

MOTORLU ARAÇLARDA TURBO SİSTEMİNDE KOMPRESÖR KISMININ BİR BOYUTLU TASARIM VE ANALİZİ

A Dimensional Design And Analysis Of The Compressor Part Of The Turbo System In Motor Vehicles

Muhammed Taha TOPCU
Haktan İbrahim YILMAZ
Kadir BİLEN

ÖZET

Günümüzde turboşarj teknolojisi içten yanmalı motorlarda hem enerjinin korunması hem de CO₂, NO_x salınımının azaltılması için çalışmalar yapılmaktadır. Turboşarj tasarımı turboşarj motor performansının geliştirilmesi için önemli bir yer tutar. Tasarım yapılırken motorun özelliklerine göre oluşturulmalıdır 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. Kompresör için verim değeri ise %74 aralığında gelmiştir. Elde edilen kompresör turboşarj için uygun bir motor üzerinde test edilmiştir. Bu test Concept Nrec paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompresör ,Concept Nrec,verimlilik,turboşarj.

ABSTRACT

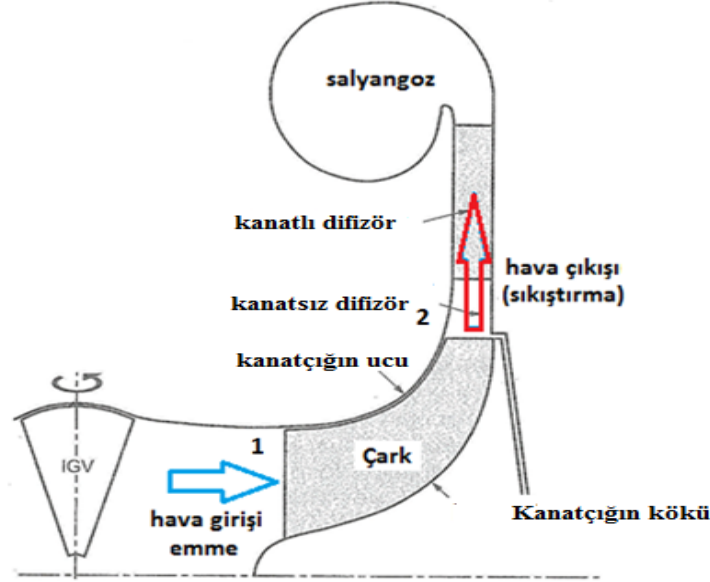
The turbocharger technology now works for reducing the energy and CO₂, NO_x emissions. The subject of this research is to design the best turbocharger for an internal combustion engine. In the improvements, turbine and compressor design is realized by establishing a relationship between the values of the design parameters and the engine operating conditions. In this study, the installation of a turbocharger on a gasoline engine has been successful. The turbocharger has a value between 40 and 50% with varying parameters. The yield value for the compressor is in the range of 74%. The resulting compressor was tested on a suitable motor for the turbocharger. This test was carried out with Concept Nrec software.

KeyWords: Compressor, Concept Nrec, efficiency, turbocharger

1. GİRİŞ

Motor performanslarının artırılması adına Turboşarjların günümüz üreticileri tarafından kullanımı artmaktadır. Giderek popülerlik kazanan turboşarj en önemli etkisi aynı hacimde daha fazla güç elde edilmesi ve yakıt tüketimi açısından tasarruflu olmasıdır. Motor ve turboşarj ekipmanlarının birbirine uyumluluğu önemlidir. Bu kapsamda tasarımcılar turboşarj performans haritaları üzerinden motora uygunluğu belirlenebilmektedir [1]. Temel anlamda basit gibi görünse de aslında tasarım ve analiz durumlarında çok farklı mühendislik disiplinleri ile karşılaşmaktadır. Turboşarj performansı aynı zamanda diğer önemli kısımlarının da ayrı ayrı performansına bağlıdır [2]. Turboşarj sistemi temelde üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar ; Kompresör, türbin ve yatak kısımlarıdır.

Turboşarjlarda genellikle santrifüj tipi kompresörler kullanılmaktadır. Üç temel parçadan oluşmaktadır: Kompresör çarkı, difüzör ve kompresör gövdesidir. Türbinden gelen tahrikle dönen mil kompresör çarkını döndürmeye başlar ve aksel olarak havayı emerek dönme hareketi ile beraber motora radyal bir şekilde basar. Difüzörün görevi ise basılan havanın hızını azaltmaya yardımcı olmaktır, gövdenin içerisindeki kanalda bulunmaktadır [3].



Şekil 1.1. Kompresör yapısının kesit resmi [3]

Kompresöre giriş yapan havanın Şekil 1.1 de gösterilen giriş ve çıkış noktaları arasında kompresör kanatlarında ve difüzörde sıkıştırılması ile salyangoz yolunun sonunda motorda kullanılmak üzere yanma odasına aktarımı gerçekleşmektedir. Burada IGV dediğimiz yönlendirici kanatlarda tasarım esnasında tercih edilebilen parçalardandır.

2. Kompresörün çalışma karakteristiği

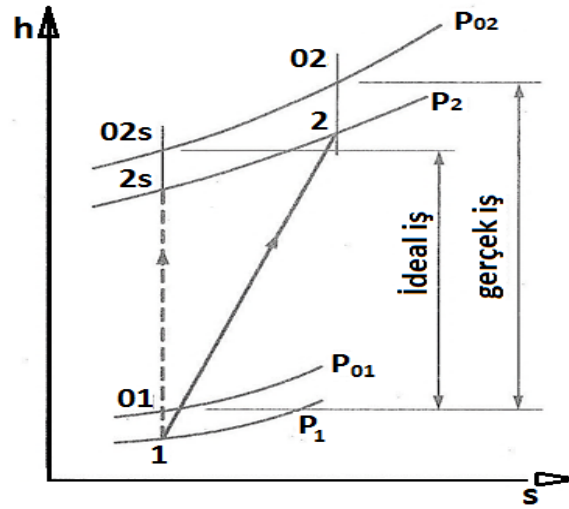
Atmosferden emilen hava difüzör ve salyangoz vasıtasıyla basıncı artırılarak motor bölümüne aktarılması işlemi kompresör gerçekleştirir. Sıcaklık ve basıncın artırılması ile beraber bir verim durumu söz konusudur. Ayrıca meydana gelen kayıplardan dolayı verim düşmüş olacaktır. Şekil 1.2 sıkıştırma olayı ideal ve gerçek olarak h-s diyagramı üzerinde gösterilmektedir.

Kompresör verimini Şekil 1.2 'e göre denklem oluşturulursa;

$$\eta_{c,tt} = \frac{\text{ideal iş}}{\text{gerçek iş}} = \frac{h_{02s} - h_{01}}{h_{02} - h_{01}} \quad (1)$$

Denklem sıcaklık cinsinden yazılırsa:

$$\eta_{c,tt} = \frac{C_{pa}(T_{02s} - T_{01})}{C_{pa}(T_{02} - T_{01})} = \frac{T_{01}\left(\frac{T_{02s}}{T_{01}} - 1\right)}{T_{01}\left(\frac{T_{02}}{T_{01}} - 1\right)} \quad (2)$$



Şekil 1.2. Kompresör 'de sıkıştırma olayın h-s diyagram üzerinde çizgileri [3]

Ayrıca:

$$T_{02s} = T_{01} \left(\frac{P_{02}}{P_{01}} \right)^{(k-1)/k} \quad (3)$$

Eşitlikte yerine yazılırsa:

$$\eta_{c,tt} = \frac{(P_{02}/P_{01})^{(k-1)/k} - 1}{(T_{02}/T_{01}) - 1} \quad (4)$$

Kompresörün harcadığı iş:

$$\begin{aligned} \dot{W}_C &= m_a c_{pa} (T_{02} - T_{01}) = m_a c_{pa} T_{01} \left(\frac{T_{02}}{T_{01}} - 1 \right) \\ &= \frac{m_a c_{pa} T_{01}}{\eta_{c,tt}} \left((P_{02}/P_{01})^{(k_a-1)/k_a} - 1 \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Basınç oranına göre:

$$Pr_C = \frac{\text{çıkış basınc}}{\text{giriş basınc}} = \frac{P_{02}}{P_{01}}; \quad P_C = \frac{m_a c_{pa} T_{01}}{\eta_{c,tt}} \left((pr)^{(k_e-1)/k_e} - 1 \right) \quad (6)$$

2.1 Kompresör Geometrik Değerleri İle Performans Haritaları Değerlendirmeleri

$$\lambda = \frac{c_{u,exd}}{c_{m,exd}} \quad (7)$$

$$N_{S,C} = \frac{\omega \sqrt{\dot{Q}_{in,C}}}{\Delta h_{0s,C}^{3/4}} \quad (8)$$

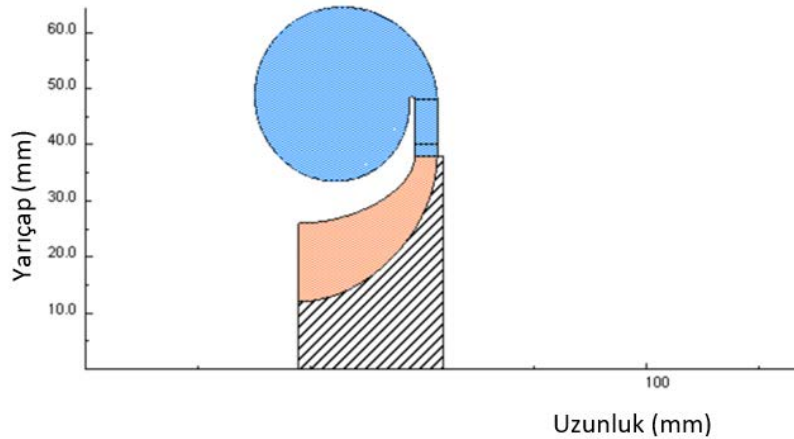
$$i = \beta_b - \beta \quad (9)$$

Tablo 1.1 Kompresör tasarımı için gerekli değişkenler ve değerleri

Kompresör analiz değerleri geometrik noktaları	Sisteme girilen değerler
Tip bölümü giriş çapı	19,7 mm
Hub bölümü giriş çapı	6,6 mm
Giriş kanat açıları (tip,hub)	-69°, -40°
Giriş ucu kalınlığı	0.46
Giriş kanat sayısı	7
Tip bölümü çıkış derinliği	4.2 mm
Kompresör çarkı dönüş açısı	-50°
Kanat kalınlığı	0.6 mm
Çıkış kanat sayısı	12
Çıkış difüzör yarıçapı	45 mm

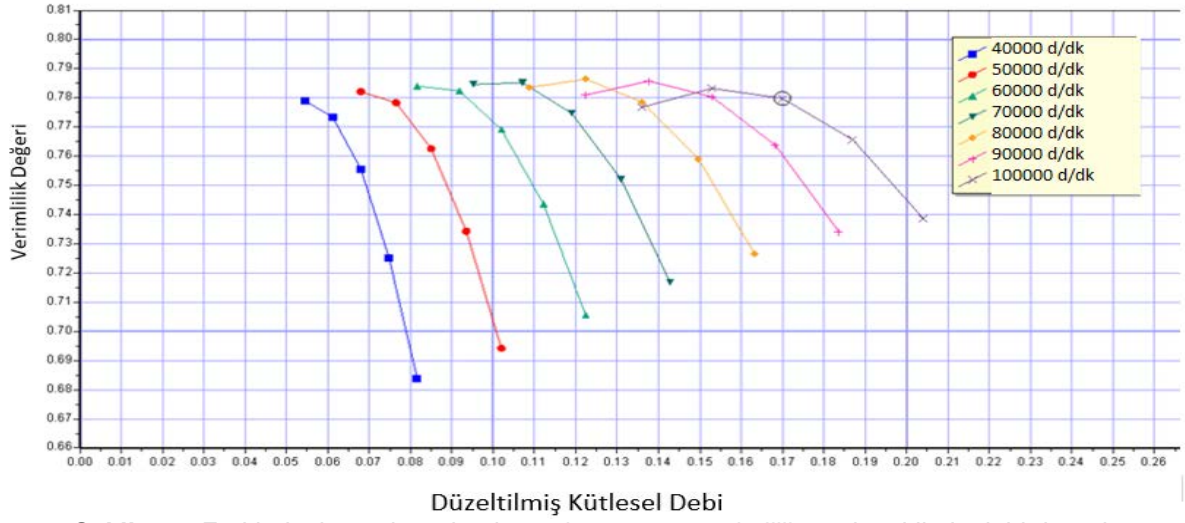
Tasarım aşamalarında firar açısı oranı (i) kanat açısının (β_b) kanat üzerinde çizilen normale yaptığı akış açısı (β) arasındaki farkla bulunmaktadır.

Optimum hız oranı değeri genelde çalışmalarda 0.7 olarak kullanılmaktadır. Hız oranı değerini elde etmek için ($N_{s,C}$) kanat profilinin açısız hız değerine (ω), akışın hacimsel debi değerine ($\dot{Q}_{in,C}$) ve aynı zamanda kompresörün sağladığı iş girişi ($\Delta h_{0s,C}^{3/4}$) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.



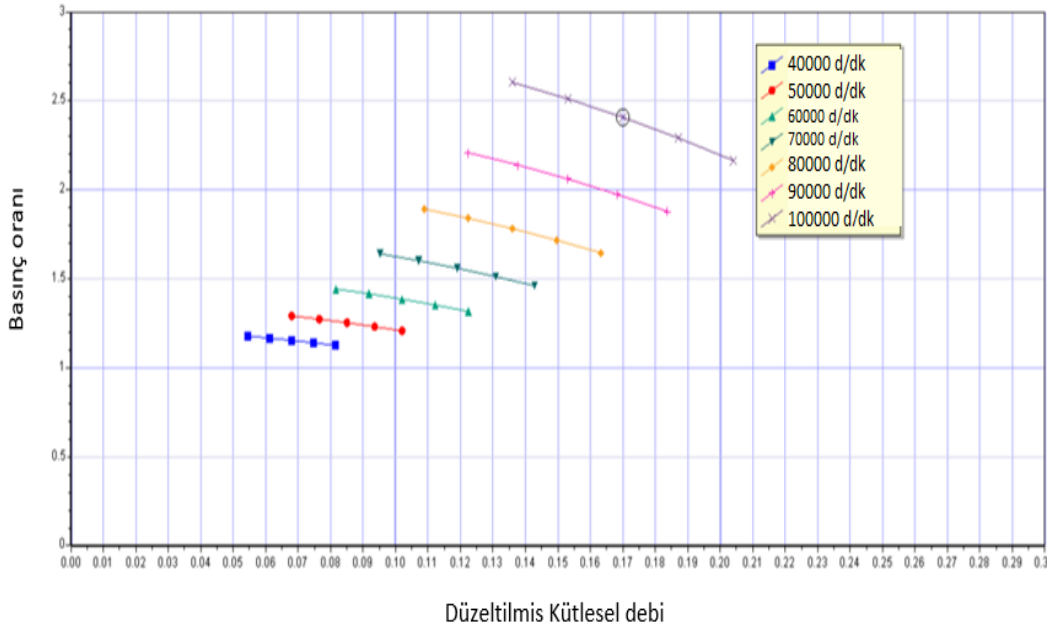
Şekil 1.3. Kompresör bir boyutlu tasarım analizi

Turboşarj analiz ve tasarımları için geliştirilen Concept NREC programının alt programı olan ve kompresör tasarımı yapılabilen ve performans eğrilerinin oluşturulduğu Compal(Kompresör tasarım programı) programında sisteme girilen parametrelerin bir boyutlu hali Şekil 1.3 de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Farklı devir sayılarında oluşan kompresör verimlilik ve düzeltilmiş debi değeri

Kompresör verim aralığı ideal şartlarda genelde %70-80 arasında yer almaktadır. Bu aralıkta verime sahip kompresörler, turboşarj açısından ideal olanlardır. Bu çalışmada elde edilen çoklu noktada çalışma koşullarında çalışma eğrisi yaklaşık %76-78 aralığında elde edilmiş ve programın farklı devirlerde performans değerlerinin grafik sonuçları Şekil 1.4 'de gösterilmiştir.

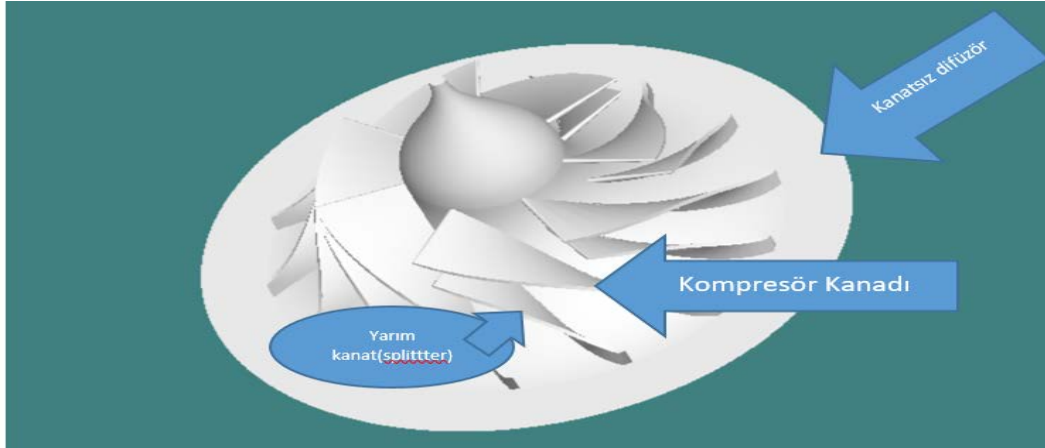


Şekil 1.5. Farklı devir sayılarında oluşan Kompresörde oluşan basınç değeri ve düzeltilmiş debi ilişkisi

Şekil 1.5 de kompresörde meydana gelen basınç değişiminin oluşan hava debisine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda farklı iterasyon devirlerinde oluşan basınç miktarı grafikte gösterilmiştir. Genelde kompresör bölmesine gelmeden önce bir hava filtresi yardımı ile hava içerisinde bulunan yabancı partiküller sistemde aksamalara sebep olmasın diye süzülür. Burada mevcut hava basıncında bir miktar düşüş meydana gelmektedir. Bu değer ortalama 1 kPa olarak kabul edilmektedir. Tasarım aşamasında çalışmamız için girilen referans devir sayımızın oluşturduğu basınç oranı değeri yaklaşık olarak 2.35 olarak tespit edilmiştir.

Kompresör tasarımında ortamdaki çekilen havanın dönme enerjisini difüzörler yardımıyla basınç enerjisi haline getirebiliriz [4]. Kompresör tasarımında difüzör kullanım şekli verimlilik ve performans etkisi açısından değerlendirilmelidir. Kompresör difüzörlerinin çeşitli şekillerde kullanımı bulunmaktadır. Genelde basit olan ve yaygın kullanılan küçük kompresörler için uygun olan kanatsız (vaneless) difüzördür. Kanatlı difüzörlerde kullanılan diğer bir difüzör çeşididir. Kanatlı difüzörler kanal tipi(channel) ve yaprak tipi (airfoil) olarak ikiye ayrılır.

Basınç değişikliğinden dolayı kanatsız tip difüzörler kanatlı tip difüzöre göre verim değeri düşüktür. Kompresörün sabit bir (N) devir sayısında çalışırken artan debi ile birlikte, basınç oranı önce yavaş, sonra hızla azalmaktadır [5].



Şekil 1.6. Kompresör profilin üç boyutlu tasarım görüntüsü

Elde edilen tasarım geometrisinde splitter (yarım kanatlar) ve vaneless(kanatsız) difüzör şekli kullanılmıştır. Şekil 1.6 elde edilen kompresör profilini üç boyutlu hale dönüştüren olan AXCENT program çıktısı verilmiştir. Axcen programı turboşarj tasarımında kullanılan ve kanat profillerinin oluşturulmasında yardımcı olan bir alt paket uygulamasıdır.

SONUÇ

- Mevcut tasarım parametreleri ile yeni bir kompresör profili oluşturulmaya çalışılmıştır.
- Elde edilen yeni profilin verimlilik ve basınç değerleri mevcut literatür bilgileri ile örtüşen sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kompresör performans haritalarında genelde uygun olan verim aralığı değeri %70-80 aralığında olması gerekmektedir. Yeni profilde bu verim değeri yaklaşık olarak %77 olarak tespit edilmiştir.
- Ortam koşulları 25 °C ve 100 kPa kabul edilerek analizler gerçekleştirilen çalışmada kompresörde meydana gelen basınçlandırma ile havanın sıcaklığında artış gözlemlenmektedir. Motor silindir bölümüne varmadan önce bu hava bir ara soğutucu ile ısı alınıyor ve daha iyi yanma elde edilebilmektedir.
- Turboşarj için önemli olan kompresör tasarımı ile beraber türbin tasarımında gerek malzeme içeriği olarak gerekse kanat profili olarak üreticiler için hassas bir noktadır.
- Kompresör malzemesi genellikle alüminyumda imal edilmektedir. Daha hafif ve işlenebilir olması ve hava alımını kolay bir hale getirdiği için tercih edilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Ventura, C., Sauret, E., Jacobs, P. A., Petrie-Repar, P., Gollan, R., and van der Laan, P., "Adaption and use of a compressible flow code for turbomachinery design". In V European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS, Lisbon, Portugal, 14-17 June 2010.
- [2] Watson N., Janota M.S., Turbocharging the internal combustion engine, Macmillan, London, 1982.
- [3] Japikse D., Centrifugal Compressor Design and Performance, Concepts NREC, 1996.
- [4] Zhang, YangJun, et al. "An integrated turbocharger design approach to improve engine performance." *Science in China Series E: Technological Sciences* 53.1,69-74., 2010.
- [5] Dağlar, S., Turbocharger Matching For Heavy Duty Engines In Comparison With Single Stage Variable Geometry And Two Stage Turbocharger Systems. Master of science thesis, Istanbul Technical university, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

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.

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.