

SAVUNMAMIZA GÜÇ VEREN MİLLÎ HAVACILIK
MOTORLARIMIZIN GELİŞİMİNDE TEI'NİN TARİHİ
YERİ

*HISTORICAL PLACE OF TEI IN THE DEVELOPMENT OF OUR
NATIONAL AEROSPACE ENGINES THAT EMPOWERS OUR
DEFENCE*

Prof. Dr. Mahmut AKŞİT

SAVUNMAMIZA GÜÇ VEREN MİLLÎ HAVACILIK MOTORLARIMIZIN GELİŞİMİNDE TEİ'NİN TARİHİ YERİ

Prof. Dr. Mahmut Faruk AKŞİT¹
TEİ-TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. | Genel Müdür

Özet

Hezârfen Ahmed Çelebi'nin uçuş denemeleri gibi bireysel girişimler dışında, ülkemizin havacılık serüveni gerçek anlamda Osmanlı Devleti'nin son döneminde ithal edilen ilk uçaklarla başlamıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında kurumsal olarak millî bir sanayiye dönüştürülmek istense de takip eden yıllarda tamamen akamete uğramış, Türkiye havacılık motorları alanında 2010'lu yıllara kadar neredeyse tamamen dışa bağımlı olmuştur. Kıbrıs Ambargosu sırasında başlayan farkındalık, son 20 yılda devlet politikası haline gelerek bir "Millî Teknoloji Hamlesi"ne dönüşmüştür. Özellikle savunma sanayisine verilen ciddi devlet destekleri ile yenilenen misyonunu ve vizyonunu bütünleştiren TUSAŞ Motor Sanayii (TEİ), son 8 yılında 11 değişik özgün ve millî havacılık motoru geliştirerek ciddi bir başarıya ulaşmış, Türk havacılık tarihine unutulmaz bir imza atmıştır. Bu çalışma, TEİ'nin son yıllarda peş peşe geliştirdiği ve bazıları gökyüzünde on binlerce saat başarılı görev süresine ulaşmış bu millî motorlarımızın hikâyesini paylaşmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Havacılık Motoru, Millîleştirme, Yerleştirme, Gaz Türbinli Motor, Pistonlu Motor, Millî Teknoloji Hamlesi

¹ ozelkalem[at]tei.com.tr

HISTORICAL PLACE OF TEI IN THE DEVELOPMENT OF OUR NATIONAL AEROSPACE ENGINES THAT EMPOWERS OUR DEFENCE

Prof. Dr. Mahmut Faruk AKŞİTⁱⁱ
TEI - TUSAŞ Engine Industries, Inc. | President & CEO

Abstract

Apart from individual attempts such as flight trials of Hezârfen Ahmed Çelebi, aviation adventure of our country has started with the first airplanes imported during the last period of the Ottoman Empire. Although it was aimed to institutionally transform it into a national industry during the first years of the Republic, it completely failed in the following years, and Türkiye has become almost completely foreign-dependent in the field of aerospace engines until the 2010s. The awareness that has started during the Cyprus Embargo has become a state policy and turned into a "National Technology Initiative" in the last 20 years. Integrating its renewed mission and vision with significant state support provided to the defence industry, TUSAŞ Engine Industries (TEI) has achieved a great of success by developing 11 different, indigenous and national aerospace engines in the last 8 years and left an unforgettable mark in Turkish aerospace history. This study shares the story of many national engines developed by TEI in recent years, some of which have achieved tens of thousands of successful operation hours in the sky.

Keywords

Aerospace Engine, Nationalization, Localization, Gas Turbine Engine, Piston Engine, National Technology Initiative

ⁱⁱ ozelkalem[at]tei.com.tr

1. Giriş

Günümüzde ülkemizin havacılık serüvenine itki sistemleri alanında imzasını atan TEI, 25 Ocak 1985 tarihinde Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ), General Electric (GE), Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı (TSKGV) ve Türk Hava Kurumu (THK) ortaklığı ile çalışmalarına başlamıştır. TEI'nin varoluş sebebi ve kuruluşu ile amaçlanan, Türk savunma sanayisine yerli ürün ve servislerin sağlanması olmuştur. Faaliyetlerine başladıktan sonra TEI, üstlendiği tüm projelerde başarılı bir performans sergilemiştir. 1993 yılında belirlediği vizyonuyla TEI, kısa süre içinde motor montaj, bakım, parça ve modül üretimi ve satış sonrası hizmetler alanlarında rekabetçi, uygun fiyat sunan, zamanında teslimat sağlayan ve üretimde sıfır hata prensibini uygulayan bir şirket haline gelmiştir. TEI aynı zamanda küresel havacılık motoru üreticisi firmaların en önemli tedarikçilerinden birine dönüşmüş ve dünya çapında yükselen bir değer olmuştur. Kuruluşunun 30. yılında güncellediği vizyonuyla, küresel olarak rekabetçi özgün güç sistemleri sahibi olmak hedefine doğru ilerleyen TEI, günümüzde özgün motor tasarım ve ürün geliştirme konularını da faaliyet alanları arasına eklemiştir. Böylelikle, Türkiye'nin havacılık motorlarındaki yurt dışı bağımlılığını sona erdirmek amacıyla faaliyet gösteren kritik role sahip bir şirkete dönüşmüştür.

2. Millî Savunma Sanayii'nin Önemi

Savunma sanayisindeki millileşme çabaları Türkiye ekonomisinin gelişmesi ve kalkınması adına olmazsa olmaz adımlardan biri olmuştur. Türkiye, dış politikada kendi menfaatlerini gözetmesi, gelecek planlamaları ve jeopolitik konumu nedeniyle diğer ülkeler tarafından yaptırım listesine eklenmiştir.

Türkiye'nin de bulunduğu coğrafyada son zamanlarda yaşanan olaylar, savunma sanayisinin ülkeler ve ülkemiz açısından önemini göstermiştir. Zaman zaman bu çerçevede dışa bağımlılığımızdan kaynaklanan engeller, millî savunma sanayii gelişimimizin ivme kazanmasını sağlamıştır.

Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulduğu yıllardan itibaren, bulunduğu stratejik konumu nedeniyle savunma harcamaları her daim büyük bir yer tutmuştur. Temelleri Osmanlı İmparatorluğu yükselme dönemine uzanan Türk savunma sanayisi, o çağın en önemli savaş araçlarını üretmiş, “Tophane-i Hümayun”u kurmuş ve Avrupa devletlerini, savaş gemisi ve üretim kapasitesinde geride bırakmıştır. Fakat 18. yüzyıldan itibaren Türk savunma sanayii Avrupa'daki gelişmelerin gerisinde kalmıştır (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2022). Cumhuriyet döneminde devlet, savunma sanayii girişimlerini kendi eli ile başlatmıştır. 1921 yılında Askerî Fabrikalar Genel Müdürlüğü, 1924 yılında Ankara'da hafif silah ve top tamir atölyeleri kurulmuştur. İlk özel atılım ise Tayyare ve Motor Türk A.Ş.'nin (TOMTAŞ) kuruluşu ile 1926'da gerçekleşmiştir. Her ne kadar devlet ve özel sektörde yerli savunma sanayisi için çalışmalara başlanılsa da 1945'te İkinci Dünya Savaşı sonrası Truman Doktrini ve Marshall Planı ile birlikte ülkemize yapılan finansal destekler ve daha sonra soğuk savaş döneminde NATO'ya girişimiz ile birlikte askerî yardımlar artış göstermiş, bu durum ise yerli ve millî savunma sanayi girişimlerini yavaşlatmıştır (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2022). 1974 yılına gelindiğinde ise Türkiye satın aldığı askerî araçları ulusal çıkarları doğrultusunda Kıbrıs Barış Harekâtı sırasında kullanmıştır. Türkiye'ye verilen savunma teşvikleri, bazı müttefik ülkelerin daha sonra silahlar üzerine engeller koyması nedeniyle kesilmiştir. Bu durum, Türkiye'nin bağımsız kararlar verebilmesinde millî savunma sanayisinin önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bu bağlamda Türkiye, üzerine

gelen askerî ve ekonomik yaptırımlar karşısında ulusal bir tepki göstermiş, bunun sonucunda Kara, Hava ve Deniz Kuvvetleri Güçlendirme Vakıfları kurulmuştur. ASELSAN, HAVELSAN, ASPİLSAN gibi şirketler, devlet destekli bu vakıflar tarafından kurulmuştur (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2022).

3. Yerli ve Millî Motor Sanayisinin Kuruluşu ve Gelişimi

Özgün motor geliştirilmesi amacıyla çıkılan yolu daha iyi anlatabilmek için yerli F-16 savaş uçaklarının üretimini detaylandırmak gerekmektedir. 1973 yılında Türkiye'nin ihtiyacı olan uçakları üretmesi için kurulan Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ), 1984 yılında Türk-ABD ortak yatırım şirketi olarak 25 yıllık bir ortaklığa dönüşmüştür. Uzun süren araştırmalar ve çalışmalar neticesinde yabancı bir ülke ile ortak yapım esasına göre bir savaş uçağı yapılması kararlaştırılmıştır. Uçak olarak Amerikalı General Dynamics şirketinin F-16 uçakları tercih edilmiştir. Uçağa güç verecek motor olarak ise General Electric (GE) yapımı F110-GE-100 modeli motor seçilmiştir. Bu motorların Türkiye'de montaj ve üretimi için 25 Ocak 1985 tarihinde TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. (TEİ) resmen kurulmuştur. Şirketin hissedar yapısı %51 Türk, %49 yabancı (Amerikan General Electric şirketi) olarak oluşmuştur (TEİ, 2005).

Kuruluşundan kısa bir süre sonra, Şubat 1987'de ilk faaliyetlerine, motor montajıyla başlayan TEİ, aynı yıl içinde F110 motorları için 12 farklı parçanın imalatına da girişmiştir (TEİ, 2005). Hem motor montajında hem parça imalatında yalnızca ülkenin ihtiyaçlarını karşılayan bir kurum olmaktan öteye geçen TEİ, dünyadaki ana motor üreticisi firmaların güvenilir tedarikçisi olarak sektörde adından söz ettirmeye başlamıştır.

TEİ vizyonuna tasarım kabiliyetlerinin kazanılmasını da eklemiş, 1996 yılında bünyesinde Tasarım ve Ürün Geliştirme Grubu oluşturulmuştur. J85 Nozul Sistemi Ejektör Geliştirme Projesi, grubun ilk projesi olarak ele alınmıştır. Sonrasında A400M uçaklarında kullanılan TP400 motorlarının kritik parçalarının mühendislik, tasarım ve imalat sorumluluklarının üstlenilmesi ile devam etmiştir. Bu Ar-Ge çalışmaları doğrultusunda, "Havacılık motorları tasarlayan ve üreten bir merkez haline gelme" hedefine kararlı biçimde ilerleyen TEİ günümüzde, ülkemizin havacılık motorlarındaki ilklere imza atan şirketi halini almıştır (TEİ, 2005).

Devletin savunma ihtiyaçlarının sağlanması için faaliyet gösteren bir şirket olan TEİ, ihtiyaç duyulan ürünlere dair politikaların doğrudan devlet tarafından belirlendiği bir sektör ve ekosistem içinde yer almaktadır. Bu nedenle, TEİ faaliyetlerini ve projelerini devlet politikalarıyla paralel olarak ilerletmektedir. Ülkemiz, 2000'li yılların başından itibaren özellikle ileri teknoloji gerektiren alanlarda millî çözümler üretmeye dair kararlı adımlar atmıştır. Özellikle 2006 yılında yayınlanan, Türkiye'nin Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda hedeflendiği üzere "İhtiyaçları millî imkânlarla karşılamak için rekabetçi, kendine yeten, esnek, üretim-tasarım-Ar-Ge alanlarında küresel iş birliklerine de dâhil olabilecek teknolojik ve yönetsel altyapının kazanılması" amaçlanmıştır (T.C. Resmi Gazete, 2006). Bu hedef doğrultusunda ilerleyen çalışmalar sonrasında 2010'dan itibaren sektör genelinde özgün tasarım çalışmaları yaygınlaşmış, gerçekleştirilen çok çeşitli projelerle Türkiye'nin yurt dışı bağımlılığı hatırı sayılır ölçüde azaltılmıştır.

Savunma sanayi alanındaki ilerlemelerin devlet kararlılığı ve politikaları ile başarıya ulaşabileceği düşüncesiyle orta ve uzun vadede, TEİ'de yürütülen projeler Türkiye'nin savunma ve havacılık sanayisi için kritik öneme haizdir. Özellikle son 8 yılda tasarlanan, geliştirilen, çalıştırılan ve üretilen 11 millî ve 1 yerli motor; şirketin kuruluş ülküsünde yer

aldığı biçimde Türk savunma sanayisi için en etkin biçimde faaliyet gösterme gayretinin somut delilleridir.

4. TEI'nin Millî Teknoloji Hamlesine Katkısı

TEI, üstlendiği küresel lider motor şirketi olma misyonu istikametinde kararlılıkla ilerlemektedir. Sahip olduğu yüksek imalat teknolojilerine paralel olarak, özgün tasarıma sahip yerli motor hedefi için planlı çalışmalarının neticelerini seri üretime giren motor projeleriyle almaktadır. 2004 yılında İnsansız Hava Araçlarında (İHA) kullanılabilecek turbojet ve turboprop gaz türbin motorlarının tasarım ve geliştirme faaliyetlerine başlayan ve İHA motorları ile ilgili tasarım çalışmalarını ilerleten TEI, son yıllarda pistonlu motorları da kapsayacak şekilde çalışma alanını genişletmiştir.

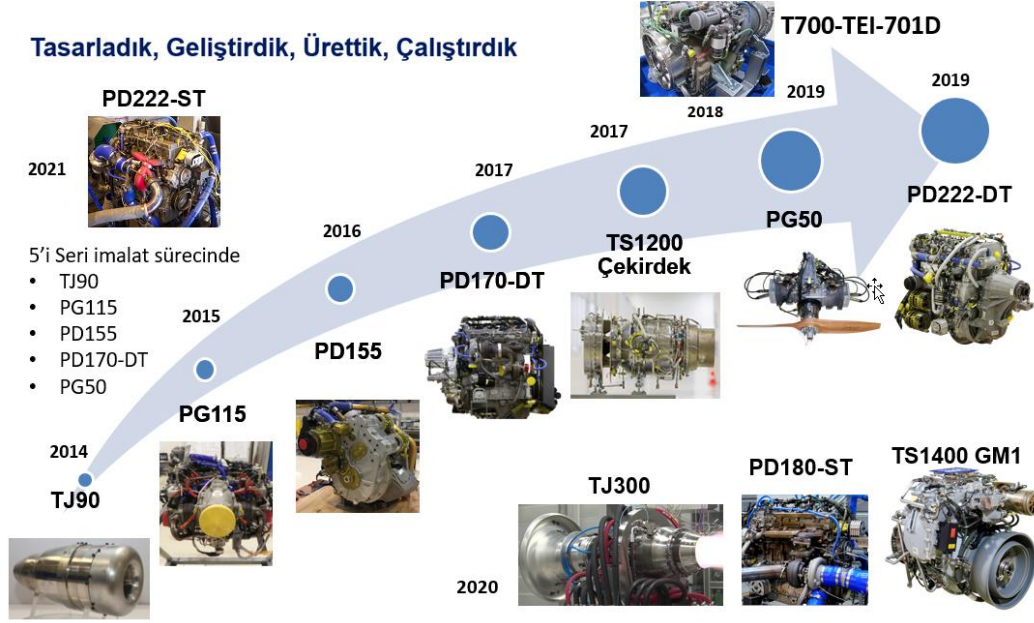
2014-2021 yılları arasında TEI tarafından 11 değişik özgün ve millî motor tasarlanıp geliştirilmiş, üretilip çalıştırılmış ve Türk havacılık tarihine erişilmesi güç bir başarıyla iz bırakılmıştır (Şekil 1). TEI tarafından son 8 yılda geliştirilen 11 millî motordan;

- 4 tanesi jet yakıtlı
 - TEI-TJ90,
 - TEI-TS1200-Çekirdek,
 - TEI-TJ300,
 - TEI-TS1400,
- 2 tanesi benzinli
 - TEI-PG115,
 - TEI-PG50
- 5 tanesi de dizel
 - TEI-PD155,
 - TEI-PD170-DT,
 - TEI-PD222-DT,
 - TEI-PD180-ST,
 - TEI-PD222-ST

havacılık motorudur. Bu motorlardan 5 tanesi seri imalat sürecine girmiştir.

- TEI-TJ90,
- TEI-PG115,
- TEI-PD155,
- TEI- PD170-DT,
- TEI-PG50

TEI-PG115 motoru Nisan 2022 itibarıyla gökyüzünde 30.000 saat başarılı görev süresini aşmıştır.



Şekil 1. 2014-2021 yılları arasında TEI tarafından geliştirilen özgün ve millî motorlar

TEF'de yürütülen motor geliştirme çalışmaları pistonlu motorlar ve gaz türbinli motorlar olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

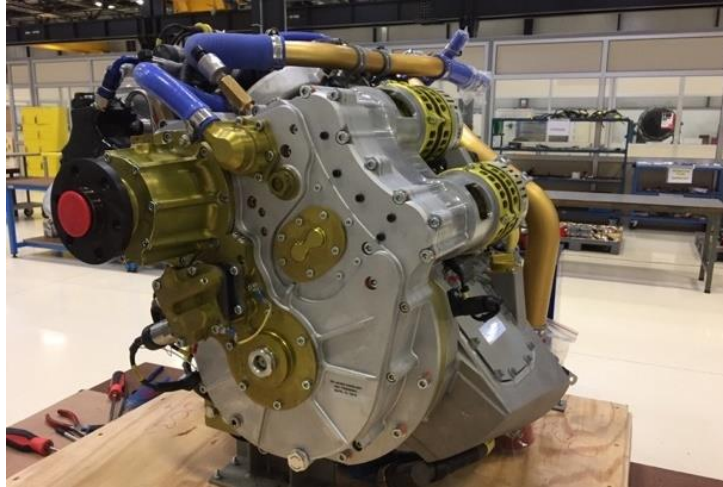
5. Pistonlu Havacılık Motorları Geliştirme Çalışmaları

İnsansız Hava Araçları (İHA) sahip oldukları çok çeşitli alt sistemlerle sivil ve askerî havacılıkta başta keşif, gözlem, arama-kurtarma, yakın hava desteği, savunma ve taarruz gibi birçok farklı alanda kullanılabilmektedir. İHA sistemleri gelişen teknoloji ve imalat kabiliyetleri sayesinde günden güne operasyonel maliyetleri de aşağı çekerek özellikle askerî alanda, sahip olanın fark yaratabileceği bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011). Bu noktalardan hareketle, savunma alanında da günümüzde İHA'lara olan talep hızla artmaktadır. Son yıllarda artan ihtiyacı yerli imkânlarla karşılayabilmek adına yola çıkan Türkiye, başta motor olmak üzere platformların çeşitli alt sistemlerinin de yerli ve millî imkânlarla geliştirilmesi konusunda harekete geçmiştir. Savunma Sanayii Başkanlığı öncülüğünde başlatılan çeşitli projelerle, Türkiye yıllar içinde kendi imkânlarıyla geliştirdiği İHA'larını yine kendi imkânlarıyla geliştirdiği yerli ve millî özgün havacılık motorlarıyla göklerle buluşturan sayılı ülkeler arasına girmiştir.

5.1. Dizel Havacılık Motorları Geliştirme Çalışmaları

Pistonlu motorlar alanında orta irtifada uzun uçuş süreleriyle hizmet veren MALE (Medium Altitude Long Endurance) sınıfı İHA'lara entegre edilmesi amacıyla Operatif İHA Motor Geliştirme Projesi kurgulanmıştır. Proje, 170 Beygir güç üretecek Türkiye'nin ilk yerli ve millî havacılık motorunu geliştirmek üzere Savunma Sanayii Başkanlığı destekleriyle 2013 yılında başlamıştır. Projenin çıktısı olacak TEI-PD170-DT motorunun tasarım çalışmaları devam ederken; 2014 yılında TUSAŞ'ın ürettiği ANKA-S platformunun kullanılmakta olduğu 155 Beygirlik ithal motorun sevkiyatı üretici ülke tarafından durdurulmuş, bu platformların üretiminin devamı için acil bir millî motor çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Platformun ana itki sistemi olması hedeflenen

TEI-PD170- DT Turbodizel Havacılık Motoru seri üretime geçene kadar bu acil ihtiyacın giderilmesi için Operatif İHA Motor Geliştirme Projesi geçici olarak durdurulmuş, ilgili bütün TEI tasarım ekibi TEI-PD155 Motor Geliştirme Projesi'ne yönlendirilmiştir. Kısıtlı zamanda 30.000 ft irtifada görev yapabilecek 155 Beygir güçte bir motor geliştirebilmek amacı ile mevcut sivil bir motor baz alınarak askerî koşullarda ve yüksek irtifada yüksek güç üretecek şartlarda çalışmasını sağlayacak özgün bir motora dönüştürülmesi stratejisi izlenmiştir. 31 Ekim 2014 tarihinde başlayan bu acil projede, TEI ekibinin olağanüstü gayretleriyle 2 yıl gibi kısa bir sürede TEI-PD155 Motoru başarı ile geliştirilip ilk motor 2016 yılının Aralık ayı içerisinde çalıştırılmıştır. Takip eden ilk ay içinde ithal motoru üreten ülke tarafından uygulanan sevkiyat yasağı kaldırılmıştır. TEI-PD155 Motoru hemen seri imalata geçirilerek acil ihtiyaç olan 9 adet motor, TUSAŞ'a 2017 yılında teslim edilmiştir (Şekil 2). Platform entegrasyon çalışmalarının tamamlanmasını müteakip ANKA platformu millî TEI-PD155 Motoru ile ilk uçuşunu 20 Şubat 2018'de başarı ile gerçekleştirmiştir (Yıldırım, ANKA yerli motorla uçtu, 2018).



Şekil 2. TEI tarafından TUSAŞ'a sevk edilen ilk TEI-PD155 motoru



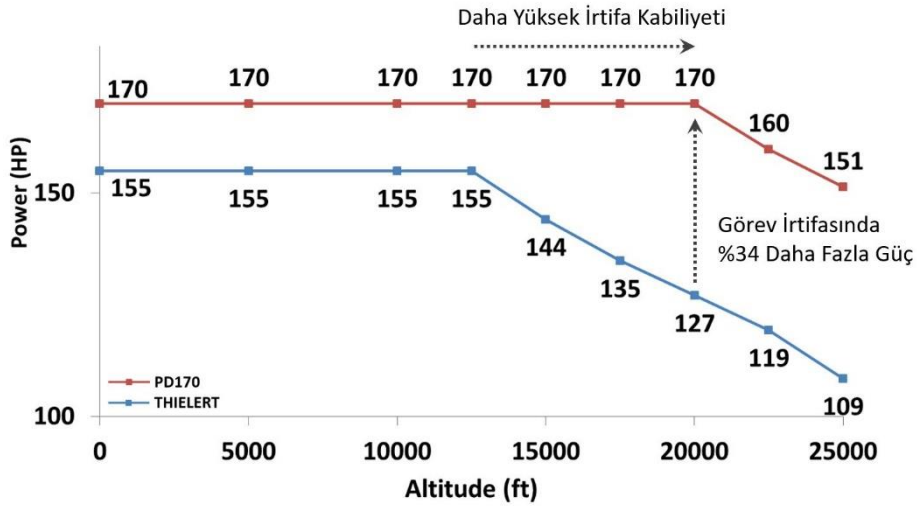
Şekil 3. TEI tarafından TUSAŞ'a sevk edilen ilk TEI-PD170-DT motoru

TEI-PD155 motorunun geliştirme çalışmaları sonlanırken TEI tasarım ekibi tekrar 170 Beygirlik daha üstün ve tamamen özgün bir turbodizel havacılık motoru geliştirmek amacı ile kurgulanmış olan Operatif İHA Motor Geliştirme Projesi'ne çalışmaya devam etmiştir. Yine TEI ekibinin üstün gayretleri ile TEI-PD155 motorunun çalıştırılmasının hemen ardından TEI-PD170-DT motorunun ilk çalıştırması da 30 Ocak 2017 tarihinde başarı ile gerçekleştirilmiştir. TEI-PD170-DT motoru, tasarımının tamamen özgün ve milli olmasının da ötesinde, üretim ve donanım olarak da %95'in üzerinde bir yerlilik oranını başarmıştır. Olgunlaştırma testlerini takiben ilk TEI-PD170-DT motoru 3 Kasım 2017'de TUSAŞ'a teslim edilmiştir (Şekil 3). TEI-PD170-DT motorunun platform entegrasyon çalışmaları TUSAŞ tarafından tamamlandıktan sonra, 27 Aralık 2018 tarihinde -10 derece zorlu hava şartlarında motorun ANKA platformu ile ilk uçuşu başarıyla gerçekleştirilmiştir (Bloomberg HT, 2018). TEI-PD170-DT motoru, takip eden aylarda müteaddit başarılı test uçuşları gerçekleştirmiştir. Aralık 2019 tarihi itibarıyla 13 motorluk ilk parti seri üretimi gerçekleşen TEI-PD170-DT motorunun seri imalatı ve teslimatları devam etmektedir (Şekil 4). TEI-PD170-DT motoru yine TUSAŞ tarafından ANKA platformunu müteakip geliştirilen AKSUNGUR platformuna da güç vermek üzere seçilmiş, entegrasyon çalışmalarının ardından AKSUNGUR platformu ile ilk uçuşunu 4 Ekim 2021 tarihinde başarıyla gerçekleştirmiştir. Bunun dışında, 3 adet motor da Baykar tarafından üretilen platformlara entegrasyon ve yer testleri için Baykar'a teslim edilmiştir.

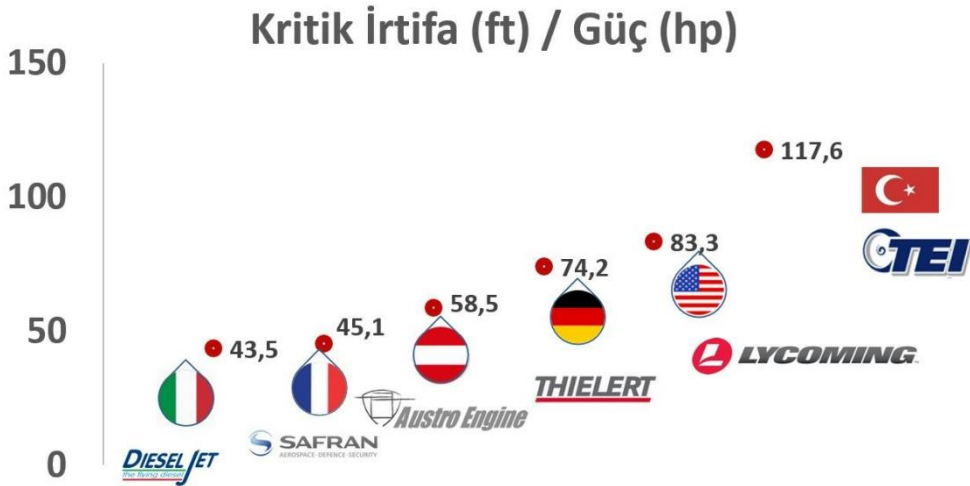


Şekil 4. Sevkiyata hazır TEI-PD170-DT motorları

TEI-PD170-DT motoru hiç güç kaybetmeden 20.000 ft kritik irtifaya çıkabilen sınıftaki tek turbodizel havacılık motoru olarak bir rekoru elinde tutmaktadır. Şekil 5'te görüldüğü üzere TEI-PD170-DT motoru 20.000 ft görev irtifasında sınıftaki en yakın rakibi olan ithal motordan 43 Beygir (%34) daha fazla güç üretmektedir. Kritik irtifa/güç oranı dünyadaki rakipleri ile kıyaslandığında (Şekil 6) TEI-PD170-DT motorunun tartışmasız üstünlüğü net bir şekilde gözükmemektedir.

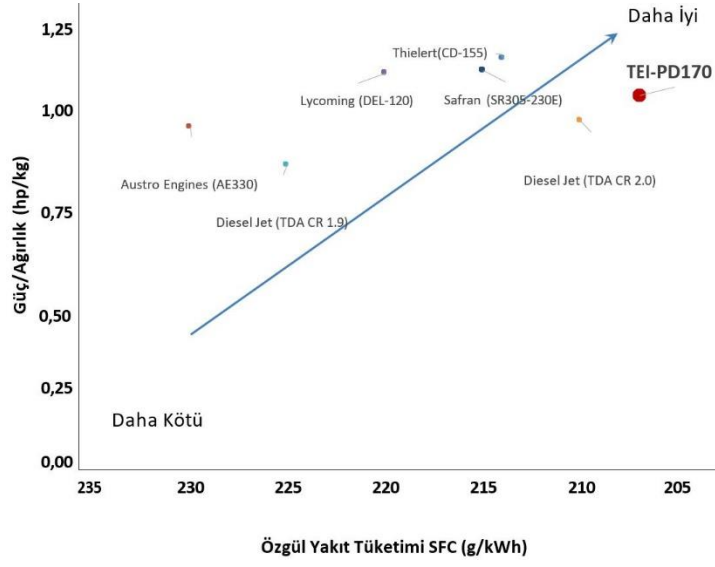


Şekil 5. TEI-PD170-DT ve rakip ithal motor irtifa performansı kıyaslaması (Uçuş testlerinde elde edilen gerçek yük değerleridir)



Şekil 6. TEI-PD170-DT ve dünyada bu sınıftaki rakip motorların irtifa performansı kıyaslaması

Üstün irtifa kabiliyeti ile dikkat çeken TEI-PD170-DT motorunda özgün olarak geliştirilmiş özel bir çift kademe turboşarj sistemi bulunmaktadır. JP-8 veya Jet-A1 yakıtlarıyla çalıştırılabilen TEI-PD170-DT motoru, 162 kg kuru ağırlığa sahiptir. Üstün irtifa yeteneğinin yanı sıra çift turbolu özel tasarımı ile bütün rakiplerinden minimum özgül yakıt sarfiyatı ile de sınıfının en üstün motoru olarak ayrılmaktadır (Şekil 7). EASA CSE 440 sivil havacılık standardına da uygun olarak geliştirilen TEI-PD170-DT motoru sınıfında taşıdığı üstün özelliklerle dünyanın en yüksek irtifaya sahip (45.000 ft) seri üretim turbodizel motoru unvanına sahiptir. Motora ait Yedekli Motor Kontrol Sistemi'nin (MKS) yazılımı da TEI tarafından geliştirilmiştir. 6.000 saatten fazla kalibrasyon ve test faaliyetlerinin sonunda seri üretim aşamasına geçilmiştir.



Şekil 7. TEI-PD170-DT minimum yakıt sarfıyatı ile de bu sınıftaki rakipleri arasında dünyanın iyisi

TEI-PD170-DT motorunun geliştirilmesinin tamamlanmasını takiben, bu motorda kazanılan tecrübe ve altyapı ile MALE sınıfında değişik görevler için geliştirilen insansız hava araçlarının değişken güç ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bu motorun ana karkasından bir türev motorlar ailesi türetilmiştir. İlk olarak 225 Beygir ile daha yüksek kalkış gücüne ulaşan 168 kg kuru ağırlığa sahip TEI-PD222-DT motoru geliştirilmiştir. Daha sonra bu motor hafifletilerek 225 Beygir kalkış gücünü özel tasarlanmış tek turbo sistemi ile verebilecek 8 kg daha hafif TEI-PD222-ST motoru (Şekil 8) geliştirilmiştir. Aynı şekilde, TEI-PD170-DT motorundan da özel tasarlanmış tek turbolu bir sistemle 7 kg daha hafif ve buna rağmen biraz daha fazla kalkış gücü üretebilen TEI-PD180-ST türev motoru geliştirilmiştir. TEI-PD222-DT, TEI-PD222-ST ve TEI-PD180-ST motorlarının testleri ve olgunlaştırma çalışmaları devam etmektedir (TEI, 2022).



Şekil 8. TEI-PD222-ST zorlu testlerden geçerken

5.2. Benzinli Havacılık Motorları Geliştirme Çalışmaları

TEI'nin sahip olduğu üstün teknik altyapı ile tasarım ve imalat mühendisliği kabiliyetleri sayesinde azami yerlilik oranına sahip olmasını hedefleyerek geliştirdiği bir diğer İHA motoru projesi ise yine pistonlu bir havacılık motoru olan TEI-PG50 motorudur. TEI-PG50, 2 zamanlı boksör tipi olarak adlandırılan ve benzinle çalışan bir İHA motorudur. Türkiye'nin ilk 2 zamanlı uçak motoru olan TEI-PG50 motoru da seri üretim aşamasındadır (Şekil 9). İlk toplu sipariş için görüşmeler devam etmektedir.



Şekil 9. Müşteri sevkiyatı öncesi üretimi tamamlanmış TEI-PG50 benzinli İHA motorları

Sadece 19 kg baz motor ağırlığı ile 50 ± 2 Beygir azami kalkış gücü üreten ve 16.000 ft irtifada görev yapma kabiliyetine sahip TEI-PG50 motoru, benzer amaçlarla kullanılan diğer İHA motorlarına göre ürettiği güç, sahip olduğu yüksek güç/ağırlık oranı, elektronik motor kontrol sistemi, enjeksiyon ve ateşleme sistemleri ile birlikte sunduğu hızlı teknik ve lojistik destek sayesinde öne çıkmaktadır (TEI, 2022). TEI-PG50 motoru, güç verdiği platformun fırlatma ve kullanım ihtiyacına göre istenildiği anda kavrama yaparak güç aktarımına izin veren özel geliştirilmiş bir debriyaj sistemine sahiptir. Bu özellikleri sağlayan sınıfında dünyadaki tek motordur.

6. Gaz Türbinli Motorlar Geliştirme Çalışmaları

TEI gaz türbinli motorlar alanında, öncelikli olarak Türkiye'nin millî ihtiyaçlarını karşılamak, orta ve uzun vadede ise uluslararası pazarlarda yerini almak hedefi gütmektedir. TEI bünyesinde gaz türbini teknolojisine sahip turbojet ve turboprop motor geliştirme faaliyetleri 2004 yılından bu yana devam etmektedir.



Şekil 10. Sevkiyata hazır TEI-TJ90 motorları

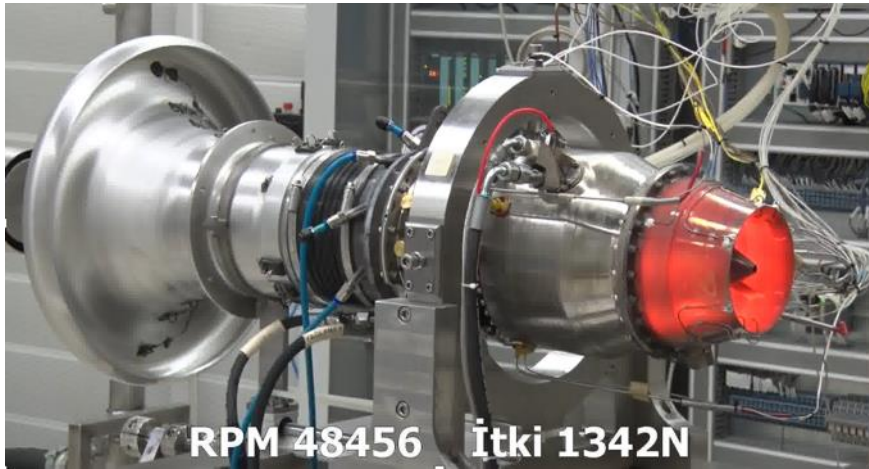
6.1. TEI-TJ90 Turbojet Motoru

Gaz türbinli motor geliştirme çalışmaları kapsamında TEI-TJ90 Turbojet Motor Geliştirme Projesi 2011 yılında başlatılmıştır. TÜBİTAK Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı tarafından desteklenen motor geliştirme çalışmaları kapsamında üretilen ilk prototip motor ile 5 Haziran 2013 tarihinde TEI deneysel platformu üzerinde ilk uçuş testi başarıyla gerçekleştirilmiştir. İlk etapta TUSAŞ'ın geliştirdiği hedef uçak Şimşek platformunda kısa süreli görevler için geliştirilen TEI-TJ90 motoru 400 N (90 lbf) güç üretme kapasitesine sahiptir. TUSAŞ Şimşek Platformu üzerine entegrasyonunun tamamlanmasını müteakip Şimşek ile ilk uçuşunu 7 Haziran 2017'de 10.000 ft irtifada gerçekleştirmiştir. TEI-TJ90 motorunun daha değişik ve uzun ömürlü İHA uygulamalarında kullanılabilmesi amacıyla motorun daha da geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucu yanma odası teknolojisi 16.000 ft irtifa seviyesine kadar ateşleme yapabilecek şekilde geliştirilmiştir. TEI-TJ90 Turbojet Motoru, emsallerine göre yer istasyonu ve veri bağlantılı EKÜ, askerî standartlara uyum, EMI/EMC uyumluluğu, katapult fırlatma yüklerine dayanım, kerosen veya elektrik ile başlatma özellikleriyle dikkat çekmektedir (TEI, 2022).

6.2. TEI-TJ300 Turbojet Motoru

TÜBİTAK desteği ile Eylül 2017'de TEI ve ROKETSAN arasında imzalanan protokole istinaden gerçekleşen iş birliği kapsamında, TEI-TJ300 OMGS (Orta Menzil Gemi Savar) Hava Solumalı Jet Motoru Projesine başlanmıştır. TEI ekibinin üstün gayretleri ile 2 yıl gibi kısa bir sürede geliştirilip üretilerek ilk prototip 25 Şubat 2020 tarihinde başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır.

TEI-TJ300 Motoru, Türk Silahlı Kuvvetleri envanterindeki mevcut bazı sistemlere uyarlanabilmesi için 300 kg üzerinde bir füzenin ihtiyacı olacak bütün itkiyi, 224 mm kısıtlı çapta üretebilecek şekilde özel olarak geliştirilmiştir. Dünyada bu itki sınıfındaki rakip füze motorlarının hiçbirinde bulunmayan gelişmiş bir kompresör teknolojisine sahip üstün bir motordur. Motor boyutlarındaki zorlayıcı kısıtlar, ilgili füze sisteminin kullanım alanını birçok platforma uyacak şekilde genişletmektedir. TEI-TJ300 Motoru 5.000 ft irtifada ses hızının %90'ına varan yüksek hızlarda çalışabilme özelliğine sahiptir. Herhangi bir başlatıcı sisteme (marş motoru) ihtiyaç olmadan rüzgar etkisi (windmilling) ile başlayabilme özelliği platformun hem hava, hem deniz, hem de kara savunma sistemlerine uygulanabilmesini mümkün kılmaktadır. Nisan 2021'de TEI-TJ300 Motoru 224 mm gibi küçük bir motor çapı ile 1.342 Newton'luk bir itki seviyesine ulaşarak (Şekil 11) sınıfında (Tablo 1) bir dünya rekoruna imza atmıştır (TEI, 2022; Çalkaya, 2021).



Şekil 11. TEI-TJ300 motorunun rekor itkiye ulaştığı test görüntüsü

Tablo 1. TEI-TJ300 Motoru ve Rakipleri Arasında Motor Çapı ve İtki Kıyaslaması

Marka	Ülke	Model	Motor Çapı	İtki
Safran	Fransa	TRS 18 -1	330.2 mm	1446 N
PBS	Çekya	TJ100	272 mm	1250 N
AMT	Hollanda	Lynx	261.4 mm	1450 N
Jetbeetle	Tayvan	H-250	250 mm	1250 N
PBS	Çekya	TJ80-11	235 mm	900 N
Jet Cat	Almanya	P1000-PRO	234 mm	1100 N
TEI	Türkiye	TJ300	224 mm	1342 N

} 220-250 mm
Çap sınıfı

6.3. TEI-TS1200-Çekirdek ve TEI-TS1400 Turboşaft Motorları

Daha sonra GÖKBAY olarak adlandırılacak olan 6 ton sınıfı millî bir genel maksat helikopteri geliştirilmesi için 26 Haziran 2013 tarihinde Özgün Helikopter Programı sözleşmesinin TUSAŞ tarafından imzalanmasını müteakip, bu helikopter için millî bir motor geliştirilmesi gündeme gelmiştir. 2014 yılında TEI Yönetim Kurulunun ön onayı ile bu millî helikoptere millî bir motor geliştirilmesi çalışmaları başlamıştır. Çalışmaların başında helikopterin güç ihtiyacı olarak 1.200 Beygir sınıfında bir turboşaft motor konfigürasyonunun yeterli olacağı öngörülmekteydi. Projenin ilerleyen aşamalarında değişen ve gelişen talepler ile motor başına güç ihtiyacı 1.400 Beygir olarak şekillenmiştir. 7 Şubat 2017 tarihinde SSB ve TEI arasında imzalanan sözleşme ile Millî Genel Maksat Helikopteri GÖKBAY'e güç verecek 1.400 Beygir gücünde bir turboşaft motorun geliştirilmesi ve millî gaz türbin motoru tasarım bilgi birikiminin ve geliştirme için gerekli altyapıların oluşturulması amacıyla TS1400 Turboşaft Motor Geliştirme Projesi resmen başlamıştır (İhlas Haber Ajansı, 2017). TEI ekibinin üstün gayretleri ile Türkiye'de sıfırdan ilk defa bir millî ve özgün helikopter motoru çok kısa sürede geliştirilerek ilk prototip motor teslimatı platform sahibi TUSAŞ'a 5 Aralık 2020 tarihinde Sayın Cumhurbaşkanı Recep

Tayyip Erdoğan'ın katıldığı törenle (Şekil 12) gerçekleşmiştir (Özer, 2020). Proje kapsamında seri olarak üretilecek nihai motorun, sivil tip sertifikasına sahip olması amaçlanmaktadır. Teslim edilen ilk motorun ardından üretilen motorlar üzerinde insanlı uçuşa hazırlık ve olgunlaştırma test çalışmaları ilerlemektedir. TUSAŞ'a ilk seri üretim motor teslim tarihi hedefi olarak Aralık 2024 belirlenmiş olup çalışmalar sürmektedir.

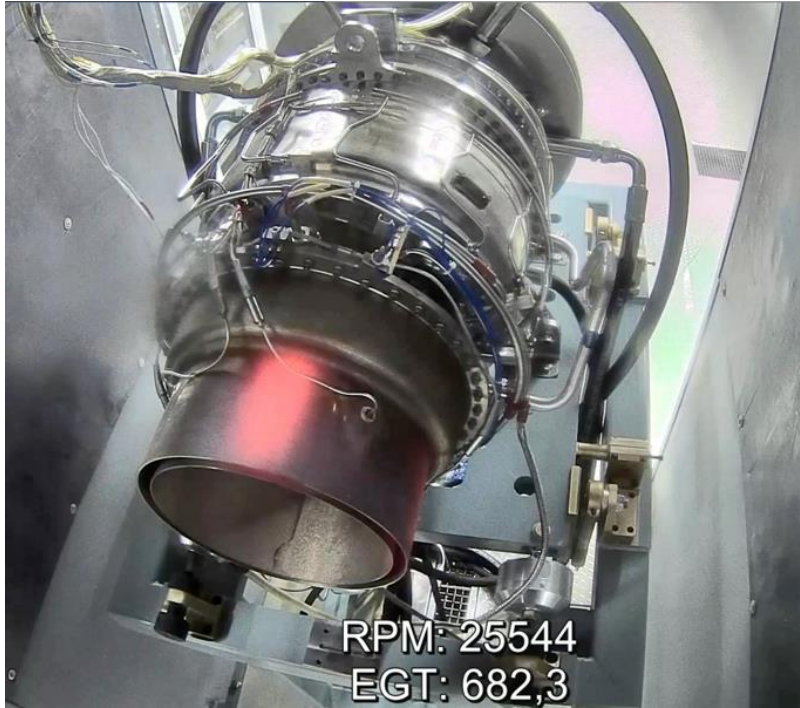


Şekil 12. TEI-TS1400 ilk prototip teslimat töreni, 5 Aralık 2020

Gaz türbinli motorlar, esasen çekirdek motor adı verilen motorun güç üreten ana gövdesi (kompresör, yanma odası ve türbin) üzerine yapılan çeşitli ek modül ve geliştirmelerle turbofan, turboprop, turboşaft gibi isimler almaktadır. TEI-TS1400 motorunun final konfigürasyonuna ulaşılmadan önce geliştirilen ilk çekirdek motoruna TEI-TS1200-Çekirdek adı verilmiş ve bu motor birçok testleri tamamlamıştır. Dolayısıyla TEI-TS1400 Turboşaft Motoru geliştirme projesi kapsamında hem 1200 Beygir güç sınıfına tekabül edecek bir “jet motoru” çekirdeği, hem de nihai 1400 Beygir konfigürasyonu ile bir turboşaft motoru geliştirilmiştir. Türk havacılık tarihinin gerçek anlamda ilk gaz türbinli (jet) motoru olan ve TEI-TS1200-Çekirdek adını alan bu motor TEI ekibinin 3,5 yıla sığan olağanüstü çalışması ve üstün gayretleri ile tasarım, imalat ve montaj (Şekil 13) aşamalarını hızla tamamlayarak 3 Kasım 2017 tarihinde ilk ateşlemesini başarı ile gerçekleştirmiştir (Şekil 14). Bu tarih Türk havacılık tarihinde ülkemizin gaz türbinli (jet) motoru teknolojisine sahip gelişmiş ülkeler sınıfına yükseldiği bir dönüm noktası olarak altın harflerle kazanmıştır.



Şekil 13. TEI-TS1200-Çekirdek motoru ilk teste girmeden önce



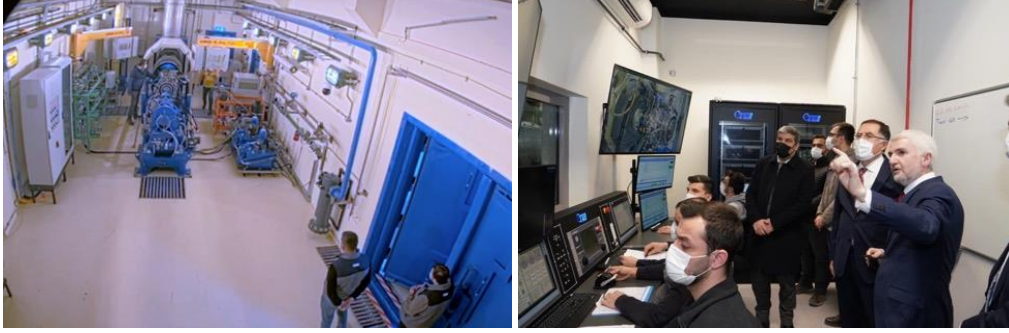
Şekil 14. TEI-TS1200-Çekirdek motoru ilk ateşleme testlerinden bir görüntü

Millî Genel Maksat Helikopteri GÖKBey projesi çalışmaları millî turboşaft motor projesinden 4 yıl önce başladığı için, ilk millî motoru geliştirme çalışmaları tamamlanıncaya kadar ilk partide üretilen GÖKBey helikopterlerinde ATAK helikopterinde de kullanılan 1292 Beygir maksimum sürekli ve 1373 Beygir kalkış gücüne sahip ithal motor kullanılmaktadır. TEI tarafından Turboşaft Motor Geliştirme Projesi kapsamında millî olarak geliştirilmekte olan TEI-TS1400 motoru 1411 Beygir maksimum sürekli ve 1470 Beygir kalkış gücüne sahiptir (Tablo 2).

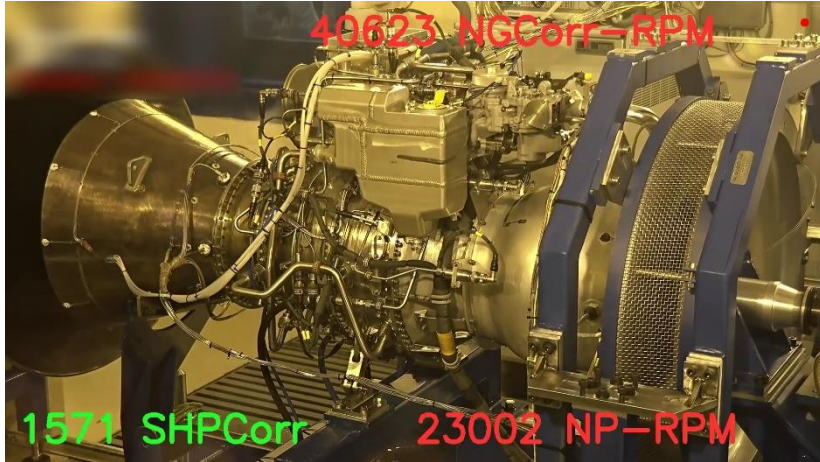
Tablo 2. TEI-TS1400 Motorunun Teknik Özellikleri

	TEI-TS1400	İthal Motor
Sürekli Maksimum Güç	1411 Hp	1292 Hp
Kalkış Gücü (5dk)	1470 Hp	1373 Hp
Acil Güç (2 dk)	1570 Hp	1501 Hp
Servis Yüksekliği	20.000 ft	20.000 ft
Çıkış Şaft Hızı	23.000 rpm	23.000 rpm

5 Aralık 2020 tarihindeki törende teslim edilen ilk TEI-TS1400 turboşaft motorda kullanılan ithal aksesuar sistemleri de hızla millileştirilmiş, kritik aksesuar olan millî dişli kutusu, yağ tankı ve pompası gibi sistemler de geliştirilmiştir. Motorun testlerinde kullanılacak test bremzesi de tamamen TEI mühendis ve teknisyenleri tarafından tasarlanıp, geliştirilip, inşa edilmiş ve devreye alınmıştır (Şekil 15). Yerli ve millî dişli kutusu, yağ tankı ve pompası gibi aksesuar sistemleri ile donatılmış ilk TEI-TS1400 motoru Ocak 2022'de yapılan testlerde tasarlandığı üzere 23 bin devir/dk şaft çıkış devriyle sürekli maksimum 1411 Beygir güce başarıyla ulaşmıştır (Şekil 16).



Şekil 15. TEI mühendis ve teknisyenleri tarafından TEI-TS1400 Turboşaft motorunun test ve kalifikasyonu için tasarlanıp geliştirilip inşa edilen ve devreye alınan ilk millî motor test bremzesi



Şekil 16. TEI-TS1400 Turboşaft motoru millî dişli kutusu, yağ tankı ve pompası gibi aksesuar sistemleri ile beraber yine TEI tarafından geliştirilmiş millî motor bremzesinde test ediliyor.

6.4. TEI-TF6000 Turbofan Motoru

Gaz türbinli motor geliştirme çalışmalarını bir adım daha öteye taşıyarak, TEI 2020 yılında TEI-TF6000 turbofan motoru için yeni bir geliştirme programı başlatmıştır. Bu 6000 lbf itki üretmek için tasarlanan bir teknoloji gösterimi motorudur. Program Milli Muharip Uçağın (MMU) motoruna doğru büyük ölçekli turbofan motorları için know-how ve teknoloji kazanımını hedeflemektedir. Mayıs 2022 itibarı ile ilk tasarım döngüsü tamamlanmış olup ilk prototip üretimi başlamıştır (Şekil 17).



Şekil 17. TEI-TF6000, teknoloji gösterimi için tasarlanmış Türkiye'nin ilk turbofan motoru

7. Seri İmalat Motor Üretim Kabiliyeti Kazanımı

Tamamen özgün millî motorların geliştirilme ve prototip üretimi çalışmaları devam ederken bir yandan da geliştirilen bu motorların seri üretimi konusunda eksik olan altyapı ve tecrübenin kazanılması gerekiyordu. TEI, 1985 yılında F-16 uçaklarına güç verecek F110-GE-100 motorlarının General Electric (GE) lisansı altında montaj ve üretimi için kurulduğundan bu konuda bir birikim uzun süredir vardı. Fakat Türkiye'de bir turboşaft helikopter motoru üretilmesi için 2018 yılına kadar beklenmesi gerekiyordu.

7.1. Turbofan/Turbojet Motor Üretim Kabiliyeti

TEI, ilk kurulduğu yıllarda General Electric lisansı altında F110-GE-100 Turbofan Motorlarının üretim kabiliyetini kazanarak 1987 yılında ilk F110 motor üretim ve sevkiyatını gerçekleştirmiştir (Şekil 18). Türk Hava Kuvvetleri envanterinde bulunan bütün F-16 savaş uçaklarının F110 motorlarının (Öncel I ve Öncel II Programları kapsamında 271 adet, Öncel IV Programı kapsamında 42 adet) montaj ve test işlemleri TEI'de gerçekleştirilmiştir. 12 motor parçası ile başlayan parça imalatı ise sonraki yıllarda daha yüksek yerlilik oranlarına ulaşmıştır.



Şekil 18. TEİ Eskişehir tesislerinde üretilen ilk GE-F110 motoru

TEİ, bünyesindeki kurulan Turbofan/Turbojet Motor Test Bremzesi 100.000 lbf itkiye kadar motorların test edilebilmesine imkan sağlayacak kapasitededir (Şekil 19). Bu kapasite dünyanın en büyük motoru olan GE90/GE9X hariç üretilen diğer bütün motorları test etmeye yeterli büyüklüktedir. Millî Muharip Uçak Programı kapsamında millî bir motor geliştirilene kadar F110-GE-129 motorlarının kullanılması kararlaştırılmıştır. Bu motorların en az %50 yerlilik oranıyla TEİ Eskişehir tesislerinde yerli olarak üretilmesi için pazarlıklar devam etmektedir.



Şekil 19. TEİ Eskişehir tesislerinde bulunan 100.000 lbf itki kapasiteli Turbofan/Turbojet motor test bremzesi

7.2. Turboşaft Motor Üretim Kapiliyeti

Millî Genel Maksat Helikopter sınıfında olan GÖKBAY helikopterinin millî ve özgün olarak geliştirilmesi için açılan proje dışında, Savunma Sanayii Başkanlığınca 2014 yılında Sikorsky S70i Helikopterlerinin lisans altında yerli olarak T70 Genel Maksat Helikopteri adı altında Türkiye’de üretilmesi için Genel Maksat Helikopter Programı (GMHP) başlatılmıştır. Bu proje kapsamında helikopter platformunun TUSAŞ tarafından, aviyonik

sistemlerinin ASELSAN tarafından, motorunun da TEI tarafından Türkiye’de lisans altında yerli olarak üretilmesi öngörülmüştür. TEI, Genel Maksat Helikopter Programı kapsamında 2018 yılında Türkiye’de ilk defa (GE lisansı altında) 2.000 Beygirlik T700-TEI-701D helikopter motorlarını yerli olarak üretmeyi başarmıştır. Bu motorların test ve kalifikasyonlarının yapılabilmesi için de TEI bünyesinde bir T700 motor test bremzesi kurulmuştur (Şekil 20). TEI tarafından Eskişehir tesislerinde üretilmiş ve tüm testleri yapılarak uçuş için kalifikasyonu tamamlanmış ilk seri imalat T700-TEI-701D yerli helikopter motoru (Şekil 21) 2019 yılında törenle TUSAŞ’a teslim edilmiştir (Açık, 2019).



Şekil 20. TEI Eskişehir tesislerinde yerli üretim T700-TEI-701D motorlarının test ve kalifikasyonu için kurulan motor test bremzesi



Şekil 21. TEI Eskişehir tesislerinde üretilerek TUSAŞ’a teslim edilen ilk yerli T700-TEI-701D motorumuz

TEI tarafından Türkiye’de üretilen T700-TEI-701D Turboşaft Motoru, 207 kg ağırlığı ile azami 2.000 şaft beygir güç üretmekte ve çöl tozu dâhil en zorlu çevresel şartlar altında güvenle çalışabilmektedir. T700-TEI-701D motorlarının güç vereceği T70 Genel Maksat Helikopteri Türkiye’nin kargo, arama-kurtarma, yangınla mücadele, hava ambulansı, kıyı güvenliği görevleri için gerekli genel maksat helikopter ihtiyacını karşılayacaktır.

2018 yılında üretimi gerçekleştirilen ilk T700-TEI-701D motorunun ardından, hızla seri imalat aşamasına geçilmiştir. 2021 yılında 50'nci seri imalat yerli helikopter motoru TUSAŞ'a teslim etmiştir (Şekil 22) (Defence Turkey, 2021). TEİ, haftada bir T700-TEI-701 motoru seri imalat kapasitesine ulaşmıştır. Nisan 2022 itibarıyla üretilen seri imalat T700-TEI-701 motor sayısı 70'i aşmış durumdadır. TEİ, bu motorların üretiminde yüksek teknoloji gerektiren yanma odaları dahil %50'yi aşan yerlilik oranına ulaşmıştır.



Şekil 22. Kasım 2021'de gerçekleşen 50. T700-TEI-701D motor teslimi

Kara Kara Kuvvetleri, Hava Kuvvetleri, Özel Kuvvetler ve Jandarma Genel Komutanlıkları ile Emniyet Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü'nün kullanacağı genel maksat helikopterlerinin üretileceği proje kapsamında, TEİ toplam 236 adet T700-TEI-701D Turboşaft Motorunu Eskişehir tesislerinde üretecektir (TEİ, 2022).

8. Yüksek Teknoloji Altyapısı Geliştirme Çalışmaları

Tamamen özgün ve millî gaz türbinli motorların tasarlanıp geliştirilebilmesi, üretilip test edilebilmesi için 2010'lu yıllardan önce Türkiye'de bulunmayan birçok yüksek teknoloji altyapısının ve know-how'ın kazanılması gerekmektedir. Yalnızca tasarımı başarıyla tamamlamak motor geliştirme projelerini başarıyla nihayete erdirmek için yeterli değildir. Bu kapsamda, Savunma Sanayii Başkanlığı himayelerinde halen birçok teknoloji geliştirme projesi yürütülmektedir. Özellikle geleceğin imalat teknolojisi olarak adlandırılan eklemeli imalat yöntemiyle ilgili çok ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. TEİ, günümüzde Türkiye'nin eklemeli imalat kabiliyeti en yüksek şirketlerinden biri olmasının yanında, dünya genelinde dönen parçada eklemeli imalat yöntemi kullanarak motor çalıştıran ilk firmalardan biri olmuştur. Ayrıca motorun alt sistemlerinin geliştirilmesi için diğer yerli şirketlerle iş birlikleri geliştirilmekte, ülkemizde kalıcı bir havacılık motorları endüstrisi ve ekosistemi tahsis edilmesi için bu tür girişimler desteklenmektedir.

8.1. Ham Malzeme ve Yarı Mamul İleri Üretim Proses Teknolojileri Geliştirilmesi

Millî havacılık motorlarımızın tasarlanıp geliştirilmesi ve üretilip çalıştırılabilmesi için gerekli olup daha önce Türkiye'de bulunmayan gelişmiş tasarım, üretim, test ve özel işlem

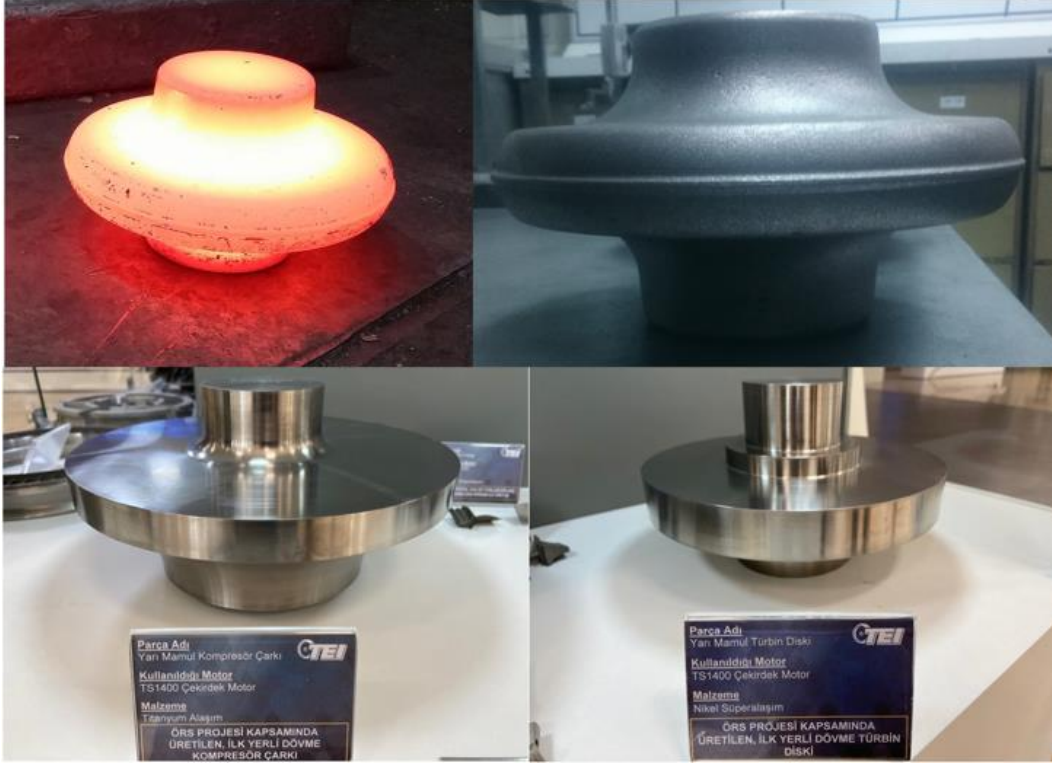
(proses) teknolojileri TEI'nin öncülüğü ve yürütücülüğünde SSB ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının destekleri ile geliştirilmiştir. Bu kapsamda TEI, TÜBİTAK MAM ve GÜRMETAL ekiplerinin yer aldığı KRİSTAL Projesi ile Türkiye'de ilk defa süper alaşım türbin kanatlarının tek kristal döküm teknolojisi 2017 yılında başarıyla geliştirilmiştir (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2022) (Şekil 23). Bu projenin çok önemli bir çıktısı olarak GÖKBAY helikopterinde kullanılacak olan turboşaft motorunun Stg 2 ve soğutma kanallı Stg 1 tek kristal türbin kanatları halen TÜBİTAK MAM'da prototip ölçekte üretilmektedir. Benzer şekilde 2018 yılında Türkiye'de ilk defa Titanyum malzemeden hassas uçak motoru parçası dökümü İNCİ Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (TEI, 2022) (Şekil 24). Yine 2018 yılında Türkiye'de ilk defa havacılık kalitesinde Titanyum alaşımı kompresör çarkı ve Nikel Süper alaşımı türbin diski dövme işlemleri (Şekil 25) ÖRS Projesi kapsamında başarılmıştır (TEI, 2022).



Şekil 23. Türkiye'de dökülen ilk süper alaşım türbin kanadı



Şekil 24. Türkiye'de havacılık kalitesinde dökülen ilk büyük ölçekli Titanyum motor parçası



Şekil 25. Türkiye'de havacılık kalitesinde dövülmüş ilk Titanyum alaşımı kompresör çarkı ve Nikel süper alaşımı türbin diski

8.2. Havacılık Malzemeleri Alaşımlandırma ve Üretim Teknolojileri Geliştirilmesi

Tek kristal döküm, hassas döküm ve dövme gibi özel havacılık proses teknolojileri yanında bu proseslerde kullanılacak özel nitelikli malzeme ve alaşımların da Türkiye'de geliştirilip üretilebilmesi için de yine SSB desteği ile başka teknoloji projeleri başlatılmıştır (Yıldırım & Çalkaya, Savunma Sanayisinde 6 Ar-Ge Projesi İçin İmzalar Atıldı, 2021). DİNÇ Projesi kapsamında 2020 yılında TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü'nde Türkiye'nin ilk Nikel esaslı IN718 süper alaşımı ile havacılık kalitesinde ilk AISI 321 paslanmaz çelik alaşımı da başarı ile üretilmiştir (Şekil 26 ve 27). CEVHER (2021) ve KÜLÇE (2022) projeleri kapsamında kritik havacılık alaşımlarının geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

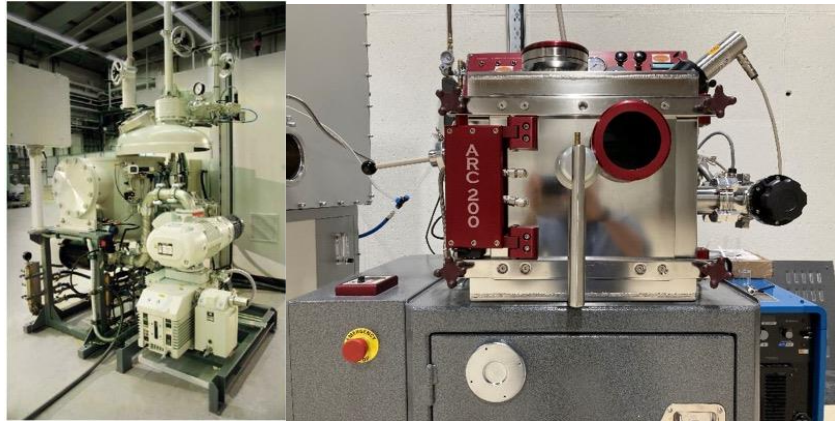


Şekil 26. Türkiye'de havacılık kalitesinde üretilmiş ilk IN718 Nikel Süperalaşımı ve AISI 321 paslanmaz çeliği



Şekil 27. Türkiye’de havacılık kalitesinde TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında üretilmiş ilk IN718 Nikel süper alaşımı, AISI 316L ve AISI 321 paslanmaz çeliği fırından çıktıkları kütükler halinde

TEI tarafından yerli, özgün ve millî güç sistemleri projelerinin ihtiyaç duyduğu malzemeleri geliştirme çalışmalarında kullanılmak üzere yüksek teknolojiye sahip laboratuvar ölçekli vakum indüksiyon ergitme ocağı ve vakum ark ergitme ocağı kabiliyetleri de kazanılmıştır (Şekil 28). Sertifikalı malzeme test ve karakterizasyon altyapısı, vakum indüksiyon ve vakum ark ocakları teknolojik altyapısını tamamlamak üzere ülkemiz havacılık sektörünün ihtiyaç duyduğu kritik öneme sahip alaşım, malzeme ve süper alaşımları geliştirmek üzere 2014 yılından itibaren bir mühendislik ekibi kurulmuş ve Malzeme ve Proses Geliştirme Müdürlüğüne dönüştürülmüştür.



Şekil 28. TEI’de vakum indüksiyon ve vakum ark ergitme ocakları

8.3. Uluslararası Akredite Malzeme Test ve Karakterizasyon Altyapısının Kurulması

Millî olarak geliştirilip yerli olarak üretilen alaşımların uluslararası malzeme standartlarına uygunluğu, mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenerek sertifikalandırılabilmesi için TEI

tarafından Türkiye'nin ilk uluslararası Havacılık (NADCAP) Sertifikalı Malzeme Test ve Araştırma Laboratuvarı kurularak (Şekil 29) 29 Temmuz 2019'da hizmete alınmıştır (Savunma Havacılık ve Uzay Derneği, 2019). Bu laboratuvarında değişik çalışma sıcaklıkları ve yükleme şartları altında üretilen on binlerce sertifikalı malzeme verileri ile TEI Ar-Ge ve tasarım mühendislerinin kullanımları için Türkiye'nin ilk sertifikalı malzeme veri tabanı oluşturulmuştur.



Şekil 29. Türkiye'nin NADCAP akrediteledi ilk malzeme test ve araştırma laboratuvarının açılışı

TEI Malzeme ve Test Araştırma Laboratuvarı (Şekil 30), havacılık malzemeleri için özellikle yüksek sıcaklık ortamında mekanik ve fiziksel testler, detaylı kimyasal kompozisyon analizlerini uluslararası standartlarda yapabilecek kabiliyete sahiptir. Bu kapsamda; TEI Malzeme ve Test Araştırma Laboratuvarı çekme, basma, yorulma, sürünme ve çatlak ilerleme testleri içeriğinde uluslararası akreditasyona ve NADCAP sertifikasyonuna sahiptir. Fiziksel karakterizasyon testleri kapsamında sıcaklığa bağlı yoğunluk, elastik modulus, özgül ısı, iletkenlik, termal genleşme vb. özellikler tespit edilebilmektedir. Ayrıca alایشım geliştirme projelerine destek vermek amacıyla, TEI tarafından geliştirilen alایشımların karakterizasyon, test ve doğrulama çalışmaları gerçekleştirilmektedir.



Şekil 30. TEI malzeme test ve araştırma laboratuvarı

8.4. İleri İmalat Teknolojileri ve Sertifikalı Özel Proses Yeteneklerinin Kazanılması

Yüksek teknoloji gerektiren gaz türbinli bir motorun üretilmesi için gereken ham malzeme, ve alaşımlar, döküm ve dövme gibi yarı mamuller elde edilse bile bunların yüksek hassasiyette karmaşık motor parçaları halinde işlenebilmesi için gelişmiş imalat mühendisliği ve özel imalat prosesleri yetenekleri de gerekmektedir. Bu yeteneklerin yüksek teknoloji imalat sistemleri ile buluşarak nihai motor parçalarının elde edilmesi gerekmektedir. TEI sahip olduğu 200'ü aşkın imalat mühendisliği ekibi ile her türlü karmaşık modern uçak motoru parçasını modelleyip üretebilecek yeteneğe sahiptir. 2017 yılında TEI, Kimyasal Prosesler (CP), Tahribatsız Muayene Yöntemleri (NDT), Isıl İşlem (HT), Yüzey Geliştirme (SE), Konvansiyonel Olmayan Yöntemler ile İşleme (NM), Kaplama (CT), Ölçüm ve Muayene (MI), Kaynak (WLD), Konvansiyonel Yöntemler ile İşleme (CMSP) ve Malzeme Test Laboratuvarları (MTL) olmak üzere 10 farklı proses grubunda 43 farklı özel proses için NADCAP akreditasyonuna ulaşarak Dünya çapında 4.000'in üzerindeki havacılık şirketi arasında en fazla NADCAP akredite özel yetenek proses kabiliyetine sahip şirket olmuştur. 1987 yılında 12 parça ile başlayan uçak motoru parça imalat kabiliyetleri Nisan 2022 itibarıyla 50'den fazla motor için 1.500'den fazla yeni nesil her türlü havacılık motoru parçaları üretimi kabiliyetine ulaşmıştır. 2022 itibarıyla TEI, sahip olduğu sertifikalı özel proses imalat kabiliyetlerinin sayısı ve çeşitliliği bakımından havacılık motoru üretim tesisleri arasında dünyada ikinci sırada yer almaktadır (TEI, 2022).

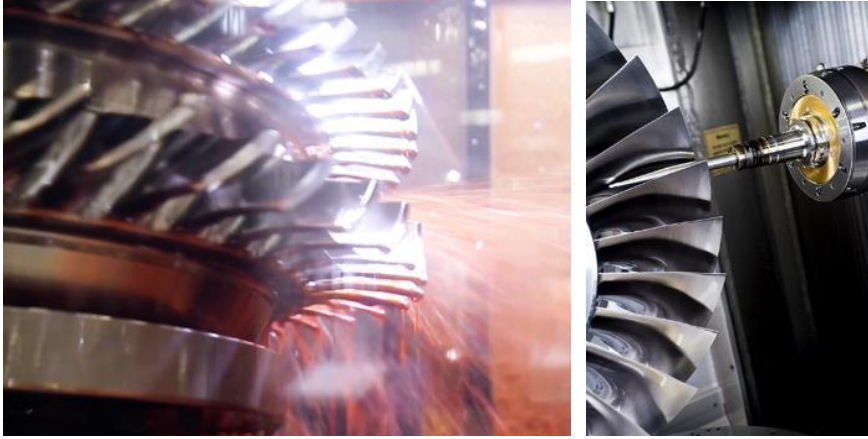
Çağımızın modern ve gelişmiş havacılık motorlarının karmaşık parçalarının üretilmesi için sertifikalı özel proses yetenekleri dışında yüksek teknolojiye sahip imalat sistemleri altyapısı da gerekmektedir. 2014 yılı başında kapsamlı bir TEI imalat yetenekleri haritası çıkarılmıştır. Gaz türbinli bir motor üretmek için eksik olan imalat teknolojileri ve kabiliyetler sistematik bir şekilde kazanılarak 3,5 yıl gibi kısa bir sürede bir gaz türbinli bir motor üretecek imalat altyapısı ve teknoloji seviyesine ulaşılmıştır. Bu yetkinliğin kazanılmasının ardından Türkiye'nin ilk gerçek anlamda gaz türbinli (jet) motoru olan TS1200-Çekirdek motorun imalatı Ekim 2017'de tamamlanarak, motor 3 Kasım 2017'de çalıştırılmıştır. TEI'nin sahip olduğu 50'ye yakın gelişmiş özel imalat ve proses teknolojilerinden öne çıkan bazıları Şekil 31 - Şekil 40'ta sunulmuştur.



Şekil 31. Türbin diski broş açma işlemi



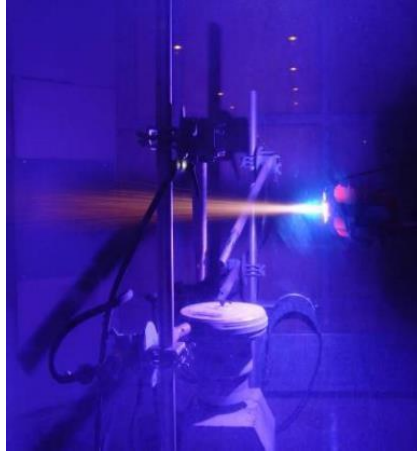
Şekil 32. TEİ elektrot ve kaynak dolgusu olmadan atalet kaynağı yapma teknolojisine sahip dünyadaki sayılı şirketlerden biridir



Şekil 33. TEİ Blistk (Yekpare Kanatçıklı Disk) üretim teknolojisine sahip bir kaç firmadan biridir



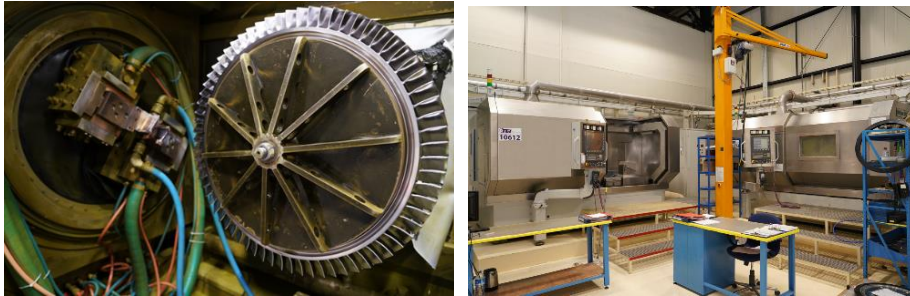
Şekil 34. Hassas vakum teknolojisine sahip yüksek teknoloji ısıtma fırınları



Şekil 35. TEI'deki özel seramik/termal kaplama sistemlerinden biri



Şekil 36. TEI hem “Selective Laser Melting” hem de “Electron Beam Melting” teknolojileri ile katmanlı imalat yeteneklerine sahiptir



Şekil 37. Süper Alaşım Malzemelerde Yüksek Malzeme Kaldırma Kapiliyeti Sağlayan 6 Eksen Elektro-Kimyasal İşleme Teknolojisi



Şekil 38. TEI tarafından geliştirilen özgün “Yüksek Hassasiyetli Optik Ölçüm Kabiliyeti” ile parça üzerindeki tüm ölçüler CMM hassasiyetinde dakikalar içerisinde alınabilmektedir



Şekil 39. TEI'deki türbinlerin disklerinde korozyon önleyici kaplama teknolojisi ile yüksek sıcaklık altında malzemelerin termal şok direnci arttırılmaktadır



Şekil 40. Ultrapolish Prosesi ile Blisk kanatlarının pürüzlülük değerlerini düşürülerek motorun kompresör performansı arttırılmaktadır

8.5. İmalatta Dijital Dönüşüm ve Endüstri 4.0

TEI, imalatta dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 çalışmalarına 2016 yılında şirket içinde özgün dijital platformlar ve sistemler geliştirerek başlamıştır. Bu kapsamda, ileri imalat teknolojileri binasındaki makine ve ekipmanlar nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları (Şekil 41) ile bir ağa bağlı hale getirilerek sistemden toplanan veriler için bir veri tabanı sistemi oluşturulmuştur. Toplanan gerçek zamanlı verilerin analiz edilerek anlamlı bilgilere dönüştürülmesi ile oluşabilecek hatalar öngörülüp önlem alınabilirken, fırsatlar da önceden fark edilip hızla eyleme geçilebilmektedir. Ayrıca, üretimde oluşan hataların sistematik olarak takip edilmesi, düzeltici faaliyetlerin planlanması, uygulanması ve raporlanması amacıyla özgün bir dijital kalite uygulaması tasarlanmış, geliştirilmiş ve devreye alınmıştır. Bu sayede ilk seferde doğru ürün üretme oranı yükselmiş ve kayıp maliyetlerinde önemli ölçüde iyileşme sağlanmıştır.



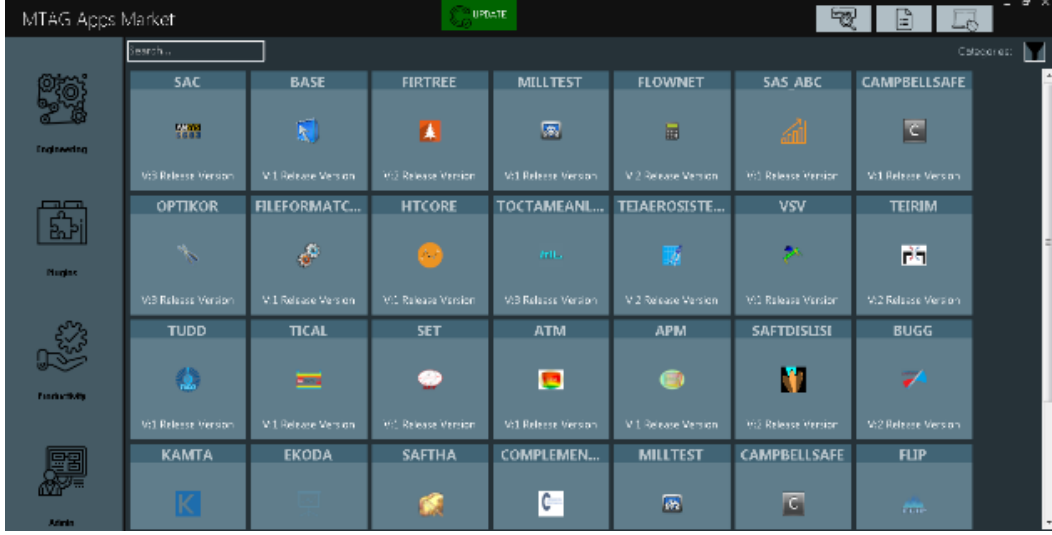
Şekil 41. İleri imalat teknolojileri binasındaki CNC makinelerde nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları

TEI'nin kazandığı dijital yetkinlikler ile kağıtsız imalat, veri analitiği, dijital ikiz uygulamaları, veri işleme ve raporlama platformları gibi konularda yazılımlar geliştirilmiş, imalatta uçtan uca dijital izlenebilirlik sağlanabilmesi ve karar alma süreçlerinin veriye dayalı hale getirilmesi sağlanmış, imalat süreçlerinde verimlilik, çeviklik ve kalite artırılmıştır.

8.6. Özgün Motor Tasarım Araçları, Yazılım ve Mühendislik Kodlarının Geliştirilmesi

Yüksek teknoloji içeren çok karmaşık gelişmiş motor tasarımlarının hızlı bir şekilde olası bütün alternatif konfigürasyon seçenekleri arasından seçilebilmesi için özgün motor tasarım ve analiz yazılımlarına ve mühendislik araçlarına ihtiyaç vardır. Ticari ve profesyonel mühendislik kodları ancak genel motor tasarımı belirlendikten sonra detay analizlerde etkin olmaktadır. Diğer bütün havacılık motorları geliştiren ve üreten OEM firmalarda olduğu gibi 2014 yılından itibaren TEI bünyesinde de bir Motor Tasarım Araçları Geliştirme ekibi kurulmuştur. TEI'de yürütülen motor tasarım araçları geliştirme çalışmaları ile motor tasarım ve geliştirme süreçlerinde yapılacak analiz, hesaplama, çizim ve değerlendirme gibi işlemlerin özgün yazılımlı motor tasarım araçları ile yapılması sağlanmaktadır. Motor tasarım sürecinin önemli bir unsuru olan özgün tasarım araçları ana motor üreticilerinin

en kritik gizlilik seviyesinde koruduğu bilgiler kategorisindedir. Bu amaca yönelik olarak çalışan TEI MTAG (Motor Tasarım Aracı Geliştirme) ekibi motor tasarım süreçlerini kaliteli, güvenli, hızlı ve doğru şekilde yönetecek özgün kodlu motor tasarım araçları geliştirmektedir. MTAG yazılım ekibi, Ar-Ge ve tasarım ekiplerinin ihtiyaç duyduğu mühendislik metodlarını programlar ve özgün olarak geliştirdikleri kullanıcı arayüzleri ile “Uygulama Marketi” (Şekil 42) üzerinden TEI'nin mühendislik ekiplerinin kullanımına sunar. Bu kapsamda 30'un üzerinde özgün yazılım ve mühendislik aracı kullanıma sunulmuş olup, öncelikler doğrultusunda araç geliştirme çalışmaları devam etmektedir.



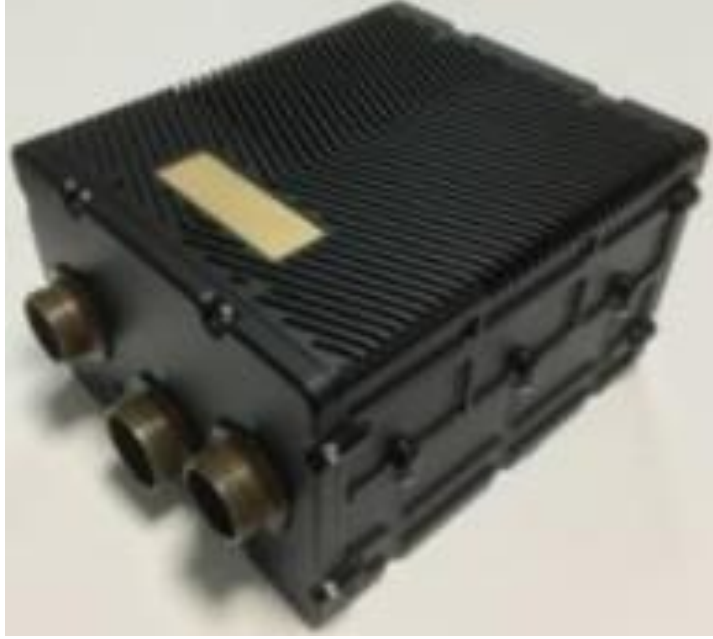
Şekil 42. TEI MTAG (Motor Tasarım Araçları Geliştirme) ekibi tarafından oluşturulan özgün Mühendislik Yazılımları Uygulama Marketi (App Store) örnek bir ekran

8.7. Motor Kontrol (FADEC) Yazılım ve Donanım Teknolojileri Geliştirilmesi

Tasarım, analiz, imalat, test, ham malzeme ve yarı mamul üretim teknolojileri yanında yüksek teknolojiye sahip bir havacılık motorunun geliştirilip üretilebilmesi için en kritik teknolojilerden biri de motor kontrol yazılım ve donanım teknolojileridir. Motorun zorlu uçuş ve operasyon şartlarında en iyi performansı verebilmesi için Elektrik, Elektronik, Kontrol ve Gömülü Sistemler (EEKGS) içeren yüksek teknoloji ürünü motor kontrol ünitesine, yani havacılıkta kullanıldığı adıyla bir FADEC (Full Authority Digital Engine Control) birimine ihtiyacı vardır. TEI'deki özgün motor projelerinde kullanılacak tüm elektrik-elektronik alt sistemlerin geliştirilmesi için 2014 yılında bir tasarım ve geliştirme ekibi kurulmuştur. Bu birimin görevi, motordaki emniyet kritik alt sistemlerinden motor kontrol ve elektrik sistemlerini tasarlamaktır.

TEI-TJ90 motorunun kontrol sisteminin geliştirilmesiyle başlayan Ar-Ge çalışmaları, sonrasında TEI-PG115 ve TEI-PD155 motorlarındaki elektrik sistemlerinin (alternatör/ jeneratör, motor kablağı, elektriksel güç üretim ve kontrol üniteleri) geliştirilmesiyle devam etmiştir. TEI-PD170-DT Turbodizel Havacılık Motoru için başta FADEC (Full Authority Digital Engine Control) olmak üzere kontrol ve elektrik sistemlerinin tamamı özgün olarak uçuşa elverişlilik açısından emniyet odaklı biçimde tasarlanmış, yer ve uçuş testleriyle doğrulanmıştır. FADEC yani Motor Kontrol Sistemi (Şekil 43), platform üzerindeki pilottan gelen komutlara cevap olarak motor sıcaklığı, basıncı, yakıt sıcaklığı, hava yoğunluğu gibi motordaki sensörlerden gelen verilere göre motor performansını en iyi şekilde sağlamakla sorumlu olan birimdir. Bütün bunları yaparken hem motorun hem de

kendi elektronik donanım ve yazılımının sağlık seviyesini izlemekte ve tanımlanan motor limitlerine göre pilota uyarılar vermektedir. Motordaki emniyet kritikliği anlamında en üst seviyedeki birimlerden biri olan FADEC, yedekli bir mimariyle çalışır.



Şekil 43. TEI-PD170-DT motor kontrol sistemi (FADEC)

TEI-PD170-DT motorlarının kontrolü için kazanılan tasarım kabiliyeti, takip eden yıllarda farklı türev dizel motorların yanısıra benzinli motorlar tarafında da (TEI-PG50) geliştirilerek uygulanmıştır. Bu motorların tamamında elektriksel güç üretim sistemleri tasarım kabiliyeti de kazanılmıştır. Sadece motorun değil platformun da elektriksel güç ihtiyacını karşılamakla sorumlu olan alternatör/jeneratör (Şekil 44) ve bunların güç kontrol ünitelerinin (Şekil 45) tasarımları da tamamlanmış ve uçuş testleriyle doğrulanmıştır.



Şekil 44. TEI-PD170-DT alternatör sistemi



Şekil 45. TEI-PG50 güç kontrol ünitesi

Pistonlu motorlar tarafında kazanılmış olan tasarım kabiliyeti yanında geliştirme ve doğrulama altyapıları sayesinde gaz türbinli motorlar tarafında da motor kontrol ve elektrik sistemlerinin geliştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır. TEI-TJ90 ve TEI-TJ300 motorları için geliştirilen gaz türbinli motor kontrol sistemleri ile edinilen tecrübe, TEI-TS1400 motoruna da hizmet etmiştir.



Şekil 46. TEI EEKGS (Elektrik, Elektronik, Kontrol ve Gömülü Sistemler) yazılım-donanım geliştirme laboratuvarlarından bir görüntü

Daha önceleri küçük bir birim halinde faaliyetlerine başlayan TEİ elektrik-elektronik alt sistemleri ekibi, 2016 yılında kontrol, aviyonik sistem, donanım ve yazılım olmak üzere 4 ana disiplinden oluşan tam donanımlı bir EEKGS (Elektrik, Elektronik, Kontrol ve Gömülü Sistemler) Müdürlüğüne dönüştürülmüştür. Bu birimde TEİ bünyesinde tasarlanan tüm motor kontrol ve elektrik sistemlerinin hem geliştirme hem de doğrulama altyapıları ve laboratuvarları oluşturulmuştur (Şekil 46). Geliştirilen prototip seviyedeki alt birimler önce laboratuvar ortamında kart seviyesinde, daha sonra da yazılım-yazılım ve yazılım-donanım entegrasyonu yapılarak kutu seviyesinde Hardware-In-the-Loop (HIL) test sistemlerinde (Şekil 47) doğrulanmaktadır.



Şekil 47. *Hardware In the Loop (HIL) test sistemi*

Çekirdek motordan başlayarak motor kontrol algoritması, gömülü sistem yazılım ve donanımı sivil havacılık otoritelerinin istediği ARP 4761, ARP 4754, DO 178 ve DO 254 standartlarına uygun olarak olgunlaştırılmıştır. TEI bünyesinde altyapı kurulum geliştirilirken, Türkiye genelinde bir yazılım ve donanım alt yüklenici ekosistemi de oluşturulmuştur. Değişik projelerde bu alt yüklenici firmalar eğitilerek donanım ve alt seviye yazılım hizmetleri alınmıştır. TÜBİTAK-BİLGEM ile de Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi konularında birlikte çalışılmaktadır.

Mevcut motor projelerinin ihtiyaçlarının karşılanması dışında TEI EEKGS ekibi Türkiye’de yeni nesil motor kontrol ve güç teknolojilerinin geliştirilmesi için de çalışmalarına devam etmektedir. Bu kapsamda, kalıcı mıknats teknolojisine dayanan havacılık standartlarında alternatör (PMA) de özgün olarak geliştirilmektedir. Aynı şekilde, gelecekte havacılık itki sistemlerindeki elektrifikasyon çalışmalarının oransal anlamda artacağı ön görüşleriyle hibrit itki sistemleri geliştirme çalışmaları yürütülmekte, özgün olarak elektrik motorları ve motor sürücü sistemleri teknolojilerinde de tasarım kabiliyeti kazanılmaktadır.

9. Sonuç

Türkiye son dönemde savunma ve havacılık sektöründe büyük bir atılım içerisinde. Bu atılımda devlet politikaları ve kurumlarının verdiği destek büyük önem arz etmektedir. Bu destek sayesinde Türkiye, kendi uçağını, gemisini, tankını üreten sayılı ülkeler arasına girmiştir. Bir “Milli Teknoloji Hamlesi”ne dönüşen bu süreçte TEI, ülkemizin ihtiyaç

duyduğu özgün havacılık motorlarının geliştirilmesi hususunda üzerine düşen görevi başarıyla yapmaya devam etmektedir. 40 yıla yaklaşan tecrübesi ve alanındaki en nitelikli çalışan kadrosuyla birlikte şirketin kuruluşunda hedeflenen; ülkemizde kalıcı bir havacılık motoru sanayisi oluşturma ve teknoloji altyapısını gerçekleştirme konularında başarıya ulaşmış durumdadır. Son yıllarda özgün millî motorların tasarım ve geliştirilmesi yeteneğini hızla geliştiren TEI, 3 Kasım 2017 tarihinde Türkiye'nin gerçek anlamda ilk türbinli (jet) çekirdek motorunu başarıyla çalıştırarak Türkiye'yi yüksek teknolojiye sahip ülkeler ligine çıkarmıştır. TEI, 5 Aralık 2020 tarihinde kendi geliştirdiği ilk özgün helikopter motor prototipini platform entegrasyon çalışmalarının başlaması için müşteriye teslim ederek, artık parça ve modül üretimi yapan şirketler arasından bir üst sınıfa sıçrayarak ana motor üreticisi firmalar arasına dahil olmuştur. Son 8 yılda tasarlayıp, geliştirip, ürettiği 11 değişik özgün ve millî havacılık motorlarıyla birlikte adını Türk Havacılık tarihine başarıyla yazdırmıştır. TEI, kısa sürede geliştirdiği bu özgün motorların yanında son yıllarda kazandığı yüksek teknoloji altyapısı ile de artık 5'inci nesil bir savaş uçağına supercruise (art yakıcı desteği olmadan süpersonik uçuş) yeteneği kazandıracak teknoloji seviyesinde 35.000 lbf sınıfında itki üretecek bir askerî turbofan motor geliştirip üretebilecek etkinliğe ulaşmıştır. Bütün bu başarılarıyla TEI, ülkemizin havacılık tarihine adını silinmeyecek bir şekilde yazdırmıştır. TEI, devletimizin ihtiyaçları doğrultusunda "Millî Teknoloji Hamlesi"ne önemli katkılar sağlayan bir şirket olarak çalışmalarını kararlılıkla sürdürmeye devam etmektedir.

Kaynakça / References

- Açık, D. (2019, Mayıs 13). *Yerli Kara Şahin Helikopterinin Motoru Teslim Edildi*. AA: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/yerli-kara-sahin-helikopterinin-motoru-teslim-edildi/1477057> adresinden alındı
- Bloomberg HT. (2018, Aralık 27). *Millî İHA ANKA yerli motorla ilk uçuşunu yaptı*. Nisan 5, 2022 tarihinde Bloomberg HT: <https://www.bloomberght.com/haberler/haber/2184910-milli-ih-a-anka-yerli-motorla-ilk-ucusunu-yapti> adresinden alındı
- Çalkaya, M. (2021, Nisan 16). *Türkiye'nin İlk Orta Menzilli Füze Motoru TEI-TJ300 Dünya rekoru Kırdı*. AA: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-ilk-orta-menzilli-fuze-motoru-tei-tj300-dunya-rekoru-kirdi/2210879> adresinden alındı
- Defence Turkey. (2021). TEI Delivers the 50th T700-TEI-701D Engine. *Defence Turkey*, 137.
- İhlas Haber Ajansı (2017, Şubat 8). *Turboşaft Motor Geliştirme Projesi'nde İmzalar Atıldı*. İHA: <https://www.ih-a.com.tr/ankara-haberleri/turbosaft-motor-gelistirme-tmg-projesinde-imzalar-atildi-1616796/> adresinden alındı
- Özer, S. (2020, Aralık 5). *İlk Millî Helikopter Motoru TEI-TS1400 Test Edildi*. AA: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/ilk-milli-helikopter-motoru-tei-ts1400-test-edildi/2066807> adresinden alındı
- Savunma Havacılık ve Uzay Derneği. (2019, Temmuz 29). *TEI'ye NADCAP Akredite Laboratuvar*. Savunma Havacılık ve Uzay Derneği:

- <https://www.dasa.org.tr/haberler-ve-duyurular-ve-etkinlikler/tei-tusas-a-nadcap-akrediteli-laboratuvar-adresinden-alindi>
- Savunma Sanayii Başkanlığı. (2022, Nisan 5). *KRİSTAL - Havacılıkta Kullanılan Nikel Süperalaşım Malzeme ve Üretim Proseslerinin Geliştirilmesi Projesi*. Nisan 5, 2022 tarihinde Savunma Sanayii Başkanlığı: <https://www.ssb.gov.tr/Website/ContentList.aspx?PageID=1079&langID=1> adresinden alındı
- Savunma Sanayii Başkanlığı. (2022). *Savunma Sanayimiz, Tarihçe*. Nisan 5, 2022 tarihinde Savunma Sanayii Başkanlığı: <https://www.ssb.gov.tr/Website/contentList.aspx?PageID=47&LangID=1> adresinden alındı
- Savunma Sanayii Müsteşarlığı. (2011). *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası 2011-2030*. Ankara: Savunma Sanayii Müsteşarlığı.
- T.C. Resmi Gazete. (2006, Temmuz 1). Resmi Gazete.
- TEI. (2005). Mükemmelin Kanatlarında 20 Yıl. *TEI*, 53.
- TEI. (2022, Nisan 5). *İNÇİ - Havacılıkta Kullanılan Titanyum Döküm Teknolojisi Geliştirilmesi Projesi*. TEI: <https://www.tei.com.tr/tr/projeler/teknoloji/inci> adresinden alındı
- TEI. (2022). *Motor Tasarım ve Ürün Geliştirme*. Nisan 5, 2022 tarihinde TUSAŞ Engine Industries: <https://www.tei.com.tr/tr/faaliyet-alanlari/motor-tasarim-ve-urun-gelistirme> adresinden alındı
- TEI. (2022, Nisan 5). *ÖRS - Havacılıkta Kullanılan Titanyum ve Nikel Süperalaşım Dövme Teknolojilerinin Geliştirilmesi Projesi*. TEI: <https://www.tei.com.tr/tr/projeler/teknoloji/ors> adresinden alındı
- Yıldırım, G. (2018, Şubat 22). *ANKA yerli motorla uçtu*. Nisan 5, 2022 tarihinde AA: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/anca-yerli-motorla-uctu/1070494> adresinden alındı
- Yıldırım, G., & Çalkaya, M. (2021, Şubat 18). *Savunma Sanayisinde 6 Ar-Ge Projesi İçin İmzalar Atıldı*. AA: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/savunma-sanayisinde-6-ar-ge-projesi-icin-imzalar-atildi/2149084> adresinden alındı

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Mahmut Faruk AKŞİT | TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. Genel Müdür |
ozelkalem[at]tei.com.tr**

1967 yılında Denizli’de doğan Prof. Dr. Mahmut F. Akşit, 1991 yılında Boğaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun oldu. Akademik çalışmalarını ABD Troy, New York’ta bulunan Rensselaer Polytechnic Institute’da sürdüren Akşit, Makina ve Havacılık Mühendisliği Bölümünden 1993 yılında Yüksek Lisans (MSc), 1998 yılında da Doktora (PhD) derecelerini tamamladı. 2004 yılında Doçent, 2015 yılında Profesörlük unvanlarını aldı. ABD’de bulunduğu sırada General Electric Corporate Ar-Ge Merkezinde 10 yıl boyunca sırasıyla “Consultant Research Engineer”, “Senior Researcher”, “Static Seals Manager” ve son olarak da “Advanced Seals Research Team Leader” olarak görev yaptı. Akşit 2001 yılında Türkiye’ye dönerek Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yürüttü. Kariyerine 2003 yılından itibaren Sabancı Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde devam eden Akşit, 2013 yılı Aralık ayından beri TEİ Genel Müdürlüğü görevini yürütmektedir. Bu görevlerinin yanında ESAC Eskişehir Havacılık Kümelenmesi Derneği Yönetim Kurulu Başkanlığı ve Uluslararası Gaz Türbini Enstitüsü Isı Transferi Teknik Komitesi üyeliği görevlerini de yürütmektedir. Profesör Akşit’in uçak motorları, gaz ve buhar türbinleri konularında 30 yılı aşkın tecrübesi, 16 değişik ülkede yayınlanmış 60’ın üzerinde patenti, 150’ye yakın makale, tebliğ, NASA ve NATO teknik raporları ve benzeri bilimsel yayınları bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Mahmut Faruk AKŞİT | TEİ-TUSAŞ Engine Industries, Inc., President & CEO |
ozelkalem[at]tei.com.tr**

Born in Denizli, Türkiye in 1967, Prof. Mahmut F. Akşit has graduated from Mechanical Engineering Department of the Boğaziçi University in 1991. Continuing his academic studies at Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, New York, USA, Akşit completed his Master Degree (MSc) in 1993 and Doctoral Degree (PhD) in 1998 in the Department of Mechanical and Aerospace Engineering. He received the titles of Associate Professor in 2004 and Professor in 2015. During his stay in the USA, he served as “Consultant Research Engineer”, “Senior Researcher”, “Static Seals Manager” and finally “Advanced Seals Research Team Leader” for 10 years at the General Electric Corporate R&D Centre. Akşit returned to Türkiye in 2001 and served as the Head of the Department of Energy Systems Engineering at Gebze Institute of Technology. Continuing his career in Mechatronics Engineering Department of Sabancı University after 2003, Akşit received the title of Professor in 2015. Professor Akşit is serving as the President & CEO of TEİ since December 2013. In addition to these duties, he also serves as the Chairman of the Board of the ESAC Eskişehir Aviation Cluster Association and a member of the International Gas Turbine Institute Heat Transfer Technical Committee. Professor Akşit has more than 30 years of experience in aircraft engines, gas and steam turbines, over 60 patents issued in 16 different countries, and has produced nearly 150 articles, papers, NASA and NATO technical reports and similar scientific publications.