

# MOTORLU ARAÇLARDA TURBO SİSTEMİNDE TÜRBİN KISMININ BİR BOYUTLU TASARIM VE ANALİZİ

*Dimensional Design And Analysis Of Turbine Part In Turbo System In Motor Vehicles*

**Haktan İbrahim YILMAZ**  
**Kadir BİLEN**  
**Muhammed Taha TOPCU**

## ÖZET

Motor performansını iyileştirmek ve yakıt tasarrufu sağlamak aynı zamanda motor hacminde küçültme yaparak daha yüksek güç ve verim elde edilmektedir. Günümüzde turboşarj teknolojisi içten yanmalı motorlarda hem enerjinin korunması hem de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> salınımının azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır. Turboşarj tasarımı turboşarj motor performansının geliştirilmesinde önemli bir yer tutar. Tasarım yapılırken motorun özelliklerine göre oluşturulmalı ve aynı zamanda motorun ihtiyaçlarına göre tasarım aşamalarında dikkatli bir üretim gerçekleştirilmelidir.]Bu araştırmanın konusu içten yanmalı bir motor için en uygun turboşarj tasarımının yapılması üzerinedir. Yapılan iyileştirmelerde tasarım parametrelerinin değerleri ile motor çalışma koşulları arasında bir ilişki kurularak türbin ve kompresör tasarımı gerçekleştirilir. Bu çalışmada benzinli bir motora turboşarj montajı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Turboşarj verimi değişen parametrelerle %40 -50 arasında bir değer almıştır. Türbin için verim değeri ise %80 Aralığında gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Turboşarj, Turbin, Tasarım, Benzinli Motor

## ABSTRACT

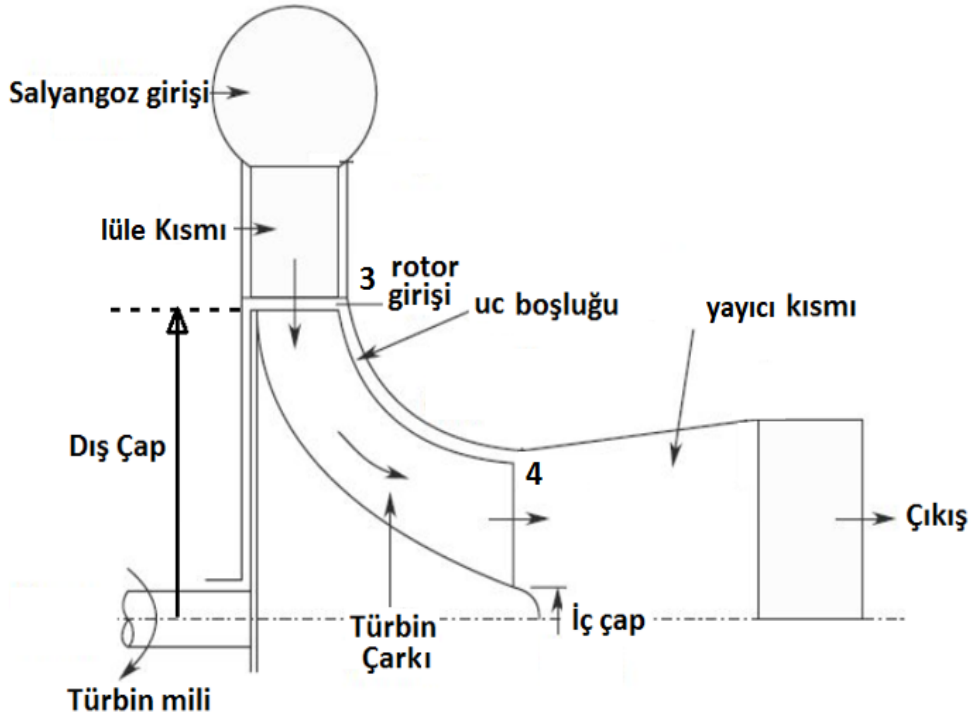
In this study, the turbocharger technology is made here for the cleaning of all energy as well as CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> emissions in internal combustion engines. The turbocharger design plays an important role in the development of turbocharging engine performance. The design is classified according to the characteristics of the engine and at the same time, the design phase of the engine is finished. The subject of this research is an internal combustion engine and the most appropriate design of the turbocharger. The turbocharger assembly is successfully configured on a gasoline engine here. The yield value for the turbine is 74%.

**Key Words:** Turbocharger, Turbine, Design, Gasoline Engine

## 1. GİRİŞ

Türbin kısmı egzoz gazlarının ilk olarak temas ettiği kısım olması nedeniyle turboşarjın en sıcak bölümüdür. Türbin gövdesinden motorun egzoz manifolduna bağlanan kısımdan, salyangoz diye adlandırılan bölmeden türbin çarklarına ulaşırlar. Bu salyangozun iç kısmı daralan bir yol izleyerek egzoz gazına basınç ve hız kazandırmaktadır. Çarka basınçlı ve hızlı bir şekilde çarpan egzoz gazları türbine bir hareket kazandırmaktadır. Egzoz Enerjisi ile dönmesi sağlanan türbin ayrıca bağlı bulunan mil tahriki ile kompresör bölmesinin de hareket etmesini sağlar.

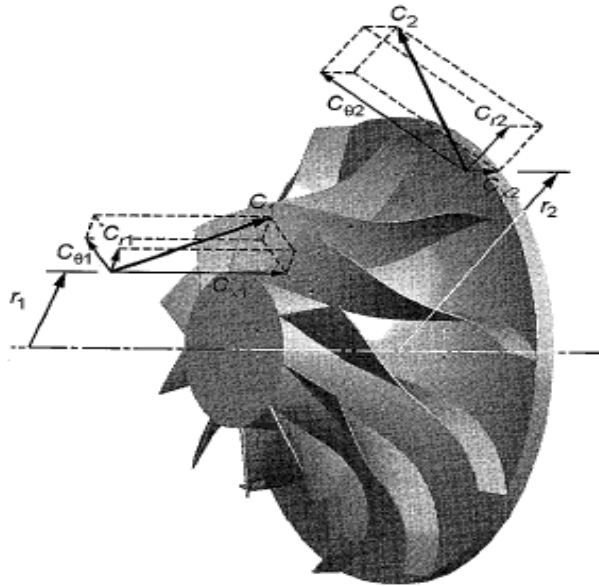
Gazların hareket ettiği yolun şekli, salyangozun daraltılması, çarkın giriş ve çıkış kısmı, kanatçıkların eğimi ve difüzör kısmi üretilen işi etkilemektedir. Bu elemanların detaylı şekillerinin kesit resmidde Şekil 1.1' de gösterilmektedir.

Şekil 1.1. Türbinin kesit resmi<sup>[1]</sup>

## 1.2. Türbinin çalışma karakteristiği

### 1.2.a. Türbinlerin iş üretme prensibi

Turbomakinelerde olduğu gibi turboşarj teçhizatında iş üretim değeri iki farklı yaklaşımla bulunabilir. Bu yaklaşımlar akışkanlar mekaniği yolu ile ve termodinamiksel hesaplamalar ile bulunabilir. Turboşarjda meydana gelen momentum değişimi ile hesaplama akışkanlar mekaniği ile iş üretimi için örnek gösterilebilir. Yani akış çarktan geçerken ne kadar momentumu değişirse o kadar işin miktarı değişmiş demektir. Termodinamik hesaplamalarında ise entalpi değişimi ile iş üretimi gerçekleşmektedir. Newton'un hareket kanununda ikinci kanunu bir türbine yazarsak;

Şekil 1.2. Euler eşitliğinde bulunan hız fonksiyonları<sup>[2]</sup>

$$\tau = \frac{d(M \cdot r \cdot C_\theta)}{dt}, r \cdot C_\theta = \text{cte}, m = \frac{dM}{dt}, \tau = m \cdot \Delta(r \cdot C_\theta) \quad (1)^{[2]}$$

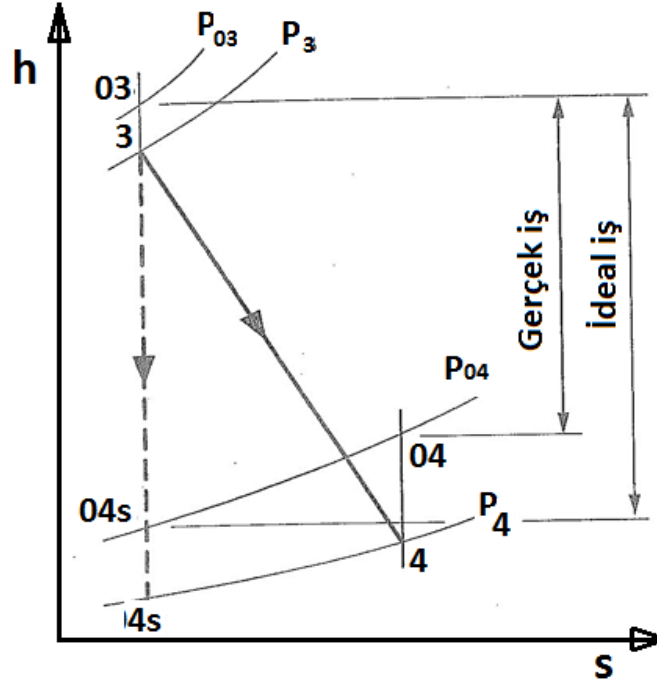
$\tau$  türbinin torku,  $C_\theta$  çevresel hızın bileşeni,  
 $m$  kütleli debi (kararlı olduğu için zamana göre sabit kalır)

$$\tau = m(r_3 C_{\theta 3} - r_4 C_{\theta 4}), U = r \cdot \omega \quad (2)^{[2]}$$

Euler denklemin (The Euler Turbomachine Equation) yazarsak:

$$W_x = \tau \omega / m = \omega(r_3 C_{\theta 3} - r_4 C_{\theta 4}) = U_3 C_{\theta 3} - U_4 C_{\theta 4} \quad (3)^{[2]}$$

Salyangoz bölgesinden sonra türbin kısmına gelen egzoz gazları genişleyerek çıkarlar. Bu genişleme olayı gazların enerjinin düşmesi (basınç ve sıcaklık düşmesi) ile meydana gelir. Burada enerji harcanması söz konusudur. Kanatçık kısmında bu enerji harcanmaktadır. Türbine giren egzoz gazlarının kinetik enerjinin türbin milini tahrik etmesi ile mekanik enerji elde edilmektedir. Türbin bölgesinde elde edilen güç, milin diğer tarafındaki kompresör tarafından harcanmaktadır. Bu gerçekleşen olaylar egzoz gazlarının genişlemesi ile oluşmaktadır. Genişleme iki çeşittir: Birincisi izantropik genişleme ikincisi ise gerçek genişlemedir. Şekil 1.3'de bu genişleme olayının h-s diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Türbinde genişleme olayının h-s (entalpi-saniye) diyagram üzerinde çizgileri<sup>[2]</sup>

$$\eta_{T,tt} = \frac{\text{gerçek iş}}{\text{ideal iş}} = \frac{W}{W_s} = \frac{h_{03} - h_{04}}{h_{03} - h_{04s}} \quad (4)^{[3]}$$

Denklemden elde edilen verim sıcaklık cinsinden yazılırsa:  
Ayrıca

$$\eta_{T,tt} = \frac{C_p(T_{03} - T_{04})}{C_p(T_{03} - T_{04s})} = \frac{T_{03}(1 - T_{04}/T_{03})}{T_{03}(1 - T_{04s}/T_{03})} \quad (5)^{[3]}$$

$C_p$  değeri sıcaklık değişiminde çok az değiştiğinden dolayı ihmal edilerek yazılacaktır.

$$T_{04s}/T_{03} = (P_{04}/P_{03})^{(k_e - 1)/k_e} \quad (6)^{[3]}$$

Sıcaklık-basınç cinsinden verim tekrar denklemde yerine yazılırsa:

$$\eta_{T,tt} = \frac{1 - T_{04}/T_{03}}{1 - (P_{04}/P_{03})^{(k_e - 1)/k_e}} \quad (7)^{[3]}$$

Toplam iş üretimi aşağıdaki gibi olur;

$$\dot{W}_T = m_e C_{pe} (T_{03} - T_{04}) = m_e C_{pe} T_{03} \left(1 - \frac{T_{04}}{T_{03}}\right) = m_e C_{pe} T_{03} \eta_{T,tt} \left(1 - (P_{04}/P_{03})^{(k_e - 1)/k_e}\right) \quad (8)^{[2]}$$

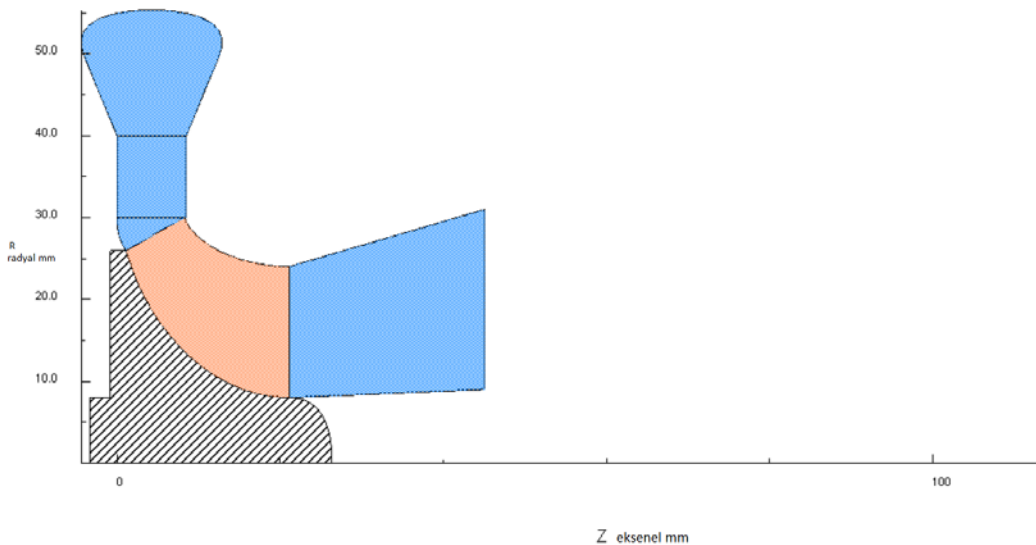
Genişleme oranı (er) birbirine eşitse:

$$Pr_T = \frac{\text{giriş basınc}}{\text{çıkış basınc}} = \frac{P_{03}}{P_{04}} \quad (9)^{[2]}$$
$$P_T = m_e \cdot C \cdot T_0 \eta_{T,tt} \left(1 - (1/er)^{(k_e - 1)/k_e}\right)$$

Kütle korunumu yazılırsa:

$$m_e = m_a + m_f, \frac{m_e}{m_a} = 1 + \frac{m_f}{m_a} = 1 + \frac{1}{AFR} \quad (10)^{[2]}$$

Analysis Mode (Input)



Şekil 1.4. Türbin bir boyutlu tasarım analizi

Turboşarj analiz ve tasarımları için geliştirilen Concept NREC programının alt programı olan ve türbin tasarımı yapılabilen ve performans eğrilerinin oluşturulduğu Rital programında sisteme girilen parametrelerin bir boyutlu hali Şekil 1.4 de gösterilmektedir.

**Tablo 1.1** Türbin tasarımı için gerekli değişkenler ve değerleri

Türbin sisteminde girilen geometrik noktalar	Girilen değerler
Rotor üst (tip) bölmesi yarıçapı	23,5 mm
Rotor kök (hub) bölmesi yarıçapı	23,5 mm
Rotor kanat uzunluğu	6,5 mm
Rotor Çıkış üst (tip) bölmesi yarıçapı	19,25 mm
Rotor Çıkış kök (hub) bölmesi yarıçapı	7,5 mm
Rotor Çıkış kanat açısı	57°
Kanat Sayısı	12
Salyangoz yarıçapı	50 mm
Salyangoz boğaz alanı	1400 mm <sup>2</sup>
Lüle (Nozel) kanat sayısı	17
Lüle (Nozel) boğaz alanı	900

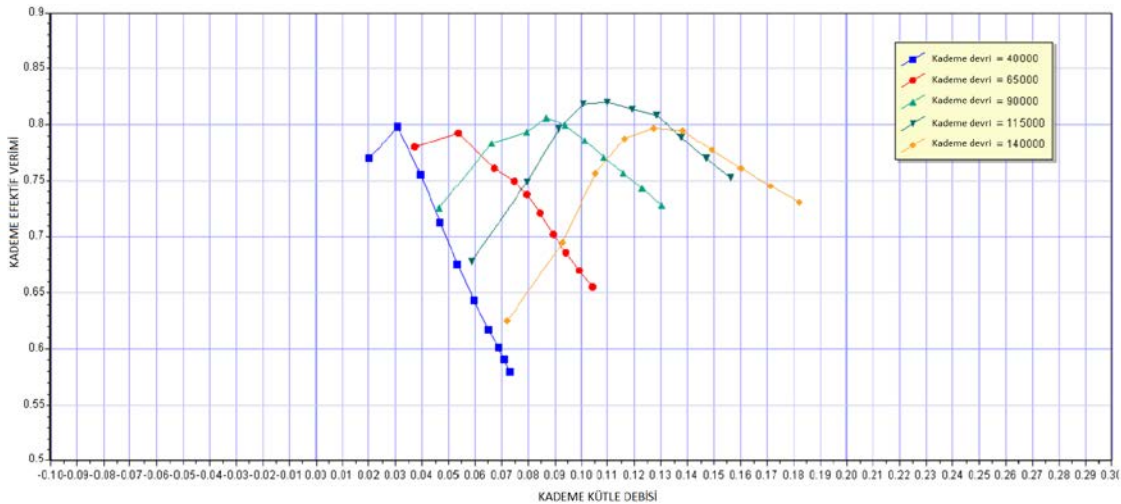
Tablo 1.1 de türbin tasarımı için programa girilmesi gerek değerler gösterilmektedir. Burada rotor, salyangoz, kanat ve lüle (nozül) kısımlarının değerleri kullanılmaktadır.

$$U_{in,T} = \omega * r_{in,T} \quad (11)^{[1]}$$

$$N_{s,T} = \frac{\omega \sqrt{\dot{Q}_{out,T}}}{\Delta h_{0s,T}^{3/4}} \quad (12)^{[1]}$$

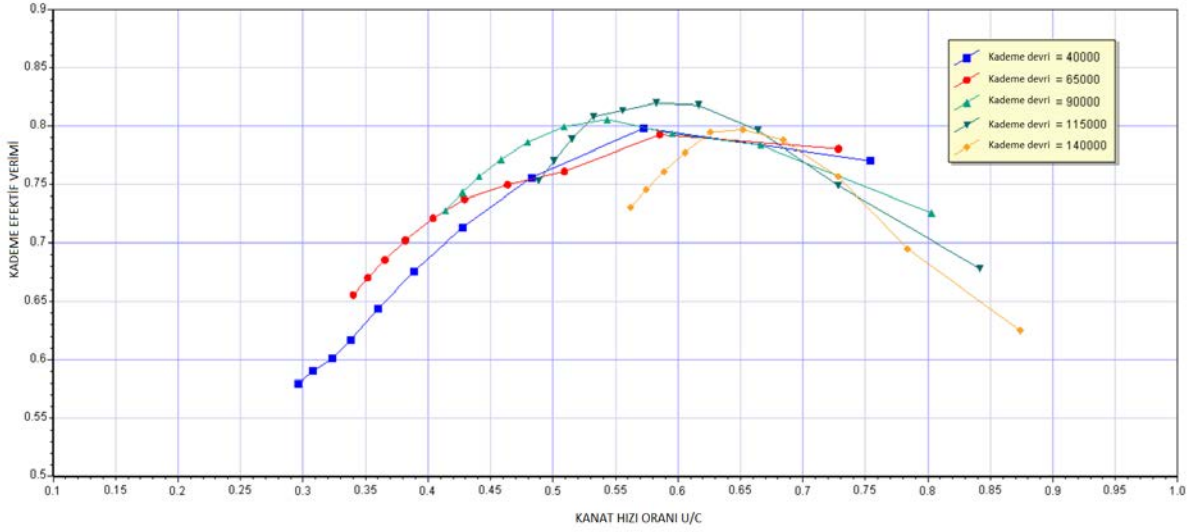
$$BSR = \frac{U_{in,T}}{c_s} \quad (13)^{[1]}$$

Tasarım için türbin hız oranı değerinin standart değere yakın olması arzu edilmektedir. Hız oranı (blade speed ratio) genel olarak 0.7 değerine yakın olması beklenir.



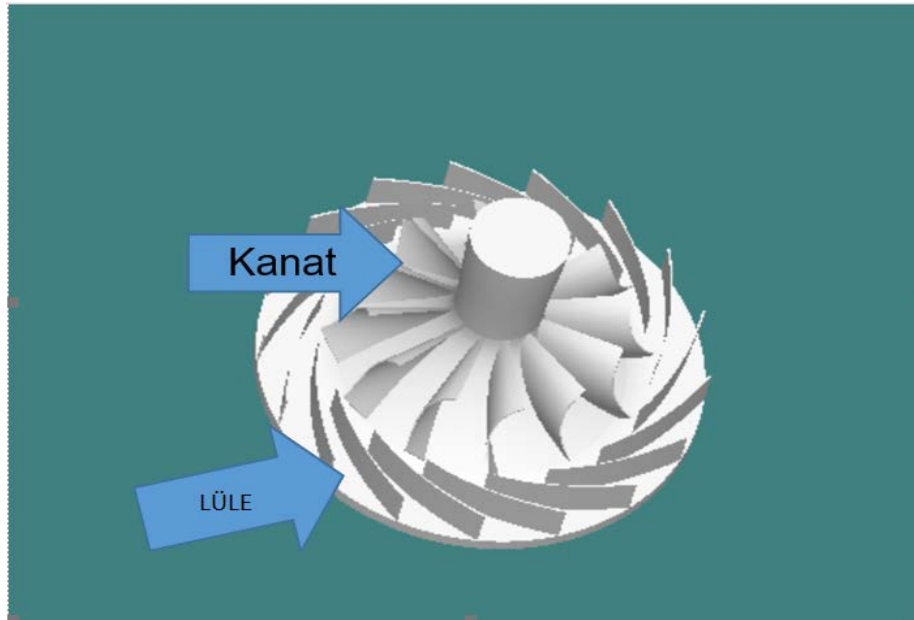
**Şekil 1.5.** Farklı devir sayılarında oluşan türbinde verimlilik ve kütleli debi ilişkisi

Şekil 1.5 de 115000 d/dk çalışan türbin profili en yüksek verim değerine ulaşmaktadır. Egzoz gazının kütleli debisinin artmasıyla verim değeri üzerinde artış gözlemlenmektedir. Türbin tasarım aşamalarından verim değeri olarak % 70 in üzerinde olması beklenmektedir. Bu çalışmada bu oranın üzerinde % 80 olarak görülmektedir.



Şekil 1.6. Farklı devir sayılarında oluşan türbinde verimlilik ve kanat hızı oranı (blade speed ratio) ilişkisi

Bu çalışmada kanat ucunda U/C hız oranının türbin verimi ile değişimi Şekil 1.6'de gösterilmiştir. Burada başlangıç devri olarak girilen değer iterasyon sonucunda 115 000 devir/dk hız oranı değeri için maksimum verimde yaklaşık U/C =0,62 değerinde elde edilmiştir. Literatürde türbin tasarım ve analizlerinde en yüksek türbin verimi için bu değer yaklaşık 0,6 – 0,7 aralığında geldiği belirtilmektedir.<sup>[4]</sup>



Şekil 1.7. Türbin tasarımının Axcnt programında üç boyutlu görüntüsü

Kanatçıklar kapanarak düşük devirde yüksek tork değeri, kanatçıklar açılarak yüksek devirde yüksek güç elde edilmektedir. Şekil 1.7 de türbin tasarımının Axcnt programında üç boyutlu görüntüsü rotor kanat ve nozul parçaları gösterilmektedir.

## SONUÇLAR

- Turboşarjlarda ve gaz türbin motorlarında türbin tasarımı için kanat hız oranı (BSR) önemli bir yer tutmaktadır. Fakat bazı turboşarj tasarımlarında kanat hızı oranına ihtiyaç duyulmaz yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda kanat hızı oranı genellikle en uygun türbin yarıçapı için 0.7 olarak tespit edilmiştir.<sup>[5]</sup> Bu değer altında olan durumlarda kanat yarıçapında artırıma giderek iyileştirmeler yapılabilir.
- Burada başlangıç devri olarak girilen değer iterasyon sonucunda 115 000 devir/dk hız oranı değeri için maksimum verimde yaklaşık U/C =0,62 değerinde elde edilmiştir. Verim değeri de en yüksek olarak %82 olarak gözlemlenmiştir.
- Program üzerinde gerçekleştirilen analiz çalışmasının daha sonraki aşamalarında birçok farklı test gerilme ve akış analizleri gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] H. Moustapha, M. F. Zelesky, N. C. Baines, D. Japikse, *Axial and radial turbines, Vol. 2, Concepts NREC White River Junction, VT, 2003.*
- [2] N. C. Baines, *Fundamentals of turbocharging, Vol. 1, Concepts NREC White River Junction, Vermont, 2005.*
- [3] Y. A. Çengel, *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, Literatür, 2000.*
- [4] N. Baines, in *Proceedings of the 6th European Turbomachinery Conference-Fluid Dynamics and Thermodynamics, Lille, France, 2005*, pp. 7-11.
- [5] N. Watson, M. Janota, *Turbocharging the internal combustion engine*, Macmillan International Higher Education, 1982.

## ÖZGEÇMİŞ

### Haktan İbrahim YILMAZ

1992 yılı İstanbul doğumludur. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2017 yılından beri Yüksek Lisansına devam etmektedir. Concept nrec compal programı ve bu programın ek programları olan rital, turbomatch ve axcent üstünde çalışmaktadır.

### Kadir BİLEN

1960 Bayburt'ta doğdu. 1986 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Mezun oldu. Atatürk Üniversitesinde göreve başladı. 1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsünde yüksek lisansını, 1994 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktorasını tamamladı ve aynı yıl Atatürk Üniversitesinde Yrd. Doç.Dr. olarak göreve başladı. 1999-2000 Tarihleri arasında Doktora sonrası çalışmalar için Amerika'da Miami Üniversitesi ve Florida Üniversitelerinde çalışmalarda bulundu. 2002 tarihinde Doçent oldu. 2006 tarihinde TÜBİTAK bursu ile Amerika Dallas'da Southern Methodist Üniversitesinde doktora sonrası çalışmalarda bulundu. 2007 yılında Profesör oldu ve halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Isı transferi artırma mekanizmaları, Faz değişim materyalleriyle enerji depolama, Araçlarda turbo şarj analizi, Elektronik bileşenlerin soğutulması, Araçlarda alternatif soğutucu gaz kullanımları konularında çalışmaktadır.

### Muhammed Taha TOPCU

1993 yılında Erzurum'da doğdu, ilk ortaöğrenimini ve liseyi Erzurum'da tamamladı. 2011'da başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Termodinamik Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2018 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Concept Nrec Paket Programı (Turbomatch ,Compal,Axcent ) üzerine çalışmaktadır.