektedir.



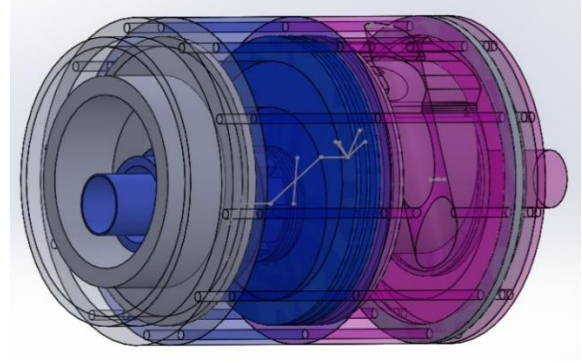
Şekil 1: Klasik türbojet. Mavi: kompresör, Kahverengi: yanma odası, Kırmızı-mor: türbin, Gri: dönen rotor diskleri



Şekil 2: Pars türbojet. Mavi: aksel kompresör ve kapalı hacim kompresör. Gri: dönen disk. Koyu kahverengi: rulmanları taşıyan sabit giriş. Kırmızı: yanma odası ve sabit hacim yanma. Kahverengi: türbin ve egzost.



Şekil 3: Termodinamik çevrim



Şekil 4: Pars türbojet motor (yanma odası gösterilmemektedir). Gri: Döner rulman yuvaları. Merkez mavi boru: sabit giriş. Lacivert: kompresör. Açık kırmızı: türbin.



Şekil 5: Üretilen Pars türbojet motor (yanma odası gösterilmemektedir). Beyaz: seramik rulmanlar. Yan hava deliği havayı teğetsel olarak kepçeyerek ve fazladan basınçlandırarak içeri almaktadır.

3. DENKLEMLER VE PERFORMANS FORMÜLLERİ

Tasarım boyutlandırma öncesi sabitlenen değerler: teknolojik motor parametreleri olarak da adlandırılan yanma odası sabit hacimde boyutsuz maksimum yanma sıcaklık oranı $\theta_v = \frac{T_{t35}}{T_0}$ ile

yanma sonu çıkılabilecek en yüksek boyutsuz sıcaklık derecesi $\theta_t = \frac{T_{t4}}{T_0}$ olarak tanımlanmaktadır.

Bunlar motor malzemesi ile ilişkili değerlerdir ve tasarımcı tarafından boyutlandırma aşamasında sabitlenmektedir. Ayrıca seyir Mach sayısı uçağın uçuğu irtifada tasarım öncesi sabitlenmektedir.

İrtifa ile birlikte statik sıcaklık ve statik basınç değerleride T_0, p_0 sabitlenmektedir. M_0 bilindiği için $\theta_0 = 1 + \frac{\gamma-1}{2} M_0^2$ değeri hesaplanmaktadır.

Kompresör basma oranı π_c tasarım boyutlandırma

ana parametresi olduğu için tarafımızca belirlenmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında $\tau_c, \tau_{bv}, \tau_b$ 1 ve 2'den hesaplanmaktadır. Kompresör ve türbinin politropik komponentler olduğu ve politropik verimin η_{pol} bilindiği varsayılmaktadır.

$$\tau_c = \frac{T_{t3}}{T_{t2}} = \pi_c^{\frac{(\gamma_c-1)}{\gamma_c \eta_{pol}}} \quad (1)$$

$$\tau_b = \frac{T_{t4}}{T_{t35}} = \frac{\theta_t}{\theta_v} \text{ ve } \tau_{bv} = \frac{T_{t35}}{T_{t2}} = \frac{\theta_v}{\theta_0 \tau_c} \quad (2)$$

Kompresör ve türbin arasındaki güç eşitliği denklemini (3) kullanarak türbin toplam sıcaklık ve basınç oranları τ_t, π_t aşağıdaki denklemlerden (3 ve 4) hesaplanmaktadır:

$$\tau_t = 1 - \frac{\theta_0}{\theta_t} (\tau_c - 1) \quad (3)$$

$$\tau_t = \pi_t^{\frac{(\gamma_t-1)\eta_{pol}}{\gamma_t}} \quad (4)$$

Sabit hacim yanma'ya ait sıcaklık ve basınç oran ilişkileri: Yanma başlangıcında kısa bir süreliğine de olsa sabit hacim'de yanma gerçekleşmekte ve bu süreç (3'ten 3.5) boyunca yoğunluk sabit kalmaktadır ($\frac{1}{\rho_{t35}} = \frac{1}{\rho_{t3}}$). İdeal gaz ilişkisinden

(5), sabit hacim yanma sürecine ait toplam sıcaklık ve toplam basınç ($\tau_{bv} = \frac{T_{t35}}{T_{t2}}, \pi_{bv} = \frac{P_{t35}}{P_{t2}}$)

değerleri arasındaki ilişki ortaya çıkmaktadır (6)

$$\mathfrak{R} = \frac{P_{t35} \frac{1}{\rho_{t35}}}{T_{t35}} = \frac{P_{t3} \frac{1}{\rho_{t3}}}{T_{t3}} \quad (5)$$

$$\frac{P_{t35}}{T_{t35}} = \frac{P_{t3}}{T_{t3}} \text{ yani } \frac{T_{t35}}{T_{t3}} = \frac{P_{t35}}{P_{t3}} \text{ yani } \pi_{bv} = \tau_{bv} \quad (6)$$

Klasik turbojet ve Pars turbojet'e ait özgül itki ve özgül impuls denklemleri:

Kayıpları dikkate alan klasik turbojet itki denklemini (7)'de verilmiştir (Jack L. Kerrebrock, 1977):

$$F = \dot{m}_7 u_7 - \dot{m}_0 u_0 + A_7 (p_7 - p_0) \quad (7)$$

Burada A_7 egzost çıkış alanıdır ancak bu değer aerodinamik veriler ile kütle korunumundan

$$(\dot{m}_0 = \rho_0 u_0 A_0 = \dot{m}_7 = \rho_7 u_7 A_7)$$

hesaplanmaktadır:

$$A_7 = \frac{\dot{m}_0 (1 + f + f_v)}{\rho_0 u_0} \left(\frac{\mathfrak{R}_t}{\mathfrak{R}_c} \right) \left(\frac{p_0}{p_7} \right) \left(\frac{T_7}{T_0} \right) \left(\frac{u_0}{u_7} \right) \quad (8)$$

Yukarıda verilen denklemde $f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_0}$ yakıt hava

kütle oranıdır ve sabit hacim ile sabit basınç yanma enerji korunumlarından bulunmaktadır;

$$f_v = \frac{\dot{m}_{f_v}}{\dot{m}_0} = \frac{C_v T_0}{h} (\theta_v - \theta_0 \tau_c) \quad (9)$$

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_0} = \frac{C_v T_0}{h} (\theta_t - \theta_v) \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemlerde $h = 43000000$ J/kg jet yakıtı özgül enerji içeriği değeridir.

Denklem 8'de bulunan ve hala belirlenmeyi bekleyen üç oran daha vardır. Bunlar turbojet motor giriş ve çıkış arasındaki basınç ($\frac{p_0}{p_7}$), sıcaklık ($\frac{T_7}{T_0}$)

ve hız ($\frac{u_0}{u_7}$) oranlarıdır. Bu oranlar aşağıda bahsi

geçen şekilde bulunup denklem 7'den türetilen özgül itki denkleminde yerlerine konularak motorun birinci performans değeri hesaplanmaktadır:

$$\frac{F}{\dot{m} u_0} = (1 + f + f_v) \frac{u_7}{u_0} - 1 + \quad (11)$$

$$\frac{1 + f + f_v}{\gamma_c M_0^2} \frac{\mathfrak{R}_t T_7 u_0}{\mathfrak{R}_c T_0 u_7} \left(1 - \frac{p_0}{p_7} \right)$$

Özgül itki $\frac{F}{\dot{m} u_0}$ hesaplandıktan sonra ikinci

performans değeri olan özgül impuls tanım denkleminde ($I = \frac{F}{\dot{m}_f g}$) türetilerek

hesaplanmaktadır. Yakıt hava oranları 9 ve 10 nolu denklemlerden elde edilmektedir. Klasik turbojet için sabit hacim yanma yakıt tüketimi sıfır $f_v = 0$ alınmaktadır.

$$I = M_0 \frac{F / \dot{m}_0 u_0}{(f_v + f) \frac{g}{a_0}} \quad (12)$$

Basınç ($\frac{p_0}{p_7}$), **sıcaklık** ($\frac{T_7}{T_0}$) **ve hız** ($\frac{u_0}{u_7}$) **oran**

hesapları:

Sol tarafı toplam sıcaklık tanımı olan, sağ tarafı ise Pars turbojet motor içinde gelişen toplam sıcaklık oran çarpımı olan $T_{t7} = T_{t7}$ basit eşitliği kullanılmaktadır:

$$T_{t7} = T_7 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_7^2\right) = \frac{T_{t7}}{T_{t5}} \frac{T_{t5}}{T_{t4}} \frac{T_{t4}}{T_{t35}} \frac{T_{t35}}{T_{t3}} \frac{T_{t3}}{T_{t2}} \frac{T_{t2}}{T_{t0}} T_0 \quad (13)$$

13 nolu denklemin sağ tarafı motor içi aerotermodinamik değerlerden oluşmaktadır. “n” egzoz, “t” türbin, “b” yanma odası, “bv” sabit hacim yanma odası, “c” kompresör, “d” hava alığı, θ_0 Mach sayısı ile ilgili yukarıda açıklanan

$$\frac{T_{t7}}{T_{t5}} \frac{T_{t5}}{T_{t4}} \frac{T_{t4}}{T_{t35}} \frac{T_{t35}}{T_{t3}} \frac{T_{t3}}{T_{t2}} \frac{T_{t2}}{T_{t0}} T_0 = \tau_n \tau_t \tau_b \tau_{bv} \tau_c \tau_d \theta_0 T_0 \quad (14)$$

motor egzozu ve hava alığı enerji üretmediği için aşağıda verilen ilgili değerler “1” olarak alınmaktadır;

$$\tau_n = 1, \tau_d = 1 \quad (15)$$

Bu sadeleştirmeden sonra 13 nolu denklemden statik sıcaklık oranı ($\frac{T_7}{T_0}$) elde edilmektedir:

$$\frac{T_7}{T_0} = \frac{\theta_0 \tau_c \tau_b \tau_{bv} \tau_t}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_7^2} \quad (16)$$

Benzer bir çalışmayı toplam basınç basit eşitliğini ($P_{t7} = P_{t7}$) ele alarak aşağıda yapılmaktadır. Yine sol taraf toplam basınç tanımı yapmakta, sağ taraf ise turbojet motor içi toplam basınç oran çarpımları ile yine P_{t7} ’yi tanımlamaktadır:

$$P_{t7} = p_7 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_7^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{P_{t7}}{P_{t5}} \frac{P_{t5}}{P_{t4}} \frac{P_{t4}}{P_{t35}} \frac{P_{t35}}{P_{t3}} \frac{P_{t3}}{P_{t2}} \frac{P_{t2}}{P_{t0}} P_0 \quad (17)$$

17 nolu denklemin sağ tarafı toplam basınç oranlarının çarpımını ifade etmektedir.

$$\frac{P_{t7}}{P_{t5}} \frac{P_{t5}}{P_{t4}} \frac{P_{t4}}{P_{t35}} \frac{P_{t35}}{P_{t3}} \frac{P_{t3}}{P_{t2}} \frac{P_{t2}}{P_{t0}} P_0 = \pi_n \pi_t \pi_b \pi_{bv} \pi_c \pi_d \delta_0 P_0 \quad (18)$$

Böylelikle denklem 17’den motor giriş-çıkışı arasındaki statik basınç oranı tanımlanmaktadır:

$$\frac{P_7}{P_0} = \frac{\pi_n \pi_t \pi_b \pi_{bv} \pi_c \pi_d \delta_0}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_7^2} \quad (19)$$

Klasik türbojet ve Pars türbojet insansız hava aracının motoru olarak tasarlandıkları için hafif olmaları gerekmektedir. Bu sebeple egzoz mümkün olduğunca kısa olmalı, ayrıca motor içi akış dış etkenlerden mümkün olduğunca bağımsız ve

hesaplanan değerlere yakın çalışması gerekmektedir. Bu isterleri sağlamak için egzoz çıkış ağzında egzoz gazlarının boğulmasına ve çıkış ağzı alanının A_7 buna göre belirlenmesine karar verilmiştir.

$$M_7 = 1 \quad (20)$$

M_7 değeri ile birlikte θ_0 , τ_c , τ_b , τ_{bv} , τ_t bilindiği için denklem 16’dan $\frac{T_7}{T_0}$ hesaplanmaktadır. Yine

M_7 değeri ile birlikte π_d , π_c , π_b , π_n değerleri verildiği ve δ_0 , π_{bv} , π_t değerleri hesaplandığı için denklem 19’dan $\frac{P_7}{P_0}$ hesaplanmaktadır. Motor giriş-

çıkış arasındaki hız oranı $\frac{u_7}{u_0}$ ise aşağıdaki

denklemden hesaplanmaktadır. Aşağıdaki denklemin sağ tarafı bilindiğinden hız oranında hesaplanmaktadır.

$$\frac{u_7}{u_0} = \frac{M_7}{M_0} \sqrt{\frac{\gamma_t \mathfrak{R}_t T_7}{\gamma_c \mathfrak{R}_c T_0}} \quad (21)$$

11 ve 12 nolu denklemlerin sağ tarafı hesaplanarak özgül itki ve özgül impuls değerler ortaya çıkarılmaktadır. Klasik turbojet motorda $f_v = 0$,

$\tau_{bv} = 1$, $\pi_{bv} = 1$, $\theta_v = \frac{T_{t35}}{T_0} = \frac{T_{t3}}{T_{t2}} \frac{T_{t2}}{T_{t0}} = \tau_c \theta_0$ olarak

alındığında aynı denklemler klasik turbojet denklemine dönüşmektedir.

Tablo 1: Girdiler

Seyir Mach sayısı	0.8
Ortam sıcaklığı T_0 [K]	210
Ortam basıncı (Pa)	20000
Cp	1004
R	287
γ	1.4
Politropik verim	0.9
Hava alığı basınç oranı	0.9
Yanma odası basınç oranı	0.94
Pars Türbinde sabit hacimde yanma çıkış sıcaklığı (K)	733.40.46
Yakıt ısı değeri (J/kg)	4300000 (J/kg)

4. HESAPLAR

Bir önceki bölümde açıklanan denklemler ve hesaplama yöntemi kullanılarak klasik türbojet ve

Pars türbojet performansı hesaplanmıştır. Girdiler Tablo 1 de verilmektedir. Seyir hızı, ortam sıcaklığı ve basıncı örnek olacak şekilde seçilmiştir.

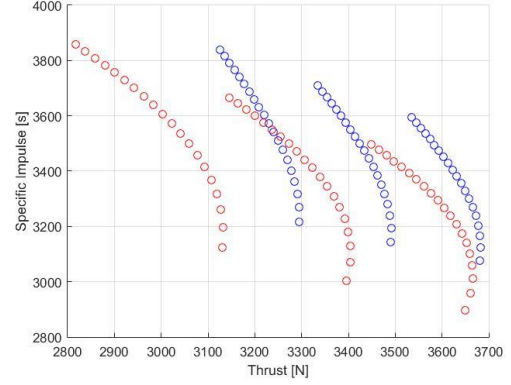
Örnek karşılaştırma Tablo 2 de verilmektedir. Pars türbojet motor klasik turbojet motora göre %35 daha az hava ile tüm kompresör basma oranları ve tüm türbin giriş sıcaklıklarında klasik turbojet motoruna göre %5 daha fazla itki ürettiği ve %3 daha iyi bir özgül impuls'a sahip olduğu ortaya konmaktadır.

Tablo 2: Karşılaştırma

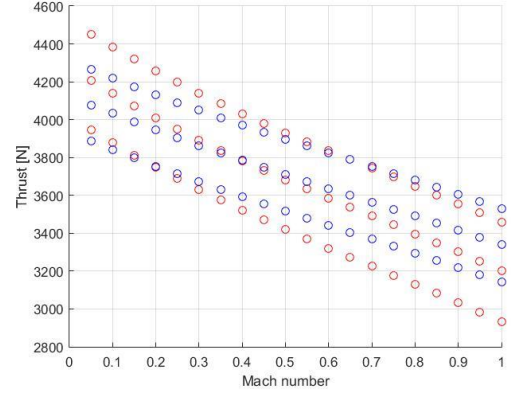
Parametre	Klasik türbojet	Pars türbojet	Fark
Hava debi (kg/s)	5	3.25	-35% (-1.75 kg/s)
Yakıt debi (kg/s)	0.1021	0.1045	+2.35% (0.0024 kg/s)
Basma oranı (Bar)	8	8	0% (0 Bar)
Türbin giriş sıcaklığı (K)	1255	1780	+41.83% (525 K)
Egzost sıcaklığı (K)	1029	1551	+50.72% (522 k)
İtki (N)	3129.9	3294.8	+5.27% (164.9 N)
Özgül impuls (s)	3124.3	3215.1	+2.91% (90.8 s)

Şekil 6'da Pars türbojet'in her türlü üstünlüğü söz konusudur. Daha az hava ile çalıştığı için daha kompakt bir yapıya sahiptir. Pars turbojet türbin giriş sıcaklığı daha fazladır. Bunun sebebi Tablo 2 den görüldüğü gibi aşırı derecede fazla yakıt konulduğu için değildir. Nedeni daha az hava ile hemen hemen aynı oranda yakıt ile yanma gerçekleştirilmesidir. Bu hem gücü, hem de yanma stabilitesini arttıran bir etkidir. Şekil 6'da basma oranı her türbin giriş sıcaklığında 8'den (eğrilerde en alt veri noktası) 28'e kadar arttırılmıştır (eğrilerde en üst very noktası). Türbin giriş sıcaklığı arttıkça itki artmakta ancak özgül impuls -enerjinin verimli kullanımı- azalmaktadır. Kompresör basma oranı arttıkça aynı türbin giriş sıcaklığında itki azalmakta ancak özgül impuls artmaktadır. Şekil 7'de uçuş Mach sayısına göre itki değerleri verilmektedir. Düşük türbin sıcaklıklarında ve düşük Mach sayılarında klasik türbojet itkisi daha üstün çıkmakta ancak uçuş hızı ve türbin giriş sıcaklığı arttıkça Pars turbojet performansı öne çıkmaktadır. Türbin giriş sıcaklığı arttığında itki artmaktadır. Aynı türbin giriş sıcaklığında basma oranı arttırıldığı zaman motor iç yükü yükseldiği için itki azalmaktadır. Şekil 8'de yakıt tüketiminin tersi olan özgül impuls değerlerinin Mach sayısına göre değişimi vardır. Türbin giriş sıcaklığı arttıkça yakıt tüketimi de arttığı için özgül impuls azalmaktadır. Basma oranı arttığı

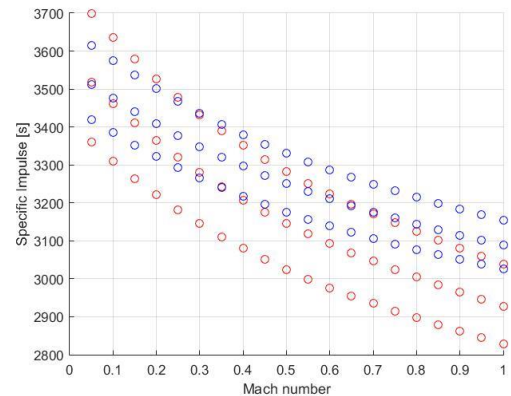
zaman daha çok iş yapıldığı için özgül impuls da yüksek basma oranına bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 6: İtki ve özgül impuls. Kırmızı: klasik türbojet, mavi: Pars turbojet. Her motor için 3 grup veri, soldan sağa Klasik turbojet T_{t4} : 1155K, 1255K, 1355K, Pars turbojet T_{t4} : 1680K, 1780K, 1880K



Şekil 7: İtki ve özgül impuls. Kırmızı: klasik türbojet, mavi: Her motor için 3 grup veri, aşağıdan yukarıya Klasik turbojet T_{t4} : 1155K, 1255K, 1355K, Pars turbojet T_{t4} : 1680K, 1780K, 1880K



Şekil 8: İtki ve özgül impuls. Kırmızı: klasik türbojet, mavi: Pars turbojet. Yukarıdan aşağıya Klasik turbojet T_{t4} : 1155K, 1255K, 1355K, Pars turbojet T_{t4} : 1680K, 1780K, 1880K

5. SONUÇ

Aynı hava koşullarında ve aynı basma oranına sahip klasik bir türbojet motor ile Pars türbojet performans verileri hesaplanmıştır. Yeni bir motor türü olan Pars türbojet'in daha az hava tüketmesine karşın çoğu zaman klasik türbojet'e göre daha çok itki ürettiği ve daha verimli olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akmandor Ibrahim Sinan, Revolving Outer Body Arc Vane Rotary Compressor or Expander, Pars Makina Ltd. USPTO patent pending, 2015
- Akmandor Ibrahim Sinan, Pivoting Hinged Arc Vane Rotary Compressor or Expander, EP 2 495 396 B1, Pars Makina Patent, European patent Office, issued April 2014
- Akmandor Ibrahim Sinan, "Pivoting, Hinged Arc Vane Rotary Compressor or Expander", US 8,579,615 B2, USPTO issued November 12th, 2013
- Akmandor, Ibrahim Sinan and Erzöz, Nazmi; "Rotary Vane Engine and Thermodynamic Cycle", US 7,314,035 B2, USPTO issued January 1st 2008
- Jack L. Kerrebrock, Aircraft Engines and Gas Turbines, p54, ISBN 0-262-11064-4, 1977, MIT, Alpine Press Inc., USA
- M. Okur, I. S. Akmandor, 'Experimental investigation of hinged and spring loaded rolling piston compressors pertaining to a turbo rotary engine', Applied Thermal Engineering, Vol:31 No :6-7, pp.1031-1038, (2011)