

**CAN'CA Başarı Bursu Programı**  
**Endüstriyel İzleme ve Bilgi Alma Çalışması Raporu**  
**Kale Arge**

**Tarih: 09.12.2022**

**Yer: İstanbul Deri Organize Sanayi Bölgesi, Kumpas Cad. No:32 N-5, Tuzla/İstanbul**

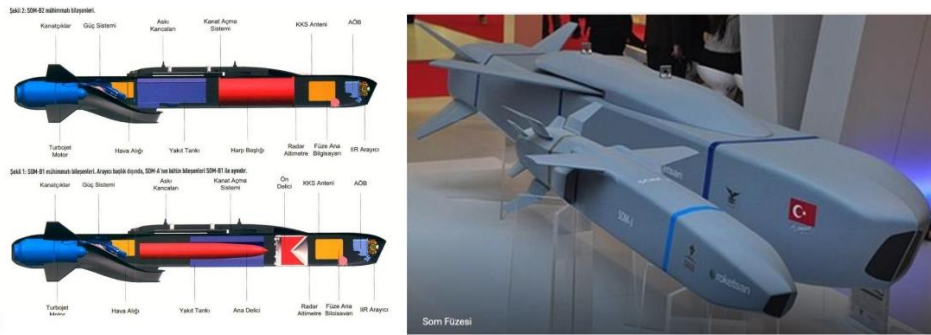
**14 Aralık 2022**

CAN'CA Başarı Bursu Programı 2022-2023 uygulaması olarak düzenlenen "Endüstriyel İzleme ve Bilgi Alma Çalışması" 9 Aralık 2022 günü yapılmıştır.

Kale Arge 2013 yılında araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmak üzere kurulmuştur, turbomakine geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır ve temel ilgi alanı turbojet motorudur. Şirketin ilk turbojet motoru KTJ 3200 olup TÜBİTAK SAGE tarafından geliştirilen SOM seyir füzesi ve Roketsan tarafından geliştirilmekte olan gemisavar füzesi Atmaca için kullanılması amaçlanmaktadır.



Şekil 1: KTJ 3200 Turbojet Motoru [1]



Şekil 2: Som Füzesi [2]

Şirketin ikinci turbojet motoru KTJ 1750'dir ve Roketsan tarafından geliştirilmekte olan seyir füzesi Çakır'da kullanılması amaçlanmaktadır.

Bu motorlar tek kullanımlık motorlar olup çalışma ömürleri birkaç saati geçmemektedir ve bu kapsamda geliştirilmektedirler.

## **İş Sağlığı ve Güvenliği**

İlk aşamada kısa bir iş sağlığı ve güvenliği eğitimine katılım sağlandı. İş yerindeki güvenliğin sağlanmasında çalışanların, işverenin ve devletin ortak hareketi söz konusudur. Devlet, yönetmelikler çıkarır; işveren bunların uygulanması için kaynak ayırır; çalışanlar da bildirilen kurallara uymakla yükümlüdür. Bu üç taraftan birinin görevini yerine getirmemesi iş kazalarına ve bunun sonucunda yaralanmalara, can kayıplarına ve mali zararlara sebep olur.

## **Prototip İmalat Atölyesi**

Yasin Bey tarafından “Mühendislik iki basitlik arasındaki karmaşıklığıdır” ilkesine dair bir anlatım yapıldı. İlk basitlik sistemin mühendis tarafında basitçe anlaşılmasıdır, yani en basit haliyle sistemin neyi nasıl yapacağını anlaşılmasıdır. İkinci basitlik ise ortaya çıkan ürünün kolayca anlaşılması ve kullananların ürünün içindeki kompleks sistemlerden etkilenmeden ürünü kolaylıkla kullanabilmesidir. Karmaşık kısım ise bu sistemlerin geliştirilmesi ve işler hale getirilmesi kısmıdır ve burada araştırma ve geliştirmenin önemi ortaya çıkmaktadır.

Prototip imalat atölyesinde bilgisayar destekli tasarım programlarında tasarlanan ürünün üretimi sağlanmaktadır. Bu atölyede çeşitli torna ve freze makineleri bulunmaktadır. Freze makinesinde üretilecek parça sabitken makine hareketlidir ve parçadan talaş kaldırır; torna makinesinde ise üretilecek parça hareketli ve makine sabittir. İki bileşenin de hareketli olması kompleks yapıların ve yüzeylerin üretilmesine imkan sağlamaktadır. Bu yüzden burada kullanılan makinelerden biri dokuz eksenli torna-freze makinesidir.

İmalat için en önemli bileşenler imalat makinesi ve hammaddedir. İkisinden birine erişimde sıkıntı varsa süreç sekteye uğrayacak ve mali sonuçları olacaktır.

Prototiplerin üretilme sebebi, prototiplerin müşteri isterlerinin gerçekleştirilen tasarımla sağlandığının kontrol edileceği deneylerde kullanılacak olmasıdır. Bu testlerden önce ürün geliştirme sürecinde çeşitli programlarda analizler yapılmakta ve en son aşama olarak prototip üretilmektedir.

## **Kalite Kontrol**

İmalat atölyesinde üretilen parçaların tasarım boyutlarıyla uygunluğunun karşılaştırıldığı bölümdür. Tasarım boyutları ve üretim boyutlarının uygunluğu önem arz etmekle birlikte, ürünün üretilebilirliğine ve üretim makinesinin kalibrasyonuna ve doğruluğuna bağlıdır.

Yanlış üretilen parçalar, talaş fazlası varsa tekrar makineye sokularak ek talaş kaldırmayla düzeltilir fakat tersi durumda parça büyük ihtimalle çöp olacaktır. Ölçümün ardından doğruluğunu kanıtlayan parçalar ambar bölümüne kaldırılır.

## Montaj Atölyesi

Çeşitli testlerde kullanılacak prototiplerin, parçalarının birleştirilerek tek parça haline getirildiği bölümdür.

## Test Bölümü

Testlerin amacı ürünün, müşteriyle yapılan sözleşmede belirtilen isterleri sağlandığını kanıtlamaktır. Testlerin iki çeşidi söz konusudur. Birincisi sahra testleri, deniz seviyesinde yapılan testlerdir; ikincisi irtifa testleri, motorun yerleştirileceği platformun uçuş yapması planlanan irtifadaki sıcaklık, basınç ve mach sayısı şartlarının sağlanmasıyla yapılan testlerdir.

Sahra test platformunda motor havayı dışarıdan kendisi çeker ve bu yüzden motorun çalışabilmesi için türbinin dışarıdan başlatılması gereklidir. İrtifa testlerinin yapılabilmesi için izole bir test odası gereklidir ve bu odadaki prototipe basınç farkıyla oluşumu sağlanan hava akışı verilir, bu akış gerçek uçuş şartlarını yansıtmalıdır ve bu akış sayesinde türbin belli bir devre geldikten sonra kendi kendini başlatabilir ve dışarıdan bir müdahaleye gerek yoktur.

İrtifa testinde sağlanması gereken üç şart sıcaklık, basınç ve mach sayısıdır. Ortam basıncı, vakum pompalarıyla test odasının vakumlanmasıyla sağlanır. Mach sayısı ise test odasına doğru, daha yüksek basınçlı bir ortamdan akış oluşturulmasıyla sağlanır. Akışı oluşturacak hava, turbokompresörlerle sıkıştırılıp depolanır ve basıncı artırılır. Hava hızlandığı zaman soğuyacağı için buzlanma olmaması için kurutulur ve nem ortadan kaldırılır. Ortam sıcaklığının sağlanması için de depolanan hava, ortam basıncını sağlamak için önce tekrardan sıkıştırılır ve sonra genişletilerek soğuması sağlanır. Bu basınçlı havanın sağladığı debi ölçülür ve eğer test için gerekli olandan fazla debi meydana geldiyse vanalarla fazlası tahliye edilir. Süreç kısaca; sıkıştırma, kurutma, soğutmak için önce (gerekli basıncı kaybetmemek için) sıkıştırma ve sonra genişletme, debiyi ayarlama, gerekli basıncı sağlayıp irtifa odasına verme olarak sıralanabilir.

## Bileşen Testleri

Motor bileşenlerinin görevlerini yerine getirip getirmediğinin belirlenmesi ve çalışma optimizasyonlarının sağlanması için testlerinin yapılması önemlidir.

Yapılan testlerden bir yanma odası testleridir. Yanma odasındaki şartları ilk etkilendiği parametre kompresör çıkış şartlarıdır ve yanma odası testleri için kompresör çıkış şartlarının sağlanması gereklidir. Bu şartların sağlanması için ısıtıcı gereklidir. Eğer ısıtıcının kapasitesi yeterli değilse gerçek yanma odasının tüm hacmine oranla daha küçük bir hacmi için test yapmak söz konusu olmaktadır.

Yanma odasına yakıt püskürten bileşenler olan enjektörlerin yakıtı püskürtmesi yanma verimliliği açısından önemlidir. Enjektörün oluşturduğu spreyn optimizasyonu önemlidir ve PIV görüntüleme ile optimizasyon yapılması hedeflenmektedir.

Motorun ömrünü belirleyen en önemli bileşenlerden biri rulmanlardır. Uçuş sırasında motorun oluşturduğu jetin etkisinden dolayı rulmanlara yüksek yükler gelmektedir. Türbin rulmanlarının elli bin devirdeki testleri yapılmaktadır. Rulmanların ömrü yağlanmalarıyla artmaktadır. Rulmanların üretimi de ayrı bir çalışma alanı olmakla birlikte ambargolar sebebiyle rulmanlar da Kale Arge tarafından geliştirilmeye başlanmıştır.

## **Motor Kontrol ve Aksesuarları**

Motorun işleyişi sırasında bazı parametreleri ayarlayan ve bazı ihtiyaçları karşılayan bileşenler vardır. KJT 3200'de bu bileşenler beş tanedir ve bunlar: Alternatör, yakıt kontrol sistemi, elektronik kontrol ünitesi, piroteknik ateşleyici ve kabladır.

Alternatör, içinde bir elektrik motorunu barındırır ve motorun, kontrol aygıtlarının ihtiyaç duyduğu elektriği üretir.

Yakıt kontrol sistemi, motorun istenen şartlardaki uçuşunu sağlamak için yakıt miktarını ayarlayan sistemdir.

Elektronik kontrol ünitesi, motorun kontrolcülerini içinde barındıran sistemdir. İçinde gömülü yazılımların bulunduğu devre kartları bulundurulur.

Piroteknik ateşleyici, yanma odasında yanmayı sağlayan ateşlemeyi yapan aygıttır ve yanma verimliliği açısından önemlidir.

Kablaj, elektrik ihtiyacı olan aygıtlara alternatörden elektrik sağlayan ve kontrolcüler ve kontrol edilen elemanlar arasındaki bağlantıyı sağlayan kablo elemanlarıdır.

## **Mekanik Tasarım**

Motorun ömrünü en çok kısıtlayan bileşenler rulmanlar ve türbin palleridir. Rulmanların ömürleri, türbin ve kompresörün çok yüksek devirlerde çalışmasından dolayı ve itkiyi oluşturan jet akışının tepkisi olarak uğradıkları yüklemelerden dolayı kısalmaktadır. Rulmanların ömrünü yağlama arttırmaktadır. Türbin pallerinin ömrü ise yanma odasından çok yüksek sıcaklıklarda çıkan gaz sebebiyle kısalmaktadır. Yüksek sıcaklık sebebiyle türbin palleri sürünme yorulmasına uğramaktadır. Sıcaklıktaki küçük artışlar bile malzeme ömrüne olumsuz etki eder. Türbin palleri, turbojet motoru tasarımının en zorlayıcı unsurlarından biridir. Uzun ömürlü motorlarda pallerin soğutulması ve bunun için de pallere soğutma kanalları açılması gerekmektedir. Bu da tasarımı oldukça zorlaştırmaktadır. KJT 3200 tek kullanımlık bir motor olduğundan dolayı türbin pallerinde böyle bir tasarım süreci olmamıştır.

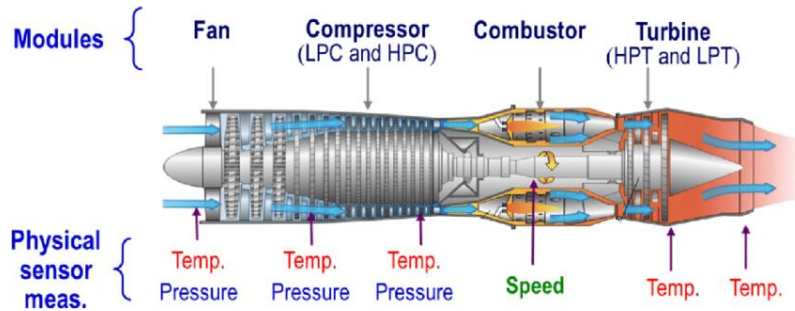
## **Aerodinamik ve Performans**

Mühendislik çalışmalarında çok sayıda paket program kullanılmaktadır. Jet motoru tasarımında ilk akla gelen program GasTurb programıdır. Kale Arge tarafından turbojet motoru geliştirme aşamalarında da GasTurb programı kullanılmaktadır. Bir başka paket program ise birçok farklı mühendislik uygulamasında kullanılan Ansys programıdır. Kale Arge tarafından motor aerodinamik ve performansının belirlenmesinde GasTurb programı ve

bununla iş birliği içinde Ansys programının hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözücülerinden bir olan CFX modülü kullanılmaktadır.

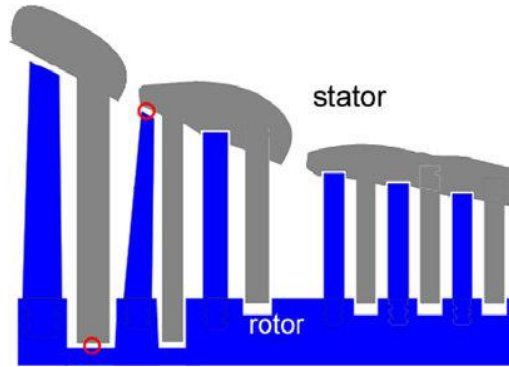
Motorun tasarım şartları GasTurb programına girdi olarak verilir ve sonuçlar elde edilir. Tasarım dışı şartlarda motorun davranışını tespit etmek için ise türbin ve kompresör çalışma zarfları Ansys CFX ile analiz edilir ve bu analizlerin sonucunda grafikler elde edilir. Bu grafikler GasTurb'e yüklenir ve motorun tasarım dışı şartlarda meydana getireceği itki gibi parametreler elde edilir.

Türbin ve kompresörler rotor ve statorların bir kademeyi oluşturduğu kademelerin birleşiminde oluşmaktadır. Kompresörlerde daha çok kademe bulunmaktadır, bunun sebebi de havanın zorlama yoluyla düşük basınçtan yüksek basınca akışının sağlanmasıdır. Kompresörde kademelerin artması verimi düşürmektedir fakat yeteri kadar kademe olmazsa hava kompresörde ilerlemez ve kompresör stola girer. Türbinlerde ise daha az sayıda kademe bulunmaktadır çünkü akış yüksek basınçtan alçak basınca kendiliğinden akmaktadır ve fazladan kademeye gerek yoktur.



Şekil 3: Uçak Motoru Diyagramı [3]

Rotor kısmı, şafta bağlıdır ve dönen bir aksamdır. Akışkanın, türbin rotorlarını döndürmesiyle türbinde güç üretilir, bu güçle kompresör rotorları döner ve akışkanın akışını sağlar. Stator ise sabittir ve akışın düzenlenmesini sağlar. Kompresörde önce rotor ardından stator bulunur, bir önceki rotorun bozduğu hava stator tarafından düzeltilir ve sonraki rotora daha düzgün olarak aktarılmış olur. Türbinde ise yanma odasından bozulmuş olarak gelen akışkanın düzeltilmesi için önde stator bulunur ve ardında rotor bulunur.



Şekil 4: Rotor ve Stator Diyagramı [4]

## **Sonuç**

Bu gezi, Kale Arge'nin ve çalıştıkları alanın tanınmasını sağlamıştır ve jet motoru geliştirilmesi sürecine dair oldukça bilgilendirici bir gezi olmuştur.

Bu gezinin mümkün olmasını sağlayan Sn. Can EREL'e ve Kale Arge Genel Müdürü Sn. Cüneyt KENGER'e teşekkür ediyorum.

Bu gezi sürecinin hazırlanmasında ve yürütülmesinde emeği geçen İdari İşler biriminden Kenan Bey'e, İnsan Kaynakları biriminden Şebnem Hanım'a, iş sağlığı ve güvenliği alanında Murat Bey'e, montaj ve imalat alanında Yasin Bey'e, test alanında Tolga Bey'e, proje yönetiminde Mehmet Bey'e, motor kontrol ve aksesuarları alanında Mehmet Ali Bey'e, mekanik tasarım alanında Onur Bey'e ve aerodinamik ve performans alanında Sefa Bey'e verdikleri bilgilerden dolayı teşekkür ediyorum.

## **Yunus Emre KAYA**

NOT: Savunma Sanayi şirketlerinde fotoğraf çekimi ön izinle sınırlı olması nedeni ile şirket ve süreçlere dair fotoğraf çekilmemiştir.

## **Kaynaklar:**

[1] Kale Arge. (2019). Turbojet Motorların Geliştirilmesi. Retrieved December 13, 2022, from <https://www.kalearge.com.tr/projelerimiz/turbojet-motorlarinin-gelistirilmesi>

[2] Millisavunma.com. (2016, May 25). Som Seyir Füzesi. Retrieved December 11, 2022, from <https://www.millisavunma.com/som-seyir-fuzesi/>

[3] Zhang, J., Wang, P., Yan, R., & Gao, R. X. (2018). Long short-term memory for machine remaining life prediction. *Journal of manufacturing systems*, 48, 78-86.

[4] Jacquet-Richardet, G., Torkhani, M., Cartraud, P., Thouverez, F., Baranger, T. N., Herran, M., ... & Peletan, L. (2013). Rotor to stator contacts in turbomachines. Review and application. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 40(2), 401-420.