

**DENEYSEL BİR TURBOJET MOTORUNUN
YANMA VERİMİNİN
MOTOR EMİSYONLARIYLA BELİRLENMESİ**

Yasin ŞÖHRET
Yüksek Lisans Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Temmuz-2013

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi ile TUSAŞ Motor Sanayii arasında yapılan
Co-Op Anlaşması kapsamında desteklenmiştir. Proje No: 003.TEİ.003.YL.002**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Yasin Şöhret'in “Deneysel Bir Turbojet Motorunun Motor Emisyonlarıyla Yanma Veriminin Belirlenmesi” başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 07.01.2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. T. HİKMET KARAKOÇ	
Üye	: Prof. Dr. KORHAN BİNARK	
Üye	: Yard. Doç. Dr. ALPER ULUDAĞ	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DENEYSEL BİR TURBOJET MOTORUNUN YANMA VERİMİNİN MOTOR EMİSYONLARIYLA BELİRLENMESİ

Yasin ŞÖHRET

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç

2013, 86 sayfa

Bu tezde, insansız hava araçlarında kullanılan deneysel bir turbojet motorunun egzoz emisyonlarıyla yanma veriminin hesaplanmasına yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yönteme bağlı olarak, yine bu çalışmada COMEFF adı verilen özgün bir yazılım Matlab programlama dilinde geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sırasında 2000 RPM ile 60000 RPM arasında çalıştırılan turbojet motoruna ait yanma veriminin, alınmış olan emisyon verilerinin COMEFF yazılımında analizleri sonucu, % 70-97 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu yazılım ve herhangi bir gaz türbinli motordan alınan egzoz emisyon değerleri kullanılarak, motorun yanma verimi matris çözümleriyle çok kısa sürede doğru olarak hesaplanmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem ve yazılım, uçak motorlarının yanma odası tasarım sürecine büyük katkılar sağlayabilecektir. Ayrıca mevcut yazılım geliştirilerek, uçak motorların çevresel etkilerini gerekli analizlerle yaparak belirleyecek duruma getirilebilir ve ileriki çalışmalarda kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Gaz türbinli motor, Turbojet, İtke, Yanma verimi, Yanma odası, Emisyon.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION of COMBUSTION EFFICIENCY of an EXPERIMENTAL TURBOJET ENGINE by ENGINE EMISSIONS

Yasin ŞÖHRET

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç
2013, 86 pages**

In this thesis, main purpose is determination of combustion efficiency of an experimental turbojet engine by using exhaust gaseous emissions. By this way, a new methodology for measurement of emissions and analysis result was developed. According to this methods a new software named COMEFF was encoded. This software calculates combustion efficiency by using experimental datas and shows results on a graphic. A combustion chamber design steps are mostly experimental and holded on test cells. For this reason this developed methodology and software will achive design steps of combustion chamber.

Keywords: Gas turbine engines, Turbojet, Thrust, Combustion Efficiency, Combustion chamber, Emissions.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasına katkılarından dolayı; öncelikli olarak Lisansüstü eğitime başlamamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç'a, çalışmalarım süresince danışmanlığımı yürüten ve fikirleriyle beni aydınlatan saygıdeğer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Önder Turan'a ve Prof. Dr. Olcay Kıncay'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Üniversitemiz ile TUSAŞ Motor Sanayi arasındaki Co-Op anlaşması kapsamında, yürütülen bu tez çalışmasına verdikleri desteklerden ötürü başta TUSAŞ Motor Sanayi Genel Müdürü Sayın Akın Duman olmak üzere, Ar-Ge Direktörü Sayın Erhan Tayyar'a, Ar-Ge Müdürü Sayın Dr. Ali Dinç'e ve yakın ilgilerinden dolayı Ar-Ge personelleri Dr. Mehmet Ali Ak Bey'e, Dr. Murat İzzet Akşit Bey'e, Mak. Müh. Ahmet Topal Bey'e ve tüm TUSAŞ Motor Sanayii çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince bana destek olan hocalarım Yrd. Doç. Dr. İlkey Orhan'a, Yrd. Doç. Dr. Emre Kıyak'a ve Araş. Gör. Dr. Önder Altuntaş'a; üniversitemiz personelleri Mak. Müh. Elif Yıldırım'a ve Mehmet Ali Çamcı'ya katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca moral veren ve beni yalnız bırakmayan yakın arkadaşım Onur Çengel'e de sabır ve yardımları için teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, bu süreçte her zaman yanımda olan ve hayatım boyunca her konuda destek oldukları için aileme teşekkürlerimi sunarım.

Yasin Şöhret

Ocak 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Tezin Endüstriyel ve Ekonomik Yararları.....	2
1.3. Tezin Sosyal ve Çevresel Yararları.....	2
1.4. Tez Çalışma Planı.....	3
1.5. Literatür Taraması.....	4
2. GAZ TÜRBİNLİ MOTOR TEORİSİ	7
2.1. Gaz Türbinli Motorlar ve Sınıflandırılması.....	7
2.1.1. Turbojet motorlar.....	7
2.1.2. Turboprop motorlar.....	9
2.1.3. Turbofan motorlar.....	10
2.1.4. Turboşaft motorlar.....	12
2.2. Gaz Türbinli Motorların Parçaları ve Görevleri.....	13
2.2.1. Hava Alığı.....	13
2.2.2. Kompresör.....	14
2.2.3. Yanma Odası.....	15
2.2.4. Türbin.....	17
2.2.5. Egzoz.....	18
2.3. Bir Turbojet Motorunun Termodinamik Analizi.....	18
2.3.1. İdeal Çevrim Analizi.....	18
2.4. Gaz Türbinli Motorlarda Performans Parametreleri.....	21
2.4.1. İtici.....	22

2.4.2. İtke verimi.....	23
2.4.3. Isıl verim.....	24
2.4.4. Pervane verimi.....	24
2.4.5. Özgül yakıt tüketimi.....	24
3. YANMA ODALARI, YAPILARI ve ÖZELLİKLERİ	25
3.1. Tasarım Prensipleri.....	25
3.2. Yanma Odasının Yapısı.....	26
3.3. Yanma Odasından Beklenen Özellikler.....	27
4. YAKITLAR ve YANMA	29
4.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri.....	29
4.1.1. Fiziksel özellikler.....	29
4.1.2. Yanıcılık özellikleri.....	32
4.1.3. Havacılıkta kullanılan yakıtlarının	33
Sınıflandırılması.....	34
4.2.	35
Yanma.....	36
4.2.1. Oksijen/yakıt ve hava/yakıt oranı.....	37
4.2.2. Teorik hava ihtiyacının hesabı.....	
4.2.3. Yanma ürünlerinin hesabı.....	
5. DENEYSEL BİR TURBOJET MOTORUNDAN	
EMİSYON VERİLERİNİN ALINMASI	40
5.1. Ölçüm Yöntemi.....	40
5.2. Verilerin Alınması.....	41
6. DENEYSEL BİR TUBOJET MOTORUNDAN	
ALINAN EMİSYON VERİLERİNE	
DAYALI OLARAK YANMA VERİMİNİN	
BELİRLENMESİ	43
6.1. Yöntem.....	43

6.2. Verilerin Analizi.....	45
7. COMEFF: YANMA VERİMİ HESAPLAMA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ	47
8. COMEFF YAZILIMI İLE ELDE EDİLEN SONUÇ ve GRAFİKLERİN YORUMLANMASI	51
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	55
Ek: COMEFF Yazılımının Matlab Programlama Dilinde Kodları	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Turbojet motor.....	9
2.2. Turboprop motor.....	10
2.3. Turbofan motor.....	12
2.4. Tek kademeli ve ardyanmalı bir turbojet motoru İçin istasyon numaralandırması.....	19
3.1. Bir gaz türbinli motorda kullanılan yanma odasının yapısı ve kısımları.....	24
5.1. Emsiyon ölçüm sisteminin düzeni ve yapısı.....	39
6.1. Emisyon verilerine dayalı olarak yanma veriminin Belirlenmesi amacıyla hazırlanan ms-excel Dosyasına ait ekran görüntüsü.....	46
7.1. Comeff 1.0 β 'ya ait ekran görüntüsü.....	47
7.2. Comeff 2.0'a ait ekran görüntüsü.....	49
7.3. Comeff yazılımına ait akış şeması.....	50
8.1. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-1.....	51
8.2. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-2.....	52
8.3. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-3.....	52
8.4. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-4.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. Havacılık Yakıtları Kodlama Sistemi.....	34
---	----

1. GİRİŞ

Hava aracının uçuş eylemini gerçekleştirebilmesi için ya havadan hafif olması gerekmekte ya da kendi ağırlığını yenecek bir itki kuvveti yaratılması gerekmektedir. İstenilen bu itki kuvveti, güç grubu (gaz türbinli motor, pistonlu motor, roket vb.) sayesinde gerçekleşir. Günümüzde geliştirilen hava araçlarının güç ve enerji ihtiyacını karşılayan güç grubundan beklenen temel özellikler arasında yüksek verim ve performans yer almaktadır. Bu tezde gaz türbinli motorlar incelenecektir. İtme kuvvetinin elde edilmesi için kullanılacak bir gaz türbinli motor temelinde kompresör, türbin, yanma odası ve egzoz bileşenlerinden oluşur. Yanma odası, yanma reaksiyonun gerçekleştiği ve motor için gerekli enerjinin açığa çıktığı ana bileşendir. Bu gerekli enerjinin yanında da bazı kayıplar söz konusudur. Burada oluşan enerji kaybını önlemenin bir yolu da verimli bir yanma reaksiyonunun gerçekleşmesidir. Uçak motorlarının yanma odası tasarımlarında genel tanımı yapılmış bir yanma verimi kabulü yapılır ve de buna bağlı tasarım geliştirilir. Genellikle bu tasarım sırasında yanma verimi için 0,90-0,98 aralığında bir değer atanır. Bu tez çalışmasının ana hedefi, belirli çalışma koşullarında çalışan küçük bir deneysel turbojet motorunun yanma veriminin belirlemek ve ileride geliştirilecek bir yazılım koduna altyapı oluşturmaktır. Bunun için egzoz emisyon değerleri ölçülerek, bu çalışma kapsamında özgün bir yöntem ve özgün bir yazılım geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Tez çalışması kapsamında insansız hava araçlarında kullanılmak üzere tasarlanmış deneysel bir turbojet motorundan ölçülen emisyon değerleri kullanılarak yanma veriminin belirlenmesine yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem yaygın olarak kullanılan SAE ARP1256 standardına dayalı ölçümlerle elde edilen verilerin analiz edilmesi ve yanma veriminin hesaplanmasını içermektedir. Geliştirilen bu yöntem ışığında, bu çalışmada Matlab programlama dili kullanılarak COMEFF (Combustion Efficiency-Yanma Verimi) olarak adlandırılan özgün bir yazılım geliştirilmiştir.

1.2. Tezin Endüstriyel ve Ekonomik Yararları

Anadolu Üniversitesi ile TEI (TUSAŞ Motor Sanayi A.Ş.) arasında yapılmış olan anlaşmalar kapsamında desteklenen bu tez çalışması, endüstriyel gereksinimler de göz önüne alınarak yürütülmüştür. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntemler, havacılık endüstrisinde faaliyet gösteren uçak motor fabrikalarının üretim ve/veya bakım sonrası test aşamalarında kullanabilecektir. TEI Eskişehir fabrikası personel ve çalışanlarıyla koordinasyon içerisinde yürütülen çalışmada, endüstrinin bu konudaki talepleri ve üzerinde durulması gereken noktalar hakkında fikir alınmış olup, endüstriye en üst seviyede katkı sağlayacağı öngörülmüştür. Geliştirilen yöntemlerin yanı sıra, tez çalışmasının çıktısı olan COMEFF yazılımı, endüstrinin kullanabileceği test aşamalarında özellikle yanma odası tasarım ve bakımı konusunda büyük kolaylık sağlayacaktır. Ölçülen emisyon değerleri ve COMEFF yazılımı kullanıldığı takdirde bir yanma odasının çalışma karakteristikleri ile tasarım parametreleri karşılaştırılabilecektir. Bu karşılaştırma sayesinde yanma odasının bakım veya tasarım sürecinde yeni algortimalar ve yöntemler geliştirilebilir.

1.3. Tezin Sosyal ve Çevresel Yararları

Havacılık endüstrisinin büyük ölçüde fayda sağlayacağı düşünülen bu çalışma, ülkemizin uçak motorları alanında ilerlemesine katkı sağlayacaktır. Havacılık ve savunma endüstrisinin edineceği bu kazanımlara bağlı olarak, ülkemiz sosyal açıdan gelişecektir. Diğer yandan emisyonların çevresel etkileri de bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntemlere bağlı olarak motorların yanma verimlerinin doğru hesaplanması mümkün olabilecektir. Yüksek verimli bir yanmaya bağlı olarak egzoz gazlarındaki yanmamış hidrokarbonlar başta olmak üzere diğer zararlı gazların oranı azalacak, böylelikle küresel ısınma ve hava kirliliği azalacaktır. Ayrıca geliştirilen yöntemin doğrudan kullanılması veya yeni bir yöntem geliştirilmesi ile egzoz emisyonlarının çevresel etkileri de doğru bir şekilde hesaplanabilir.

1.4. Tez Çalışma Planı

Tez çalışmasının ilk aşamasında, açık literatürden erişilebildiği kadarıyla hava araçlarında emisyon ve yanma konusunu ele alan yayınlar taranmıştır. Çalışma başlığıyla ilintili olan ve katkı sağlayacağı düşünülen yayınların ve mevcut standartların detayları incelenmiştir. Literatür taramasının paralelinde yanma ve gaz türbinli motor teorisi konuları teorik olarak ele alınmıştır. Tez çalışmasının ilerleyen evrelerinde, elde edilen standartları uygulayarak TEI AR-GE bölümünde deneysel turbojet motorlarından emisyon ölçümleri alınmıştır. Yaklaşık üç aylık süre boyunca ölçümler yapılmış ve hem deneysel alanda tecrübe edinilmiş hem de veriler kayda alınmıştır. Bu ölçüm süresinde ayrıca egzoz emsiyonlarından yanma verimi hesaplanma yöntemi çalışılmıştır. Yanma teorisine dayalı olarak yapılan bu çalışma sonucunda hesaplama metodu tamamlanmıştır. Hesaplama yönteminin karmaşık ve uzun zaman alacağı göz önüne alınarak öncelikle Visual Basic dili kullanılarak MS Excel için bir makro hazırlanmıştır. Geliştirilen makro daha da geliştirilerek, çalışmalara Matlab üzerinde devam edilmiştir. Aynı zamanda motor üzerinden egzoz ölçüm işlemleri tamamlanmıştır. Elde edilen birikim ve tecrübeler ışığında COMEFF yazılımının altyapısı oluşturulmuştur. Daha önceki süreçte elde edilen emisyon değerleri kullanılarak yazılım denenmiş ve gerekli eklemeler yapılmıştır. COMEFF yazılımının beklentileri karşılayacak düzeye gelmesinin ardından aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu noktadan sonra tekrar yeni emisyon ölçümleri alınmış ve elde bulunan tüm emisyon değerleri, COMEFF yazılımı kullanılarak yanma veriminin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Bu tezin ilerleyen bölümlerinde; öncelikle gaz türbinlerinin sınıflandırılması, bir gaz türbinli motorun bileşenleri, bir turbojet motora ait teorik çevrim analizi ve gaz türbinli motorların performansına etki eden parametreler gaz türbinli motor teorisi başlığı altında ele alınmıştır. İkinci bölümün ardından, yanma odaları ve yapıları üçüncü bölümde detaylı bir biçimde ele alınmıştır. Dördüncü bölümde ise öncelikle yakıtların genel özellikleri ile havacılıkta kullanılan yakıtlara değinildikten sonra yanma teorisi ile ilişkili temel kavramlar üzerinde durulmuştur. Tezin beşinci bölümü deneysel çalışmalarda izlenecek olan emisyon ölçüm prosedürünü ve ölçümler sırasında dikkat edilmesi gereken noktaları açıklamakta-

dır. Altıncı bölümde de beşinci bölümde belirtilen yöntemle elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yanma veriminin hesaplanmasına ilişkin matematiksel modelin çıkarılışına yer verilmiştir. Bir sonraki bölümde, ölçülmüş olan emisyon değerlerini kullanarak bir gaz türbinli motorun yanma verimini hesaplayabilen, özgün bir yazılım olan COMEFF yazılımına ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Sekizinci bölümde ise, COMEFF yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçların yorumlarına yer verilmiştir. Son bölüm olan dokuzuncu bölümde, bu tez çalışması sonucunda ulaşılan sonuçlar ile bu çalışmaya bağlı olarak ileride yapılabilecek olan yeni çalışmalar açıklanmıştır. Ayrıca bu tez metninin ek kısmında, Matlab programlama dilinde hazırlanan COMEFF yazılımının kodlarını bulmak mümkündür.

1.5. Literatür Taraması

Bu proje kapsamında yürütülen çalışmaya benzer çalışmalar, dünyanın çeşitli yerlerinde araştırma merkezleri ve özel kuruluşlar bünyesinde 1970’li yıllardan beri yapılmaktadır (Naval Air Propulsion Test Center, 1971). Literatürde bu konuya ilişkin en eski yazılı materyal olarak, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Teknik Bilgilendirme Servisi (National Technical Information Service) tarafından hazırlanmış olan bir rapor bulunmaktadır. Bu raporun kapsamında; ele alınan motor, elde edilen emisyon sonuçları ve bu emisyon sonuçlarını incelerken kullanılan matematiksel ifadeler yer verilmiştir. 1976 yılında yine Amerika Birleşik Devletleri’nde JP-4 ve JP-8 yakıtlarının emisyonu etkileri ele alınmıştır (Blazowski W. S., 1976). Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından yürütülen çalışmada JP-4 ve JP-8 yakıtlarının emisyon değerleri ve çevresel etkileri incelenirken diğer yandan da, bunun itki kuvveti üzerine etkilerine de değinilmiştir. İlerleyen yıllarda Federal Havacılık Dairesi (Federal Aviation Administration tarafından da emisyon değerlerinin çevresel etkileri öncelikli olmak üzere, motor verimi ile ilişkilendirilmesi çalışmaları da yürütülmüştür. 1980’li yılların başından itibaren emisyon konusunun çevresel etkilerinin önemi anlaşılmaya başlanmıştır. Bu yıllarda ABD’de pek çok kişi ve kurum bu konuda çalışmalar yürütmüş ve ölçüm yöntemlerine ilişkin patent başvurularında bulunmuştur. 1980’li yılların sonlarına doğru, NASA tarafından yürütülen çalışmalarda, emisyon değerlerinin çevresel

etkileri değil, büyük ölçüde teknik sonuçları incelenmiştir (Acosta W. A., 1986). Yapılan çalışmaların sonuç raporlarına göre NASA, emisyon değerlerini doğrudan uçağın bir performans parametresi olarak değerlendirmiştir. Bu raporlarda detaylı olarak açıklamalara yer verilmesine de sonuçların irdelenmesi yer almaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde yürütülen çalışmalar, uçak ve diğer hava araçlarındaki emisyonun çevresel etkileri üzerine yapılmıştır. Bu konuda öncülüğü Avrupa Çevre Ajansı yapmaktadır. Bu nedenle tez konusuna yakın çalışmalara ilişkin dokümanlar çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen çalışmaların sonucudur. Bir uçak motorunda emisyon verilerinin yanma verimi ile ilişkilendirilmesi, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, emisyon ölçüm yöntemleri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Belirlenen yöntemle elde edilen veriler, ikinci aşamada uluslararası alanda kabul gören bir yöntem ile incelenerek yanma verimi ile bağıntısı ortaya konulmalıdır. Bu konu ya da benzeri herhangi bir konu ülkemizde daha önce çalışılmadığı için buna ilişkin bir standart veya bir talimatname TSE tarafından yayınlanmamıştır. Uluslararası alana bakıldığında da, bu alanda iki kuruluşun yayınına erişilmiştir. NASA tarafından yayınlanan bir teknik rapor, bu konuda yöntemi belirlemiştir fakat genel kabul görmemiştir (Acosta W. A., 1986). Diğer taraftan Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE-Society of American Automotive Engineers) tarafından standartlar yayınlanmıştır (SAE, 2011a). SAE, temelde otomotiv sektörüne yönelik eğitimler veren, bünyesinde akademiler bulunduran, uluslararası bir organizasyondur. Havacılık sektöründeki gelişmelerin hız kazanmasından itibaren bu alanda da eğitimler vermeye başlamış, standartlar yayınlamıştır. Uluslararası kabul gören, pek çok bilimsel çalışmada atıfta bulunulan, sektörün önde gelen firmaları tarafından da kullanılan iki standart; bu projedeki çalışmanın temelini oluşturmaktadır. SAE (2011a), tarafından yayınlanan standartlardan birisi, uçak motorlarında emisyon ölçüm yöntemini açıklamak da ve bu sürecin nasıl işleyeceğini izah etmektedir. Çalışmamızda da temel alınmış olan SAE ARP1256 numaralı ve Uçak Gaz Türbin Motorlarından Emisyon Ölçümü ve Numune Alma Prosedürü (Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engines) başlıklı standardın Nisan 2011 tarihli son revizyonu bu konuda yayınlanmış en güncel başvuru kaynağıdır. SAE ARP 1533 numaralı ve Procedure for

the Analysis and Evaluation of Gaseous Emissions from Aircraft Engine (Uçak Motorlarından Kaynaklı Egzoz Emisyonlarının Analizi ve Değerlendirilmesine İlişkin Prosedür) başlıklı standart, SAE ARP 1256'yı temel alarak geliştirilmiş bir standarttır. Burada, elde edilen emisyon verilerin nasıl incelenmesi gerektiği ve emisyon değerlerine bağlı olarak yanma veriminin nasıl hesaplanacağına ilişkin matematiksel model anlatılmaktadır (SAE, 2011b).

2. GAZ TÜRBLNİ MOTOR TEORİSİ

2.1. Gaz Türbinli Motorlar ve Sınıflandırılması

Newton'un III. Hareket Kanununa göre; her kuvvetin kuvvetin uygulandığı yönder kendisine eşit fakat zıt yönde bir tepki kuvveti mevcuttur. Bu kısaca etki/teпки prensibidir. Jet motorların tahrik sistemini şekillendirilmesinin temeli bu prensibe göre gerçekleştirilmiştir. Yanma sonu gazlarının egzozu terk etme anında itki denilen ve uçağı ileri doğru harekete sevk eden bir kuvvet oluşumu elde edilmiştir. Jet motorlarının tarihsel modifikasyonundaki gelişim ramjetlerle başlayıp, Turbojet, Turboprop ve Turbofan motorlarla devam etmiştir. Bunlardan alçak irtifa ve düşük sürat sınırlarında pervane veriminin üstünlüğü turboprob ve turboşaft mekanizmaları ile, yüksek irtifa ve süratlerde ise optimum verim turbojet mekanizması ile sağlanmaktadır.

Gaz türbinli motorlar dört sınıfta incelenebilir (Mattingly J. D., 1996). Bunlar::

- Turbojet
- Turboprop
- Turbofan
- Turboşaft

2.1.1. Turbojet motorlar

Bir turbojet, kompresörün ihtiyaç duyduğu güçten fazla güç gerektirmeyen (herhangi bir motor veya aksesuar için gerekli olan güç) ve bu gücün türbin tarafından sağlandığı bir gaz türbinidir. Egzoz gazları içinde bulunan kullanılabilir enerjiyi jetin kinetik enerjisine dönüştürür (Mattingly J. D., 1996).

Turbojet motoru tepkisini motora giren küçük kütleli havanın büyük oranda ivmelendirilmesiyle elde eder. Bir turbojet motorun çalışma prensibi oldukça

basittir ve beş temel bölümden meydana gelir. Bunlar; hava alığı, kompresör, yanma odası, türbin ve egzozdur. Hava alığı, dinamik hava basıncını statik hava basıncına çevirir. Kompresör, büyük miktarlarda havayı sıkıştırır ve yanma odasına gönderir. Burada hava iki yola ayrılır. Birincisi, yüksek sıcaklıklarda (2500K) yanmanın olduğu yanma odasından geçer ve ikincisi yanma odasının soğutulması için kullanılır ve 1150-1600K arası bir sıcaklıkta gaz harareti üretmek üzere yanma odası çıkışı ile birleştirilir. Daha sonra sıcak gazlar, kompresör ve motora bağlı diğer bazı hareketli parçaları harekete geçirmek üzere enerjinin bir kısmının alındığı türbin üzerinden akar. Gazlar daha sonra, bir duct (after burner olarak isimlendirilen ilave yakıtın verildiği yer) üzerinden geçerek türbine gelir ve burada genişletilerek gazların momentumu çok yüksek seviyelere çıkarılır. Momentumun girişten nozzle çıkışına kadar olan değişmesi itki kuvvetinin çoğunu meydana getirir (Lefebvre A. H., 1998).

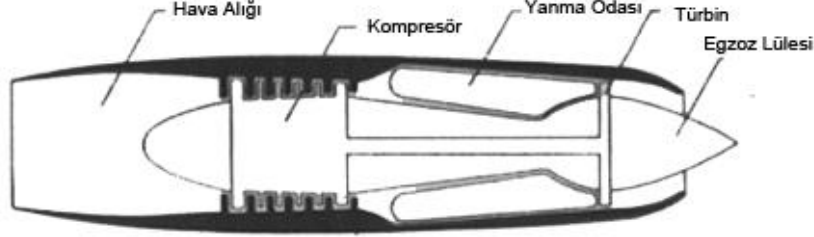
Turbojet motorlarının öne çıkan başlıca özellikleri şunlardır (Mattingly J. D., 1996):

- Uçaklarda kullanılan ilk gaz türbinli motor tipidir.
- Yüksek hızlara ulaşılabilir,
- Yakıt tüketimi fazladır,
- Çok sesli çalışır,
- En küçük özgül ağırlığa sahip motor tipidir,
- Uzun kalkış pisti gereklidir.

Bu özelliklerden de görüldüğü gibi turbojet motoru yüksek hız, yüksek irtifa, uzun mesafe uçuşları için en üstün motor tipidir.

Turbo jet motorun çalıştığı temel bölümlerden özellikle, türbin ve kompresör bölümünün etkinliği itki çıkışı için çok önemlidir. Yaklaşık olarak sıcak gazlardaki mevcut enerjinin üçte ikisi kompresörü döndürmek için türbin tarafından kullanılır. Termodinamik kanunlarının, açığa çıkan enerjinin sıcaklık ve basınçtaki artış ile yükseleceğinin belirlenmesi sonucunda dizayn mühendisleri, daha bü-

yük basınç oranları üretecek kompresörler ve daha yüksek sıcaklıklara dayanacak türbinler geliştirmek için çalışmaya başladılar (Mattingly J. D., 1996).



Şekil 2.1. Turbojet motor

Temel olarak bir turbojet motor, beş ana kısımdan oluşur (Mattingly J. D., 1996). Bunlar:

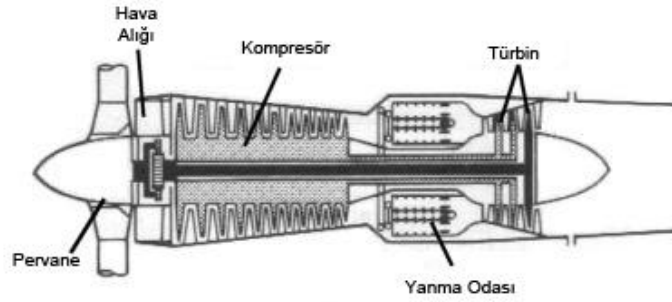
- Hava alığı,
- Kompresör
- Yanma odası
- Türbin
- Egzoz

2.1.2. Turboprop motorlar

Turboprop motorlar motor gücünün %10-20'si jet tepkisi ile %80-90'ı pervane gücü ile sağlarlar. Genellikle yük ve yolcu uçaklarında tercih edilir. Bir turboprop motor basitçe, ön tarafta bulunan standart uçak pervanesini çevirmek üzere monte edilmiş devir azaltıcı dişli kutusu olan bir turbojet motor olarak tarif edilebilir. Bu motor pervanesinin döndürülmesi için hemen hemen egzoz gazının tamamını kullanır ve bu nedenle egzoz gazlarının atılması ile çok az bir itki sağlar. Egzoz gazları mevcut toplam enerjinin %10 kadarını sağlar. Enerjinin diğer % 90 kadarı, kompresörü ve pervaneyi döndüren ikinci bir türbini döndüren tür-

binler tarafından kullanılır. Turboprop tarafından kullanılabilir uygun bir hıza düşürülmesini sağlayan devir azaltıcı dişli kutusunun ilave edilmiş olmasıdır. Turboprop motorların başlıca özellikleri şunlardır (Mattingly J. D., 1996):

- Düşük hava hızlarında büyük tepki verimi üretebilir. Çünkü pervane uçağın sıfır ön hızında büyük hava kütlelerini ivmelendirebilir,
- Turbojetden daha karmaşık ve ağırdır,
- En düşük özgül yakıt sarfiyatına sahiptir,
- Kısa kalkış pisti yeterlidir.



Şekil 2.2. Turboprop motor

2.1.3. Turbofan motorlar

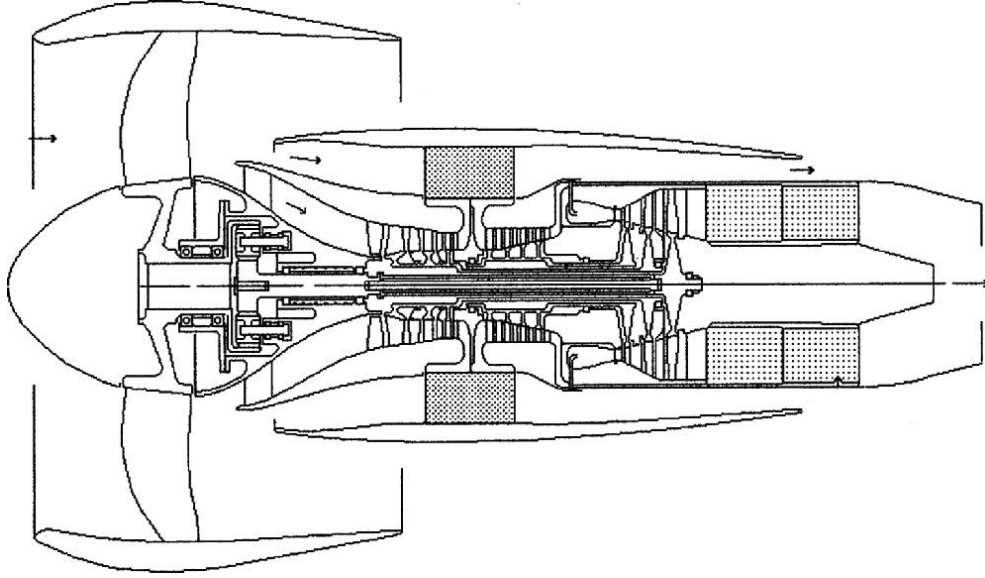
Jet motorları geliştirilirken, verimliliklerinin artırılması, özellikle deniz seviyesine yakın yüksekliklerde ve düşük hızlarda (kalkış ve tırmanış) tepki artırılırken, yakıt sarfiyatının da azaltılması gerekiyordu. Yakıt sarfiyatının artmasını azaltmak için ancak motorun içinden geçen toplam hava akımını artırmak çözüm olacaktır. Toplam hava akımını arttırmak için, kapalı bir çember içinde çalışan, pervaneyi andıran ve adına “fan” denilen kısım, jet motoruna eklenmiştir. Böylelikle “turbofan”a ulaşılmıştır. Genel olarak, turbofan motorlara, bypass’lı motorlar denilmektedir. Turbofan motorların çalışma prensipleri, turbojet ile turboprop

motorlara benzerlik göstermektedir. (Mattingly J. D., 1996)

Hava debisinin artırılması, çeşitli şekilde yapılabilir. Bunlardan, uygulama alanı bulan, en yaygın tasarım, turbofan motorudur. Turbofan motoru, en önde bir fan ile onu takip eden, bir gaz türbin motorundan oluşmaktadır.

Türbinin ürettiği güç, iki ayrı devirle dönen aft sistemi ile “fan ve core engine” denilen gaz türbinli motorun, iki ayrı kompresörünü çevirir. Fan’ın emdiği hava, bypass denilen ve core engine’i çevreleyen bölümle, core engine içinden akar. Fan, turboprop motordaki pervaneye benzer. Ancak, pervanenin bağlandığı dişli grubu ile değil, bir menfez içinde, motorla birlikte döner. Fan aynı zamanda, düşük basınç kompresörünün ilk kademesidir. Turbofan motoru, aynı ağırlıktaki bir turbojet motorundan, %30 daha fazla itki kuvveti üretir. Yakıt sarfıyatı ise, turbojet ile turboprop motorları arasında, bir değere sahiptir. Kapasiteye göre değişmekle birlikte, bir turbofan motorunun çeki kuvvetinin %30 – 60’ı, fan kısmında üretilir. Turbofan motorlarda fan kısmı, çift eksenel akışlı kompresörlerden, alçak basınç kompresörünün bir bölümü olarak kabul edilmiştir. Fan, kompresörlerin tümünden daha büyüktür. Fan, hem kademe, hem de tasarım açısından, farklılıklar gösterir. Fan ve birlikte dönen diğer kademeler, alçak basınç kompresör grubunu oluşturarak, alçak basınç türbini denilen türbin ya da türbinler tarafından çevrilirler. Yüksek basınç kompresörü ise, türbinlerin ilk kademesini oluşturan, yüksek basınç türbini tarafından çevrilir. Turbofan motorlarda, söz konusu olan bypass oranı, bypass kanalından geçen havanın motorun çekirdek kısmından geçen havaya oranıdır (Mattingly J. D., 1996).

Turbofan motorları, bypass oranlarına göre düşük, orta ve yüksek bypass’lı motorlar olarak, adlandırılırlar. Bypass hava akışı, egzozu kadar kanalize edilerek, orada core’dan gelen gazlarla karıştırılıp, atmosfere atılırlar. Bypass havası, motorun itkisini, hacmi ve akış hızına doğru orantılı arttırarak, aynı zamanda soğutma ve geri itki fonksiyonu yerine getirme gibi görevleri de yapar. Turbofan motorların, üç şaftlı olanları da mevcuttur. Odaları, türbin ve jet nozul için sıcak gaz üretirler. Bu sıcak gaz yanma odası içerisinde yakıt hava karışımını sürekli yakılması ile sağlanmaktadır. Gaz türbinli motorlarda kullanılan birçok tipte yanma odası mevcuttur (Lefebvre A. H., 1998).



Şekil 2.3. Turbofan motor

2.1.4. Turboşaft motorlar

Turboşaft motorlar, jet motorlarının yüksek devir kabiliyetlerinden yararlanmak için tasarlanmış, küçük turbojet motorlarıdır. En tipik farklarından biri, kompresör ön şaftı tarafından çevrilen bir devir düşürücü dişli kutusu bulunmasıdır. Bu dişli kutusu, devri oransal düşürmesiyle birlikte, aynı zamanda, yatay hareketi, dikey harekete çevirerek, pervaneyi döndürür. Turboşaft motorlar, genelde, döner kanatlı hava araçları olan helikopterlerde, yaygın biçimde kullanılırlar. “Cougar” helikopterlerinde, bu tip bir motor kullanılmaktadır.

Turboşaft motorunun en belirgin özelliği ve diğerlerinden ayırt edici fonksiyonu, birbirinin ters istikametinde dönen, iki ayrı türbin grubuna sahip olmasıdır. Diğer turbojet motorlarında bulunan türbinler, aynı istikamete dönerler. Fakat turboşaft’ın türbinleri, birbirine ters yönde dönerler. Turbo aft’ın ilk türbini, motorun çalışması için kompresörü çevirirken, ikinci türbini de, dişli kutusunu çevirir. Dişli kutusu, hem dönüyü oransal olarak küçültürken, hem de hareketi, dikey şaft vasıtasıyla, helikopterin döner kanatlarına iletirler. Bu motorlarda, jet motor itkisinden yararlanılamaz. Döner kanat, devri artırıp azaltarak, helikopterin, eksenal hareketini kontrol eder. Arkadaki pervane kuyruk pervanesi olup, helikopterin olduğu yerde dönmesini önler.

2.2. Gaz Türbinli Motorların Parçaları ve Görevleri

Genel olarak gaz türbinli motorlar aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır.

- Hava alığı
- Kompresör
- Yanma odası
- Türbin kısmı
- Egzoz

2.2.1. Hava Alığı

Hava, motora hava alığı yolu ile girer. Hava alığı gerçekte motorun tarif edilen herhangi parçasından biri değildir. Alık, kompresörün ön tarafında yer alan yapısal destek parçalarından meydana gelir ve havanın kompresöre yönlendirilmesini sağlar (Lefebvre A. H., 1998).

Giriş bölgesi, hava alığı giriş kanatçığı olarak bilinen bir dizi kanatçık vasıtasıyla kontrol edilebilir. Eksenel akışlı turbojet motorlardaki giriş kanatçıkları havanın kompresör ilk kademesine doğru açıda gelmesi için hava akışın yönünü değiştirir. Bazı çalışma şartlarında eksenel akışlı motorlarda kompresöre gelen hava miktarının kontrol edilmesi zorunludur. Aksi takdirde, düşük motor hızlarında kompresörün ön kademeleri, kompresörün arka kademelerinin kaldırabileceğinden daha fazla hava gönderebilir. Eğer bu durum meydana gelirse motor kompresör stall riski yaşayabilir. Bu durumun olmasını önlemek için hava alığı giriş kanatçıklarının ilk kademelerinin açıları motordan akan hava miktarını azaltmak üzere değiştirilebilir. Arka kademelere gelen havanın azaltılmasında en etkin yol, fazla havanın bir kısmının kompresör kademesinde dışarı atılmasıdır (Lefebvre A. H., 1998).

2.2.2. Kompresör

Kompresör, çalışma akışkanının basıncını artırır ve ısı ilavesi yapılacak olan bir sonraki elemana iletirler. Kompresörde çalışma akışkanı havadır. Bu nedenle sıkıştırmaları nedeniyle meydana gelecek giriş çıkış arasındaki kinetik enerji değişimleri ihmal edilebilir. Kompresörlerde ısı artışı da ihmal edilebilir çünkü çoğu kez kademeler arasında akışkan soğutmaya tabi tutulur. Bir gaz türbini kompresörü atmosferden aldığı havayı sıkıştırarak birkaç atmosfer civarında bir basınca yükseltir. Yüksek basınçlı bu hava yanma odasına sevk edilir. Yakıtın yakılmasıyla meydana gelen sıcak gazlar türbin üzerinde genişler ve türbin rotorunu çevirirler ve çıkış şaftından faydalı iş elde edilir. Yanma odasında açığa çıkan enerji kullanılan hava miktarı ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle kompresörün verimli çalışması (maksimum sıkıştırma kademeler arası düşük sıcaklık) toplam sistem veriminin temelidir. Günümüzde kompresörler 18/1 'e ulaşan sıkıştırma oranları ve % 90'a ulaşan çalışma verimleri ile çalışmaktadır (Lefebvre A. H., 1998).

Gaz türbinlerinde kullanılan kompresör tipleri şunlardır:

- Santrifüj akışlı kompresörler
- Eksenel akışlı kompresörler
- Santrifüj-eksenel akışlı kompresörler

Kompresörler bir gaz türbini sisteminin en düşük verimle çalışan elemanlarıdır. Türbinden elde edilen işin büyük bir kısmı kompresörün çevrilmesi için harcanır. Gaz türbinlerinin az yakıt sarf ederek sonsuz çalışabilmesi için büyük miktarda havayı az kayıpla kesintisiz olarak yüksek basınçlara kadar sıkıştırabilen kompresörler gerekmektedir. Buradaki kompresörler için müşterek çalışma prensibi atmosfer havasının basıncını arttırmak amacına yönelik olarak havanın hızını artırıp bu sayede hava kütesine kinetik enerji kazandırmak, yüksek hızlı havayı difüzör üzerinden geçirerek yavaşlatma ve bu sayede kinetik enerjiyi statik basınç

yükselmesine çevirmektir. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde ortaya çıkan akışın nozullarda hızlanan akışın aksine yavaşlayan bir akışın meydana gelmesidir.

Gerek santrifüj akışlı, gerekse eksenel akışlı kompresörler, hava akışındaki değişikliklere karşı çok duyarlıdırlar. Bunun nedeni, verilen bir basınç oranı, devir hızı ve hava akışı için sadece tek bir optimum çalışma aralığına sahip olmalarıdır. Buna “tasarım noktası” denir. Tasarım noktasında, kompresördeki hava akışında mükemmel bir uyum vardır.

2.2.3. Yanma Odası

Yanma odası, gaz türbininin en basit yapıya sahip elemanıdır. Bununla beraber tasarımı ve geliştirilmesi teorik çalışmalardan çok deneysel çalışmalara ve uzun sürede kazanılan tecrübelerle dayanmaktadır. Kısaca belirtmek istersek, yanma odasının görevi çalışma akışkanı olan havaya ısı enerjisi kazandırmaktır. Bunu sağlamak için yakıt yanma odasında doğrudan doğruya yüksek basınçtaki hava üzerine püskürtülür ve yakılır. Yanma odalarında meydana gelen sıcaklıklar da çok yüksek olup yanmanın olduğu bölgedeki alev sıcaklığı 1950-2200 K civarındadır. En yüksek alaşımlı çeliklerin bile eriyeceği bu sıcaklıklar yanma odasının sıcaklığa maruz yüzeylerinde bir takım önlemlerin alınmasını gerektirir. Bu nedenle yanma odasında beslenen havanın 1/3 ‘ünden daha az kısmı yanma için kullanılırken kalan büyük kısmı yanma odası cidarlarının soğutulması için kullanılır (Lefebvre A. H., 1998).

İyi bir yanma odası için gerekli olan özellikler şunlardır (Lefebvre A. H., 1998):

- Yüksek yanma verimi
- Minimum basınç düşmesi
- Çıkış sıcaklığı düzgünlüğü
- Yanma kararlılığı

- Ateşleme kolaylığı, pozitif ateşleme
- Düşük malzeme sıcaklığı
- Kısa alev boyu

Bunların ilk üçü doğrudan gaz türbini performansını etkileyen özelliklerdir. Yanma verimi yakıt sarfiyatını, basınç düşmesi ise hem yakıt sarfiyatını hem de gaz türbininden elde edilen net işi etkiler. Basınç düşmesinin en düşük seviyede tutulması kısa yanma odası boyu ve düşük akışkan debisi kullanılmasını gerektirir. Diğer taraftan yanmanın iyi olması için hava miktarının belirli sınırlar içinde kalması gerekir ve kısa yanma odası boyu türbin kanatlarının aleve maruz kalmasına sebep olur. Ayrıca hava akışının hızı çok yüksekse alev türbin girişine doğru kayacak, hava hızı çok düşükse alev nozul ucuna doğru geri teperek sönecektir. Dolayısıyla bu özelliklerden bazıları birbiri ile çelişkili özelliklerdir. Çıkış sıcaklığının düzgünlüğü faydalanılabilen türbin giriş sıcaklığını belirleyeceği için gaz türbininden elde edilen net işi etkiler. Sıcaklık dağılımı düzgün değilse ortalama türbin giriş sıcaklığı düşecek, bu ise gaz türbini performansını etkilememekle beraber kararlı çalışma ve uzun bir çalışma ömrü için gerekli özellikler olup eşit derecede önem taşırlar. Yanma kararlılığı, geniş bir yakıt/hava oranı bölgesinde yanmanın dengeli olması ve rölantiden tam yüke kadarki yük değişimlerinde yanmanın kaybolmaması anlamını taşır. Ateşlemenin gecikmesi sebebiyle yanma odasında birikecek yakıtın meydana getireceği sıcak çalıştırmayı engellemek için ateşleme kolaylığı veya pozitif ateşleme özelliği gereklidir. Düşük malzeme sıcaklığı yanma odasına uzun bir çalışma ömrü sağlamak için gerekli bir özelliktir ve ancak yanma odası cidarlarının soğutulmasıyla mümkündür. Ayrıca yanma odası bünyesinde büyük sıcaklık farklılıklarının bulunmaması istenir. Bu durum yanma odasının deforme olmasına ve çatlamalara sebep olur. Yanma odasında karbon birikimi, birikimin meydana geldiği bölgelerin sıcak gaza maruz yerlere nazaran daha düşük sıcaklıkta olmasına ve dolayısıyla bölgesel deformasyonlara sebep olur. Bunun yanı sıra kopabilecek karbon parçaları türbin kanatlarının tahrip olmasına sebep olabilir. Kısa alev boyu türbin kanatlarının direkt aleve maruz kalmaması için gerekli bir özelliktir.

Gaz türbinlerinde çok çeşitli tipte ve tasarımlara sahip yanma odaları kullanılmaktadır. Yanma odası içerisinde yakıt bir nozul vasıtasıyla atomize edilerek yanmanın ve alev stabilizesinin meydana geldiği bölgeye püskürtülür. Bu bölgede kompresörden gelen hava ve yakıt alevle karışarak yanma sürdürülür. Yüksek sıcaklıktaki yanma gazları kalan havayla karışarak türbin girişinde düzgün sıcaklık değişimi sağlanır.

Tüm yanma odalarında bulunan temel iki eleman vardır. Bunlar, gövde (case) ve alev tüpüdür. Gövde, yanma odasını etkenlerden korumaktadır. Hava basınç yüklerini karşılar, motor bileşenlerini sıcak gazlardan korur. Diğer bir görevi ise, yanma odası bileşenlerini taşımasıdır. Alev tüpü, alevi kontrol ederek yönlendirir. Üzerinde delikler bulunan birçok segmentten yapılmıştır (Lefebvre A. H., 1998).

Günümüzde kullanılmakta olan üç tip yanma odası vardır:

- Boru (can) tip
- Boru-halka (can-annular) tip
- Halka (annular) tip

Boru tip yanma odaları, Santrifüj tip kompresörlü eski gaz türbin motorlarında kullanılır. Tek odacıklı tipleri genellikle küçük gaz türbinli motor ya da APU' larda kullanılır. Çok odacıklı tipleri ise genellikle turboprop, turbojet motorlarda kullanılır. Odacıklar birbirine iç bağlantı boruları ile bağlanır. Bu yapı ateşlemenin bir odacıktan diğerine geçmesine izin verir. Ateşleme için iki adet buji kullanılır. Tüm odacıklardaki basınç eşitlenir.

2.2.4. Türbin

Yanma odasından gelen sıcak gazların enerjisinin etkisiyle motorda kompresör ve dişli kutusunu tahrik edecek gücü temin eder. Gaz türbinli motorlarda iki türbin tipi vardır:

- Radyal Akışlı

- Eksenel Akışlı

Her iki motor türbin çeşidinde de stator ve rotor paleleri vardır. Modern gaz türbin motorlarında en fazla kullanılan tip Eksenel akışlı türbindir. Birden fazla sayıda kademeli olabilmesi, kompresörün, aksesuarların ve bypasslı motorlarda fan'ın hareketini de sağlayabilmesi açısından önemlidir. Bir başka avantajı da yüksek hava akışı sağlayarak, modern motorlarda yüksek itki elde edilmesine imkân sağlar (Mattingly J. D.,1996).

Türbinin balansı imalatında önemli bir çalışmadır. Yüksek dönü hızları ve maddenin yoğunluğu göz önüne alınırsa herhangi bir balanssızlık durumu dönen yatakların montajını ve motorun çalışmasını ciddi bir şekilde etkileyebilir. Balans işlemi özel balans tezgâhlarında yapılır (Mattingly J. D.,1996).

2.2.5. Egzoz

Egzoz kısmı türbin çıkışındaki egzoz gazlarını dışarı atar. Uçak motorlarında kullanılan egzoz sisteminin ana görevleri motor tipine bağlı olarak değişiklik gösterir. Çeşitli görevleri şunlardır (Mattingly J. D.,1996):

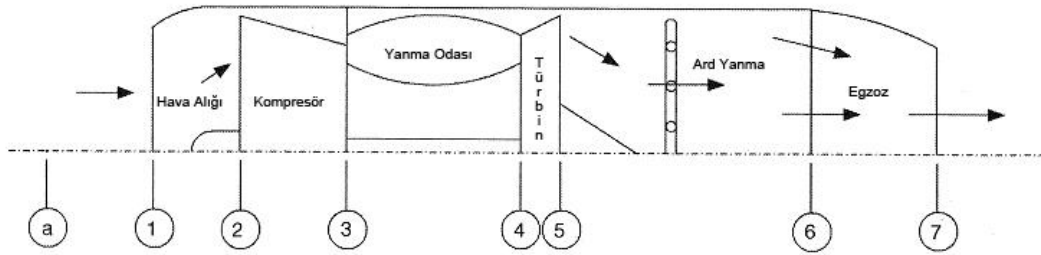
- Aerodinamik yapıyı tamamlar.
- Türbinden gelen hava akış ını hızlandırarak, itkiyi artırır.
- Egzoz gazlarının atmosfere atılmasını sağlar.
- Art yanmaya imkân sağlayarak uçağın hızını yaklaşık % 50 artırır.
- Hareketli egzoz nozulu sayesinde uçağın ses hızının üzerinde uçmasını sağlar.

2.3. Bir Turbojet Motorunun Termodinamik Analizi

Bu tez çalışması kapsamında tek kademeli turbojet motorları üzerinde araştırmalar yürütüldüğünden ötürü, turbojet motorunun ideal çevrim analizi yapılmıştır. Her ne kadar çalışmalarda ele alınan motorlar ardyanmalı olmasa da çevrim hesaplamaları ardyanmalı turbojet motora göre yapılmıştır.

2.3.1. İdeal çevrim analizi

İdeal çevrim analizleri, termodinamik prensiplerden yola çıkarak geliştirilen ve temelde Brayton Çevrimi'ne dayalı olan, bir gaz türbinli motorun performans parametlerinin belirlenmesi için kullanılır.



Şekil 2.4. Tek kademeli ve ardyanmalı bir turbojet motoru için istasyon numaralandırması (Mattingly J. D.,1996)

Şekil 2.4'ten de görüldüğü gibi istasyon numaralandırması yapılmıştır. İdeal çevrim analizleri ve hesaplamalarında yanma odası içerisinde herhangi bir basınç düşüşü olmadığı ve işlemin tersinir adyabatik olduğu kabul edilmiştir. 2 ve 6 numaralı istasyonlar arasında akış hızının değişmediği ve motor içerisindeki akışkanın ideal gaz olduğu kabulü yapılmıştır.

Şekil 2.4'ten de görüldüğü üzere 1-2 arası hava alığıdır. 2 noktasında havanın durağan olduğu ve 1-2 arasında basınç değişimi olmadığı kabul edilirse aşağıdaki ifade yazılabilir (Mattingly J. D.,1996):

$$P_{02} = P_{01} = P_{0a} = P_a \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} \cdot Ma^2 \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (2.1)$$

Buna benzer şekilde sıcaklık değişiminin de olmadığı kabulü ile (Mattingly J. D.,1996):

$$T_{02} = T_{01} = T_{0a} = T_a \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} \cdot Ma^2\right) \quad (2.2)$$

ifadesi yazılabilir.

Kompresör sıkıştırma oranının bilindiği düşünülerek kompresör için şu ifade yazılabilir (Mattingly J. D.,1996):

$$P_{03} = P_{02} \cdot \pi_c \quad (2.3)$$

$$T_{03} = T_{02} \left[\frac{P_{03}}{P_{02}}\right]^{(\gamma-1)/\gamma} \quad (2.4)$$

Çevrimin ideal olduğu kabulüyle kompresör çıkış koşullarının yanma odası girişiyle aynı olduğu söylenebilir. Buna göre (Mattingly J. D.,1996);

$$P_{03} = P_{04} \quad (2.5)$$

Yanma odası için enerji analizi yapılacak olursa hava yakıt oranı için aşağıdaki ifade elde edilir (Mattingly J. D.,1996):

$$f = \frac{c_{p4}T_{04} - c_{p3}T_{03}}{H_f - c_{p4}T_{04}} \quad (2.6)$$

Bilindiği gibi türbinden elde edilen işin bir kısmı kompresöre harcanmaktadır. Aradaki aktarma organlarının veriminin bilindiği kabul edilirse (Mattingly J. D.,1996):

$$W_c = \lambda \cdot W_t \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada söz konusu olan verim değeri % 75-85 arasında değişmektedir. Bu ifadeden yola çıkarak aşağıdaki ifadeler yazılabilir (Mattingly J. D.,1996):

$$\left(\frac{P_{05}}{P_{04}}\right) = \left\{1 - \frac{(c_{p5}/c_{p4}) \cdot T_a}{\lambda(1+f)T_{04}} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} \cdot Ma^2\right) \left[\left(\frac{P_{03}}{P_{02}}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1\right]\right\}^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (2.8)$$

$$\frac{T_{05}}{T_{04}} = \left(\frac{P_{05}}{P_{04}} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

Turbojet motorda ardyanmanın olmadığı durumda 5 ve 6 noktalarının aynı özelliklerde olduğu söylenebilir. Ardyanmanın olduğu durumda ise aşağıdaki ifade geçerlidir (Mattingly J. D.,1996):

$$f_{ab} = \frac{(1+f)(c_{p6A}T_{06A} - c_{p05}T_{05})}{H_f - c_{p6A}T_{06A}} \quad (2.9)$$

Bu duruma bağlı olarak egzoz çıkışı için (Mattingly J. D.,1996);

$$\frac{P_{06A}}{P_c} = \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (2.10a)$$

$$\frac{T_{06A}}{T_{7A}} = \left(\frac{\gamma+1}{2} \right) \quad (2.10b)$$

ifadeleri yazılabilir. Buna bağlı olarak egzoz gazları çıkış hızı (Mattingly J. D.,1996),

$$V_{7ab} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{7A}} \quad (2.11)$$

İfadesi elde edilir.

Tüm bu işlem basamaklarına bağlı olarak itki ifadesinin son hali şu şekilde düzenlenir (Mattingly J. D.,1996):

$$T = \dot{m}_a[(1+f)V_e - V] + (P_e - P_a)A_e \quad (2.12)$$

2.4. Gaz Türbinli Motorlarda Performans Parametreleri

Bir gaz türbinli motorun tasarımı aşamasında; kalkış, tırmanma, yatay uçuş gibi uçuşun farklı evreleri, uçuş menzili, hava aracı için tanımlanan görev göz önüne alınmalıdır. Bu noktada bu etkenlere bağlı olarak motorun performansı için belirli parametreler dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerden birincisi sağlanması gereken itki kuvvetidir. Bunun yanı sıra motorun verimli ve sağlıklı işletimi için itki verimi, termal verim, yakıt sarfiyatı gibi değerlere de önem verilmelidir. Bu

konunun alt başlıklarında motorun performansına etki eden tasarım açısından belirleyici olan bu parametreler tek tek açıklanacaktır (Mattingly J. D.,1996).

2.4.1. İtki

Uçuş sırasında bir uçağa etki eden temel dört kuvvet bulunmaktadır. Bunlar itki, sürüklenme ve taşıma kuvvetleri ile uçağın kendi ağırlığıdır. Uçağın sabit hızda ilerlediği yatay uçuş evresinde hız ve irtifa sabittir. Bu evre süresince kuvvetlerin dengede olması gerekmektedir. Diğer evrelerde ise uçağın yatayla yaptığı açıya göre bileşenler incelenerek kuvvetlerin irdelenmesi gerekir. Elde edilen itki kuvveti üzerinde belirleyici olan belli başlı faktörler vardır. Bunlar (Mattingly J. D.,1996):

- Egzoz çıkış ağzı,
- Hava hızı,
- Motora alınan havanın debisi,
- İrtifa,
- Ram etkisi

Egzoz çıkış alanı ve bu noktadaki basınç değeri net itki üzerine etki etmektedir. Bir diğer etken ise egzoz çıkışının yapısıdır. Egzoz çıkışının yakınsak ya da ıraksak olması durumuna göre egzoz çıkış hızının belirlenmesi gerekmektedir. Burada çıkış hızı ses hızına göre belirlenmektedir. Burada bir diğer unsur ise çıkış noktasındaki basınçtır. İtki oluşumunda basınç değeri, çevre basıncına ve lüle yapısına bağlıdır (Mattingly J. D.,1996).

Genellikle hesaplamalarda çıkış noktasındaki egzoz hızı, yaklaşık olarak ortam hava hızına eşit alınmaktadır. Egzoz gazları hızının sabit kabul edilmesi durumunda, hava hızındaki artış oluşacak olan itkinin azalmasına sebep olacaktır. Bu duruma ilaveten motora alınan hava debisi ve hava-yakıt oranı sabit tutulursa, doğrusal bir azalma söz konusu olacaktır (Mattingly J. D.,1996).

Hava debisi, itkinin belirlenmesinde en önemli faktördür. Hava debisi, hava yoğunluğuna etki eden ortam sıcaklığına ve basınca bağlı olarak değişim gösterir. Havanın serbest akışlı olması durumunda sıcaklıktaki artış yoğunluğu düşürecektir. Bu sebepten dolayı sıcaklığın artışı itkiyi düşürecektir. Basıncıdaki düşüş ise itkiyi artıracaktır (Mattingly J. D.,1996).

Yüksek irtifalarda havanın basınç ve sıcaklık değerlerinin düştüğü bilinmektedir. Fakat sıcaklık düşüşü 11000 metreye kadar sürer. Bu irtifadan sonra sıcaklık düşüşü gerçekleşmez. Bu sebepten dolayı 11000 metre ideal uçuş irtifası olarak kabul edilir (Mattingly J. D.,1996).

Uçağın uçuş sırasında yaptığı manevralar gibi hareketlerinden dolayı hava alığı girişinde ram etkisi olarak adlandırılan bir durum oluşmaktadır. Ram etkisi motora giren hava debisini artırmaktadır. Bu durum itkinin artmasını sağlar. Bunun sebebi, ram etkisinin girişteki hava hızını artırması ve zaman zaman basıncı artırmasıdır. Basıncıdaki artışa bağlı olarak da girişteki hava yoğunluğu artar. Bu iki sebepten dolayı motora birim zamanda giren hava yani debi artar. Debinin artmasına bağlı olarak daha yüksek itki elde edilir (Mattingly J. D.,1996).

2.4.2. İtki verimi

İtki verimi, egzoz gazlarının hızlarından ötürü sahip oldukları kinetik enerjinin hangi ölçüde itkiye dönüştürüldüğünün bir göstergesidir. Motorun üreticisi tarafından kullanıcıya bildirilen bir özelliktir. Egzoz gazlarının çıktıktan sonra ne kadar enerji taşıdıkları bunun için bir ölçüttür. İtkiyi oluşturduktan sonra motoru terk eden egzoz gazlarındaki atık enerji miktarına bakılarak da tespit edilebilir. Aşağıdaki matematiksel ifade ile hesaplanabilir (Mattingly J. D.,1996):

$$\eta_p = \frac{\text{İtki Gücü}}{\text{Motorda Havaya Verilen Güç}} \quad (2.13)$$

$$\eta_p = \frac{\text{İtki}}{\text{İtki +Egzozdan Atılan Atık Enerji}} \quad (2.14)$$

2.4.3. Isıl verim

Isıl verim, yakıtın yanması sonucu açığa çıkan enerjinin ne ölçüde iş akışkanı olan havaya aktarıldığının bir göstergesidir. Isıl verim, aşağıdaki Eşitlik (2.5) ile hesaplanmaktadır (Mattingly J. D.,1996):

$$\eta_{th} = \frac{\text{Havaya Aktarılan Enerji}}{\text{Yanma Sonucu Açığa Çıkan Enerji}} \quad (2.15)$$

2.4.4. Pervane verimi

Turboşaft motorlar için söz konusu olan bu verim, elde edilen itkinin, şaft gücüne oranıdır. Bilindiği üzere turboşaft motorlarda elde edilen enerji ile şaft döndürülür. Şafta bağlı olan pervanelerinin ve palelerin dönmesiyle itki sağlanır (Mattingly J. D.,1996).

2.4.5. Özgül yakıt tüketimi

Motorun kullanıldığı uçakla yapılan uçuşun ekonomikliğini belirlemede yardımcı olan bir faktördür. Birim zamanda tüketilen yakıtın birim zamanda elde edilen itkiye oranı olarak tanımlanır (Mattingly J. D.,1996).

3. YANMA ODALARI, YAPILARI ve ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde yanma odalarının tasarım prensipleri, çalışma prensipleri, hakkında bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Tasarım Prensipleri

İlk geliştirilen yanma odası, kompresöre kolay bağlanabilecek bir yapıda ve yakıtın püskürtüldüğü bir kanaldan oluşmaktaydı. Düz boru şeklindeki yanma odasına bir uçtan kompresörden gelen hava giriş yaparken, içeriye doğru yönlendirilmiş kanaldan yakıt hava üzerine püskürtülür. Yanma sonu gazlar, borunun diğer açık ucundan yanma odasını terk eder (Lefebvre A. H., 1998).

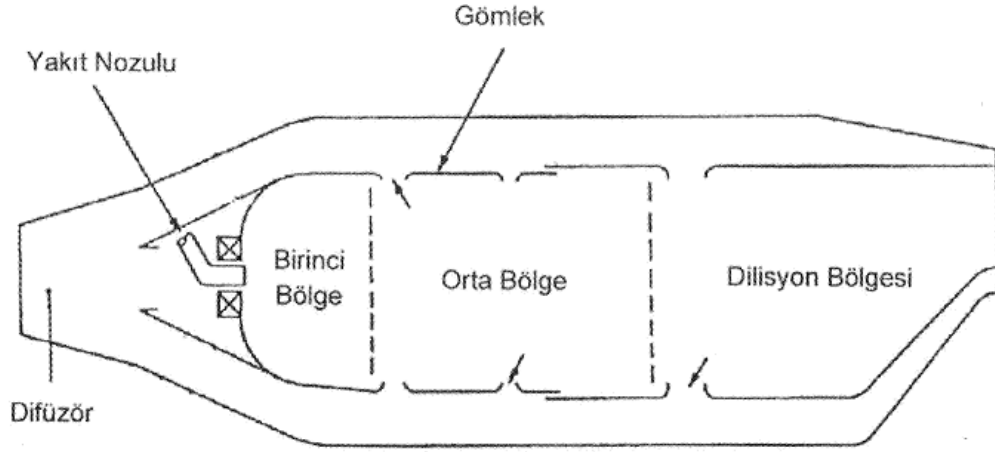
Bu yapıdaki basınç düşümünü gidermek üzere giriş ve çıkış uçlarına difüzörler yerleştirilerek, tasarımda iyileştirme yapılmıştır. Fakat bu yapıda ortaya çıkan sorun alevin merkezlenememesiydi. Bu sorunu gidermek için metal plakalar kullanıldı. Fakat bu kadar ilerlemeye rağmen yanma odası içerisinde istenilen sıcaklık dağılımı sağlanamamıştı. Yanma odası içine yerleştirilen merkezleyici ile yanma için yeterli karışım oranı sağlanmıştır (Lefebvre A. H., 1998)

Temelde yanma odasından beklenen ve istenen özellikler aşağıda sıralanmıştır (Lefebvre A. H., 1998):

- Yüksek yanma oranı,
- Düzgün (stabil) yanma sağlanması,
- Düşük basınç kayıpları,
- Düzgün sıcaklık dağılımı,
- Düşük maliyet
- Dayanıklılık,
- Kullanılabilirlik

3.2. Yanma Odasının Yapısı

Yanma odası temelde üç kısımdan oluşmaktadır. İlk bölge, orta bölge ve dilisyon bölgesi olmak üzere yanma odasını oluşturan bu kısımlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bir gaz türbinli motorda kullanılan yanma odasının yapısı ve kısımları

İlk bölgede düzgün bir yanma sağlamak için yakıt hazırlanır. İyi bir yanmanın gerçekleşmesi için uygun sıcaklık ve basınç ayarlandığı ve akışın yeterli düzeyde türbülanslı hale getirildiği bölümdür. Bu bölümde taze hava yakıt karışımı hazırlanarak ön yanma gerçekleşir (Lefebvre A. H., 1998).

İlk bölgede ön yanmanın gerçekleşmesinin ardından orta bölgede karışıma hava kanallarından taze hava verilir. Taze hava girişiyle sıcaklık bir miktar düşse de karışımda bulunan ve hala tam olarak yakılamamış yakıtın yanması tamamlanır. İlk bölgede yanma sonucu açığa çıkan karbonmonoksitin de kısmen yanmış yakıtla beraber yanması sağlanır. Yüksek irtifalardaki uçuşlar sırasında ilk bölgede yanma reaksiyonu tamamlanamadığı gibi, orta bölge ilk bölge davranışı sergiler. Bunun önlenmesi için orta bölgenin tasarımlarda bir miktar büyük tutulması gerekir (Lefebvre A. H., 1998).

Yanma odasının üçüncü bölgesinde yanma işlemine katılmamış olan hava yanma odası çeperlerinden çekilir. Bu bölümde yanma sonu gazları türbine geçiş öncesi uygun sıcaklık dağılımına ulaştırılır.

3.3. Yanma Odasından İstenen Özellikler

Bir yanma odasının aşağıdaki özellikleri taşıması istenmektedir (Lefebvre A. H., 1998):

- Yüksek yanma verimi,
- Kararlı çalışma,
- Düşük basınç kaybı,
- Düzgün sıcaklık dağılımı,
- Kolay devreye alınabilme,
- Motor yapısına uygun boyutlandırma,
- Düşük duman yüzdesi,
- Düşük karbon oluşumu

Gaz türbinli motorlarda yanma verimi deniz seviyesinde % 100 değerlerinde iken irtifa artışıyla beraber düşüş göstermektedir. Burada temel etken hava sıcaklığının ve basıncın düşmesi ve buna bağlı olarak da hava debisinin düşmesidir. Yanma verimine etki eden bir diğer faktör ise yakıtın cinsi ve taşıdığı özelliklerdir (Lefebvre A. H., 1998).

Gaz türbinli motorlarda sık karşılaşılan bir sorun alev sönmesidir. Yanmanın kararlılığı alev sönmesi veya alev taşması gibi sorunların rölantiden tam güç aralığına kadar olan tüm evrelerde yaşanmamasıdır. Dengeli bir yanma; düzgün bir yanma başlangıcı ve başlayan yanmanın çalışma süresi boyunca kesintiye uğramamasıdır. Alev sönmesinin temel sebebi, hava/yakıt oranının istenilen çalışma aralığı dışında kalmasıdır (Lefebvre A. H., 1998).

Yanma odası içerisinde akışa bağlı olarak basınç düşüşleri gözlemlenebilir. Bunu en aza indirebilmek için yanma odası içerisindeki akışın çıkış yönünde hızlandırılması gerekir. Aksi takdirde oluşacak olan basınç düşüşleri, tepkiyi azaltarak yakıt tüketimini artırır. Fakat yanmanın hızlandırılması sırasında dikkat

edilmesi gereken bir nokta da yanma tamamlanmadan hava yakıt karışımının yanma odasını terk etmemesidir (Lefebvre A. H., 1998).

Motorun verimliliğini artırmak için yanma sonu gazlarının olabildiğince yüksek sıcaklıklarda olması hedeflenmektedir. Burada belirleyici unsur, yanma odasının yapısal malzemelerinin sıcaklık dayanımlarıdır. Ayrıca yanma sonu gazlarının sıcaklığındaki düzgün olmayan dağılımlar da malzemelere etki etmektedir. Lokal yüksek sıcaklıklar görülmesi hem yanma odası malzemesinin hem de türbin malzemesinin ömrünü azaltır (Lefebvre A. H., 1998).

Yanma odası içerisinde bulunan karışımın düşük basınç ve yüksek hızlarda olması durumunda yanma gerçekleşmesi, dolayısıyla da motorun çalıştırılmasını güçleştirir. Bunu önlemek ancak tasarımıyla mümkün olur. Optimize edilen bir yanma odası tasarımı sayesinde basınç ve akış hızı istenen şekilde ayarlanarak yanmanın daha kolay gerçekleşmesi sağlanabilir (Lefebvre A. H., 1998).

Optimum yanmanın elde edileceği bir tasarım yapılırken, boyutlandırma göz ardı edilememelidir. Büyük boyutlardaki bir yanma odası, motorun büyük hacimler kaplamasına ve ağırlığın artmasına sebep olacaktır. Bu durum hem hava aracının aerodinamik yapısını etkileyeceği gibi hem de taşınacak olan yüke ve uçuş menziline etki edecektir (Lefebvre A. H., 1998).

Günümüzde uçak motoru üretimi açısından en önemli kriterlerden birisi de çevresel kirlilik etkileridir. Bu nedenle yanma sonucu oluşacak dumanların olabildiğince alt seviyelerde tutulması gerekmektedir. Duman oluşumunun en önemli nedeni eksik yanmadır. Eksik yanma sonucu yakıtın bir bölümü yanma odasını yanmadan terk eder ve türbinde egzoz gazı sıcaklığının yanma oluşumuna yetecek düzeyde yüksek olmasına bağlı olarak burada devam eder (Lefebvre A. H., 1998).

Yanma sırasında karbon oluşumu istenmeyen bir durumdur. Karbon oluşumu hem egzoz gazlarıyla dışarı atılarak çevresel kirliliğe hem de yanma odası içerisindeki hava kanalları ve yakıt enjektörleri gibi kritik parçalarda tıkanmalara neden olur. Bu durum yanma verimini düşürerek motorun performansına olumsuz etki eder (Lefebvre A. H., 1998).

4. YAKITLAR ve YANMA

4.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri

Bu bölümde hava araçlarında kullanılan yakıtlara ait genel özellikler açıklandıktan sonra, havacılıkta kullanılan yakıtlardan bahsedilecektir.

4.1.1. Fiziksel özellikler

Gaz türbinli motorlarda kullanılan yakıtların aşağıdaki fiziksel özellikleri sağlanması istenmektedir (Karakoç T. H., 2008):

- Akışkanlığının istenilen düzeyde olması ve sisteme kolaylıkla aktarılabilmesi,
- Motorların yer şartlarında ve motorun yeniden çalıştırma işlemleri sırasında sorun çıkarmamalı,
- Yanma verimliliğinin yüksek olması,
- Isıl değerinin istenilen değerlerde yüksek olması,
- Motor malzemeleri üzerinde korozyon yapabilirlik, aşındırma vb. olumsuz etkiler yaratarak motor ömrüne etki etmemeli,
- Motorun yakma ve yakıt sistemi içerisinde yağlama özelliği taşımalı,
- Kendi kendine tutuşarak yangın riski oluşturmayacak olmalıdır.

Bilindiği üzere, yanma işlemi sırasında verimli bir yanma elde edilebilmesi için, yakıt yanma odasına verilmeden önce atomize edilerek havaya karıştırılır. Bu

sayede verimli bir yanma elde edilebilir. Yakıtın bu işleme tabi tutulması, yakıtın fiziksel özellikleriyle doğrudan ilintilidir. Burada söz konusu olan özellikler aşağıdakilerdir (Karakoç T. H., 2008):

- Bağıl yoğunluk,
- API yoğunluğu,
- Moleküler ağırlık,
- Damıtma bölgesi,
- Buhar basıncı,
- Alevlenme noktası sıcaklığı,
- Uçuculuk,
- Viskozite,
- Yüzey gerilmesi,
- Donma noktası sıcaklığı,
- Özgül ısı,
- Ergitme ısısı,
- Isı iletkenliği

Bağıl yoğunluk, yakıtların kimyasal bileşimlerine bağlı olarak değişmektedir. Yakıtın bağıl yoğunluğuna bakılarak hidrojen karbon oranı, ısı değeri ve karbon oluşturabilirliği hakkında fikir edinilebilir (Karakoç T. H., 2008).

API yoğunluğu, Amerikan standartlarında yer alan ve yakıtların kıyaslanması açısından önemli bir özelliktir. Hesaplanması için geliştirilmiş bir denklem kullanılırken temin edilen firmalar tarafından da bu özellik belirtilir (Karakoç T. H., 2008).

Bir yakıtın moleküler ağırlığı, laboratuvar şartlarında deneysel yöntemlerle bulunabilmektedir. Diğer yandan ampirik formüllerle de kimyasal bileşimine bakılarak hesaplanabilir (Karakoç T. H., 2008).

Bilindiği üzere petrol ürünleri saf madde olmayıp, sabit bir kaynama noktasına sahip değildir. İçeriğinde bulunan her bir maddenin ayrı bir kaynama noktası bulunup, petrol ürünlerinin damıtma aralığı vardır. Yakıtlar, ASTM tarafından geliştirilen standartlara uygun olarak destile edilir ve karakteristikleri ortaya konulabilir. Destilasyon sayesinde yakıtın destilasyon eğrisi çıkarılır ve bu eğri üzerinden farklı sıcaklıklardaki buharlaşma oranları okunur (Karakoç T. H., 2008).

Bir yakıtın belirli bir sıcaklıkta, kap yüzeyine yaptığı basınç buhar basıncı olarak adlandırılır. Yakıtların ilk yanma bölgesinde hızlı tutuşması istenen bir özelliktir. Buhar basıncının yüksek olması sayesinde bu sağlanabilmektedir.

Bir yakıtın yanabilecek düzeyde buharlaştığı sıcaklığa alevlenme noktası sıcaklığı denilmektedir. Verimli bir yanmanın gerçekleşmesi için yakıtın buharlaşarak belli oranda hava ile karışması gerekmektedir. Bu nedenle yakıtın kolaylıkla buharlaşabilir olması gerekmektedir (Karakoç T. H., 2008).

Bir yakıtın uçuculuğu; yakıtın damıtma aralığına, alevlenme noktası sıcaklığına ve buhar basıncına bağlı olarak değişen bir özelliğidir. Yakıtın uçuculuğu yüksek ise, yanma veriminin yüksek olduğu söylenebilir. Diğer yandan uçuculuğun artması daha kararlı yanma elde edilmesini sağlamaktadır. Fakat yüksek uçuculuğa sahip yakıtlar kolaylıkla buharlaşabildikleri için yangın riskini de artırmaktadırlar (Karakoç T. H., 2008).

Viskozite, bir akışkanın yani yakıtın akışa karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda dahi yakıtın sistemde rahatça hareket etmesi istendiğinden düşük viskoziteli olması gerekmektedir. Diğer yandan yağlama amacıyla kullanılması durumlarında da yüksek viskoziteye sahip olması gerekmektedir. Yakıtın yanma odasına verilirken atomize edilmesi bilinen bir diğer gerçektir. Yakıtın viskozitesi yükseldikçe atomizasyonu zorlaşmaktadır (Karakoç T. H., 2008).

Gaz türbinli motor kullanan hava araçları yüksek irtifalarda seyretmektedir. İrtifanın artışıyla sıcaklığın düştüğü de göz önüne alınacak olursa, yakıtların donma noktası sıcaklıklarının olabildiğince düşük olması istenmektedir. Yakıtın tipine bağlı olarak değişen bu özelliğin 227 K ile 215 K aralığında olması istenir (Karakoç T. H., 2008).

Özgül ısı değeri, yakıtın yanması sonucu oluşan enerjiye büyük etki eden bir faktördür. Havacılık yakıtlarının özgül ısılarının değeri sıcaklıkla değişmektedir. Bu nedenle yakıt seçiminde dikkate alınacak diğer bir özelliktir (Karakoç T. H., 2008).

Yakıtların ergitme sıcaklıkları ve ısı iletkenliklerini ampirik formüllerle belirlemek mümkün olup, bu iki özellik de yakıtların karakteristik özelliklerindendir (Karakoç T. H., 2008).

4.1.2. Yanıcılık özellikleri

Yakıtların yanıcılıkları ve yanma verimleri ile ilişkili özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Karakoç T. H., 2008):

- Isıl değer,
- Entalpi,
- Alev alma limiti,
- Kurum yapabilirlik

Bir yakıtın tam yanması sonucu açığa çıkan enerji, o yakıtın ısıl değeri olarak tanımlanır. Yakıtların ısıl değerleri, kimyasal yapılarına bağlıdır. Analizlerle kimyasal yapısı belirlenen bir yakıtın ısıl değeri, deneysel eşitliklerle belirlenir.

Yakıtın yanma performansına etki eden bir diğer özelliği entalpisidir. Entalpi, yakıtın bünyesinde enerjiyi depolama ve tutabilme kapasitesidir. Diğer

bir tanımı ise sıcaklığının değişmesi veya sabit kalması için gerekli olan enerji miktarıdır.

Buhar fazındaki yakıtların yanabilmesi için hava ile uygun karışım oranlarında ve yeterli yüzey teması halinde olmaları gerekir. Bu koşulların sağlanması halinde alevlenmenin başladığı noktadan itibaren yanma yayılır. Hava yakıt karışımının zengin ya da fakir karışım olmasına bağlı olarak bu yayılma hızı değişim gösterir. İdeal bir yanma için kütleli hava/yakıt oranının 0,035-0,28 aralığında olması gerekmektedir.

Yanma odasında yanmanın verimli olabilmesi, yanma odası cidarlarında is ve kurum oluşumuna da bağlıdır. Cidarlardaki kurum oluşumu yanma odasının yüzeylerinde yalıtım etkisi yaparak yanma odasının soğutulmasına olumsuz etki etmektedir. İçeride sıcaklığın yüksek değerlere çıkması hem malzeme ömrü açısından istenmemektedir hem de farklı noktalarda istenmediği halde kendiliğinden yanma başlangıçlarına sebep olmaktadır. Bu nedenle kurum oluşturma eğilimi düşük olan yakıtların kullanımı tercih edilir. Genellikle uçak yakıtları için bu değer 20 mm ve üzerindedir.

4.1.3. Havacılıkta kullanılan yakıtlarının sınıflandırılması

Günümüzde farklı motor tipleri farklı görevlere sahip hava araçlarında kullanılmaktadır. Bu belirleyici görev ve farklılıklar, farklı tiplerde yakıtların gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Aşağıda Çizelge 4.1’de günümüzde yaygın olarak kullanılan havacılık yakıtları kodlama sistemi görülmektedir.

JP-1 tipi yakıtlar, düşük donma noktasına sahip kerosenlerdir. Ayrıca bu tip yakıtlar düşük buhar basıncına ve yüksek ısı değere sahiptirler. Diğer bir önemli özellikleri iyi birer yağlayıcı olmalarıdır. Alevlenme noktası sıcaklıkları benzinden yüksektir ve bu sebeple emniyetli sayılır. Fakat bu özelliklerinden dolayı zor yanmaları ve yüksek irtifalardaki uçuşlarda çok sık alev sönmeye sebep

olmaktadırlar. Bu olumsuz özelliklerinden dolayı hemen hemen hiç kullanılmamaktadır (Karakoç T. H., 2008).

Çizelge 4.1. Havacılık yakıtları kodlama sistemi (Karakoç T. H., 2008)

KOD	AÇIKLAMA
MIL-F-5572	Uçak benzini
AN-F-32a (JP-1)	Parafinsiz kerosen
AN-F-34 (JP-2)	Kerosen
AN-F-58a (JP-3)	Uçak benzini
JP-5	Hafif parafinsiz kerosen

JP-2 sınıfı yakıtlar benzin ve kerosen karışımından meydana gelmektedirler. Karışım ağırlıklı olarak kerosenden meydana geldiği için yaygın kullanımları söz konusu değildir (Karakoç T. H., 2008).

% 65-70 oranında benzinden % 30-35 oranında kerosenden meydana gelen JP-3 yakıtları, özellikleri bakımından benzine benzemektedirler. Yüksek buhar basıncı sebebiyle yüksek hızlarda büyük yakıt kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca benzine yakın olmalarından ötürü yağlayıcılık özellikleri iyi değildir. Günümüzde JP-1 tipi yakıtların yerini almışlardır (Karakoç T. H., 2008).

Günümüzde askeri ve sivil uçaklarda yoğun kullanılan JP-4 sınıfı yakıtlar; kerosen, benzin ve nafta ürünlerinden oluşmaktadır. JP-3 tipi yakıtla göre en önemli özelliği düşük buhar basıncı sebebiyle yakıt kayıpları ortaya çıkarmamasıdır (Karakoç T. H., 2008).

JP-5 Yakıtları, JP-3 sınıfı yakıtlara benzemekte olup, kargo uçakları gibi büyük kapasiteli ağır uçaklarda tercih edilmektedir (Karakoç T. H., 2008).

4.2. Yanma

İki veya daha fazla maddenin birbiriyle etkileşmesi sonucu kendi özelliklerini kaybederek yeni özellikte maddeler oluşturması kimyasal tepkime olarak adlandırılır. Kimyasal tepkimenin diğer bir tanımı ise, maddenin moleküler yapısındaki elektronlar düzeyindeki değişiktir. Tepkimeye girenler reaktant, reaksiyondan çıkanlar ise ürün olarak tanımlanmaktadır.

Bir reaksiyon sonucunda ısı açığa çıkıyorsa, bu tür reaksiyon ekzotermik reaksiyon olarak adlandırılır. Bir reaksiyonun oluşması için, çevreden ısı alınması gerekiyorsa, bu tür reaksiyonlar endotermik reaksiyon olarak adlandırılır. İki veya daha fazla maddenin kendi kimyasal yapılarını kaybederek yeni madde meydana getirdiği kimyasal tepkimeler, sentez tepkimeleri olarak adlandırılır.

Bir maddenin, kendi kendine tutuşma sıcaklığı ve basınç gibi özelliklerine bağlı olarak uygun şartların sağlanması halinde oksijen ile tepkimeye girmesi yanma olarak tanımlanır. Yanma tepkimesi bir ekzotermik reaksiyondur.

Bir yanma tepkimesinde yakıtın tam olarak yakılması için gerekli minimum oksijen veya hava ile yanması durumuna tam yanma denilmektedir. Yeterli oksijen olmamasından dolayı, yanma ürünleri arasında karbonmonoksit (CO) ve hidrojen (H_2) gibi ürünlerin olması durumunda eksik yanma olarak tanımlanır. Eksik yanmada hava, teorik hava miktarından küçüktür. Teorik hava miktarı ile hatta fazla hava ile yanma durumunda yanma şartlarından kaynaklanan eksik yanma söz konusu ise, bu durum kısmi eksik yanma olarak tanımlanmaktadır. Tam yanmada yanma işlemi sırasında yakıtın yapısındaki karbon (C), hidrojen (H_2) ve varsa kükürtün (S) tümü oksijen (O_2) ile tepkimeye girerek, karbondioksit (CO_2), su (H_2O) ve kükürte dönüşmektedir. Yanma sırasında, her yanıcı molekülün yakıcı molekülle karşılaşma ihtimali olmamaktadır. Yakıtın tamamen yanmasını sağlayabilmek amacıyla yanma için gerekli minimum oksijen miktarından daha fazla oksijen, dolayısıyla hava verilmektedir. Verilecek fazla hava miktarını da belirlemek amacıyla hava fazlalık katsayısı kullanılmaktadır. Yakıtın katı, sıvı

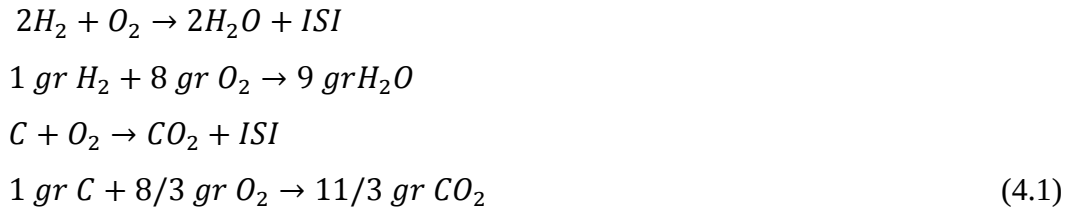
ve gaz olması durumuna göre farklı hava fazlalık katsayıları kullanılmaktadır. Hava fazlalık katsayısı değeri, katılarda daha fazla gazlar da ise daha azdır.

4.2.1. Oksijen/yakıt ve hava/yakıt oranı

Yanmada kullanılan oksijenin, yanmada kullanılan yakıtı oranı, “oksijen/yakıt” oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oran molar $(O/Y)_n$ ya da kütleli $(O/Y)_m$ olarak tanımlanmaktadır. Yanma işleminde genellikle hava kullanıldığından oksijen/yakıt oranı yerine hava/yakıt oranı kullanılmaktadır. Yanmada kullanılan havanın, yanmada kullanılan yakıtı oranı “hava/yakıt” oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oran da molar ya da kütleli olma durumuna göre $(H/Y)_n$ ya da $(H/Y)_m$ olarak kullanılmaktadır.

4.2.2. Teorik hava ihtiyacının hesabı

Genel olarak kullanılan yakıtlar göz önüne alındığında, reaksiyona genellikle hidrokarbonların girdiği görülmektedir. Sonuç olarak reaksiyona girenler hanesinde hidrojen ve karbon yer almaktadır. Aşağıda hidrojen ve karbonun oksijenle yanması için yazılırsa aşağıdaki ifadeler ortaya çıkacaktır:



Buna göre eğer 1 kg yakıt sırasıyla C kg karbon, H kg hidrojen, S kg kült ve O kg oksijenden oluşuyorsa, C kg karbonu yakmak için 8/3 C oksijen, H kg hidrojeni yakmak için 8H kg oksijen ve S kg kültü yakmak için S kg oksijen gerekmektedir. Yakıtın 1 kg’ında O kg oksijen olduğu başlangıçta belirtilmişti. Bu da dikkate alınırsa 1 kg yakıtın tam yanması için gerekli oksijen miktarı aşağıdaki ifadede bulunabilecektir.

$$L_{O_2,t} = (8/3 C + 8 H + S - O) \text{ kg } O_2 / \text{kg yakıt} \quad (4.2)$$

Yanma işlemlerinde genellikle oksijen yerine hava kullanılmaktadır. Yukarıdaki ifade hava için yazılırsa 1 kg yakıt için gerekli olan teorik hava miktarı şu şekilde ortaya çıkacaktır:

$$L_{hava,t} = \frac{100}{23} (8/3 C + 8 H + S - O) \text{ kg hava/kg yakıt} \quad (4.3)$$

Bu ifadede kütleli olarak havanın % 23 oksijen ve % 77 azottan oluştuğu kabul edilmiştir. Bu kabul yapılırken kütleli bazda çok az olan diğer maddeler ihmal edilmiştir. Yanma işlemi sırasında yanıcı moleküllerin yakıcı moleküllerle birleşmesi % 100 olmadığından yanma işleminde verilecek hava miktarı, hesaplanan miktardan daha fazla olmaktadır. Burada fazla verilecek havanın miktarı “hava fazlalık katsayısı” ile tanımlanmakta ve λ ile gösterilmektedir. 1 kg yakıt için gerekli teorik hava miktarı ifadesi, 1kg yakıtın yanması için verilen gerçek hava miktarına, λ katsayısı eklenerek aşağıdaki şekilde düzenlenir:

$$L_{hava,g} = \lambda \left[\frac{100}{23} (8/3 C + 8 H + S - O) \right] \text{ kg hava/kg yakıt} \quad (4.4)$$

4.2.3. Yanma ürünlerinin hesabı

Yanma sonu ürünlerinin hesaplanmasında teorik hava ihtiyacı için yazılan denklemlerden yararlanılmaktadır. Eşitlik 4.4, Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6 incelenerek yanma sonu ürünleri için gerekli olan miktarlar hesaplanabilir. Reaksiyona giren 1 kg yakıt C kg karbon, H kg oksijen ve S kg kükürt ve O kg oksijenden oluşmaktadır. Reaksiyonda tam yanma gerçekleştiği varsayılırsa, C kg karbonun yanması sonucu 11/3 kg karbondioksit, H kg hidrojenin yanması sonucu 9 H kg su ve S kg kükürdün yanması sonucu 2 S kg kükürtdioksit oluşmaktadır. Eğer yanma için fazla hava verilmişse, fazla havadaki oksijen miktarı, “0,23xfazla hava”, verilen havadaki azot miktarı olarak da “0,77xgerçek hava” yanma ürünleri kısmında yer alacaktır.

5. DENEYSEL BİR TURBOJET MOTORUNDAN EMİSYON VERİLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

5.1. Ölçüm Yöntemi

Bir uçak motorundan emisyon analizi için izlenecek yol, SAE (2011a) tarafından yayınlanan SAE ARP1256 numaralı standartta açıklanmıştır. Bu çalışma süresince bu standartta uygun biçimde ölçümler gerçekleştirilmiştir. İlgili standartta; ölçülmesi ve kaydedilmesi gereken veriler, kullanılacak analizörlerin ve diğer cihazların taşınması gereken özellikler, cihazların seçiminde dikkat edilecek noktalar ve numune alma probunun yapısı ile yerleşimi detaylı şekilde belirtilmiştir.

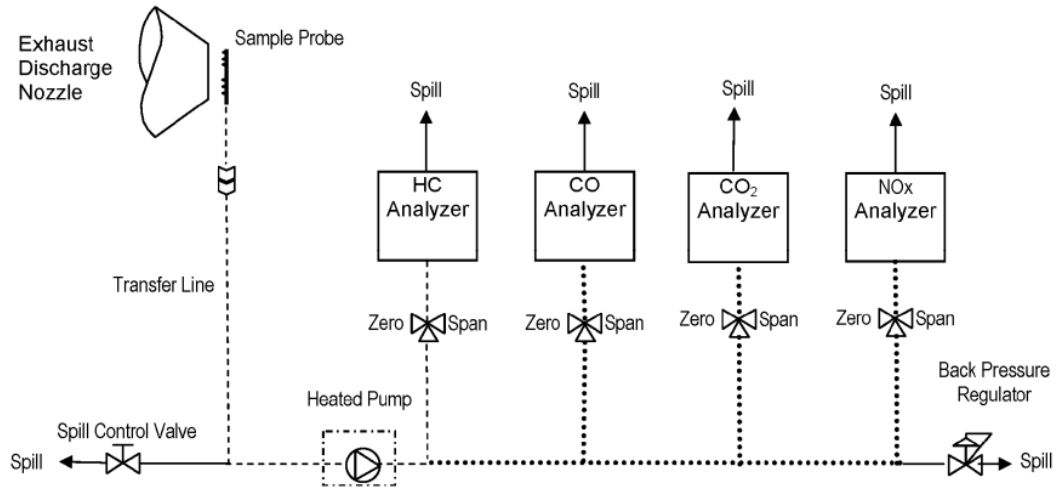
İlgili standartta bir gaz türbinli uçak motorunun emisyon ölçümleri sırasında karbonmonoksit ve karbondioksit gazlarının ölçümleri için NDIR analizörlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir. Bu analizörler, alınan egzoz gazı numunesinin içerisinde belirlenmek istenen gazın değerini absorpsiyon tekniği kullanarak belirler. Yayılan gazı absorbe ederek miktarını tespit eder. Bu absorpsiyon sırasında oluşan gerilime bağlı olarak sinyaller üretilir. Sinyallere bağlı olarak değerler sürekli olarak gözlemlenebilir. Karbonmonoksit ve karbondioksit analizörlerinin taşınması gereken özellikler aşağıda sıralanmıştır (SAE, 2011a):

- Sıfır noktası sapması saatte $\% \pm 1$ 'den az olmalıdır,
- Sapma değeri saatte $\% \pm 1$ 'den az olmalıdır,
- Parazit değeri saatte $\% \pm 1$ 'den az olmalıdır,
- Çözünürlük $\% 0,5$ 'ten daha iyi olmalıdır,
- Hassasiyet $\% \pm 1$ 'den yüksek olmalıdır,
- Çıkış değerinin ayarlanması halinde doğrusallık $\% \pm 1$ olmalıdır,
- Ölçüm aralığı 0-1000 ppm aralığında olmalıdır.

Karbonmonoksit ve karbondioksit analizörleri, sistem içerisinde paralel ya da seri olarak bağlanabilirler. Egzozdan alınan numune gazın nemli olması durumunda taşıyıcı hattın ısıtılmasının gerektiği unutulmamalıdır (SAE, 2011a).

SAE ARP1256 numaralı standartta hidrokarbonların ölçümü için alev iyonizasyonlu dedektörlerin kullanımı tavsiye edilmektedir. Bu sayede daha hassas ölçümler yapmak mümkün olup, sonuçlar daha doğru elde edilebilecektir. Bu analizörlerin hassas olmalarından dolayı sık sık kalibre edilmeleri gerekmektedir. Bu analizörler genellikle sonucu hacim başına ppm cinsinden vermektedir (SAE, 2011a).

Azotoksit analizörleri, genellikle dönüştürücü içermektedirler. Bu dönüştürücü ozon kullanarak dönüşüm sağlar. Dönüştürücü verimlerinin % 90 üzerinde olması istenmektedir. Bu sistemlerde taşıyıcı hattın ısıtılması önerilmektedir (SAE, 2011a).



Şekil 5.1. Emisyon ölçüm sisteminin düzeni ve yapısı (SAE, 2011a)

Ölçümler sırasında kullanılacak olan prop, paslanmaz çelik gibi korozyon dayanımı yüksek bir malzemeden olmalıdır. Sistemden numunenin farklı noktalardan çekilmesi önerilmektedir. Burada dikkat edilecek nokta, orofislerin toplam alanlarının prop giriş alanına eşit olmasıdır. Propta soğutma yapılıyorsa, probun sıcaklığı 433K'in altında olmamalıdır. Probun yerleşimi sırasında, prop ile egzoz çıkışının radyal olarak merkezlerinin çakıştırılması gerekir. Uygun prop yerleşimi ve sistemin yerleşim planı Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Numune gaz nakil hattı-

nın iç çapı 4-8,5 mm arasında olmalıdır. Prop ile analizör arasında hat sıcaklığının yaklaşık 433 K olması gerekmektedir (SAE, 2011a).

Ölçüm sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar da SAE ARP1256 numaralı standartta listelenmiştir. Standarta göre kullanılacak olan tüm analizörlerin hassasiyet, sapma, doğruluk vb. özellikleri kaydedilir. Ayrıca filtreler temizlenmeli ve gerekiyorsa değiştirilmelidir. Numune taşıma sisteminin sıcaklığı kontrol edilmeli, standartta belirtilen sıcaklık aralığında olup olmadığı teyit edilmelidir. Prop bağlantı noktalarındaki kaçaqlar kontrol edilmeli ve gerek görülürse önlemler alınmalıdır. Bu kontrollerin tamamlanmasının ardından ölçüm öncesinde kaydedilmesi gereken veriler aşağıda listelenmiştir (SAE, 2011a):

- Tarih,
- Testin yapıldığı yer,
- Propun yerleşim bilgileri,
- Hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı ve yönü,
- Motorun üreticisi, modeli, seri numarası, durumu,
- Numune nakil hattı uzunluğu,
- Analizörlerin ayrı ayrı özellikleri (hassasiyet, doğruluk vb.)

Bu verilerin kaydedilmesinin ardından motor çalıştırılarak ölçüm alma işlemlerine başlanabilir. Ölçümler sırasında kaydedilmesi gereken veriler standartta şu şekilde belirtilmiştir (SAE, 2011a):

- Motor hızı,
- Ölçüm numarası,
- Yakıt tipi ve kimyasal bileşimi,
- Havanın motor girişindeki sıcaklığı ve nem değeri,
- Egzoz çıkış basıncı ve motor basınç oranı,
- Egzoz gazı bileşimindeki emisyon gazlarının değerleri

5.2. Verilerin Alınması

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir’de bulunan TEI Eskişehir Tesisleri’nde tasarımı ve üretimi yapılmakta olan tek kademeli, mikro ölçekli turbojet motorları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar, birim sorumluları ve uzmanlar eşliğinde TUSAŞ Motor Sanayi Eskişehir Tesisleri’nin bir bölümü olan açık hava motor test biriminde gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler öncesinde deneysel turbojet motoru, yetkili personel tarafından motor test ünitesine bağlanarak çalıştırmaya hazır hale getirilmiştir. Daha sonrasında ilgili personelle işbirliği içerisinde hazırlanan, oniki orifis ve toplayıcı parçadan oluşan prop, motorun egzoz çıkışına standartlara uygun biçimde yerleştirilerek sabitlenmiştir. Bunun paralelinde yetkili personel tarafından standartta belirlenen verilerin alınması amacıyla gerekli sensörler motora yerleştirilmiştir. TUSAŞ Motor Sanayi tarafından temin edilmiş olan analizör cihazının kurulumu yapılarak, prop analizöre bağlanmıştır. Analizörün özelliği olarak, veriler data kabloları aracılığı ile test biriminde bulunan ve test süreç takibi amacıyla kullanılan bilgisayara bağlanmıştır. Test sürecine geçmeden önce analizörlerin her birisi için skala genişlikleri, hata düzeltme faktörler, azotokist dönüştürücü verimi ve kurutucu verimi kayıt altına alınmıştır. Bu veriler deneysel yöntemlerle değil, üretici firmadan alınan bilgilere dayalı olarak belirlenmiştir.

Bu işlemlerin ardından çevresel veriler (hava sıcaklığı, nem, rüzgar hızı ve yönü) kaydedilmiştir. Daha sonrasında motor çalıştırılarak belirli aralıklarla motor devri sabitlenerek yeterli süre beklenmiş ve verilerin daha sağlıklı alınması sağlanmıştır. Motor tam güce ulaşana kadar çalıştırılmıştır. Tam güce ulaşan motor bir süre daha çalıştırılarak sağlıklı veri kaydı sağlandıktan sonra yetkili personel tarafından kapatılmıştır. Analizörden veri kabloları ile bilgisayara aktarılan emisyon ölçüm verileri, analizör cihazın kendi paket programı ile bilgisayara anlık olarak kaydedilmiştir. Kayıt altına alınan emisyon gazları; karbondioksit, karbonmonoksit, azotoksitler ve yanmamış hidrokarbonlardır. Benzer şekilde sensörler yardımıyla belirlenen havanın motor girişindeki sıcaklığı, basıncı ve nem değeri, egzoz çıkış basıncı, kompresör giriş ve çıkışındaki basınç değerlerine

bağlı olarak sıkıştırma oranı, yakıt debisi ve RPM cinsinden motor hızı anlık olarak kaydedilmiştir.

Bu işlemler, motorun değişik hava şartlarındaki performans değişimi göz önüne alınarak, farklı günlerde, farklı çevresel koşullarda yetkili personel gözetiminde tekrarlanmıştır. Farklı çevresel koşullarda tekrarlanan deneysel çalışma sayesinde değişen motor performansına ve yanma oluşumuna göre emisyon değerlerindeki değişim irdelenmiştir.

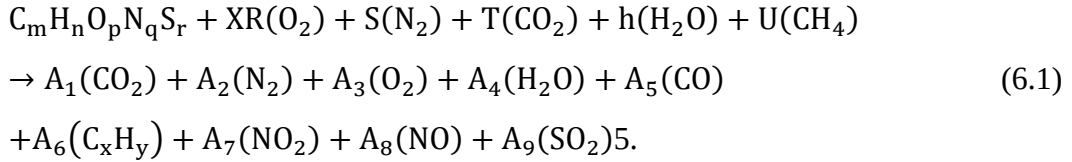
Periyodik olarak uzun zaman dilimi içerisinde tekrarlanan bu deneysel çalışma ile bir ölçüm prosedürü belirlenmiştir. Ayrıca soğuk ve sıcak hava koşullarında, motor performansının değişimine bağlı olarak emisyon değerlerindeki değişim gözlemlenebilmiştir. Önceki bölümlerde de açıklandığı üzere sıcaklığın düşüşü itki oluşumuna olumlu etki yapmaktadır. Daha iyi bir itkinin elde edilmesi, daha sağlıklı bir yanma elde edilmesi anlamına gelmektedir. Bu durum egzoz gazlarındaki yanmamış hidrokarbon oranının ve karbonmonoksit miktarının, soğuk hava koşullarında daha düşük olması ile deneysel olarak ortaya konulmuştur. Yürütülen tüm bu deneysel çalışmalar, TUSAŞ Motor Sanayi'nin izinleriyle yetkili personel ve uzmanlar nezaretinde gerçekleştirilmiştir.

SAE ARP1256 numaralı ilgili standarttaki ölçüm metodolojisi, yalnızca turbojet motorları için değil, diğer gaz türbinli uçak motorları için de geçerlidir. Başka bir deyişle aynı yöntem, turbofan, turboşaft ve turboprop motorlarına da uygulanarak emisyon verileri alınabilir (SAE, 2011a).

6. DENEYSEL BİR TURBOJET MOTORUNDAN ALINAN EMİSYON VERİLERİNE DAYALI OLARAK YANMA VERİMİNİN BELİRLENMESİ

6.1. Yöntem

Ölçümlerle elde edilen emisyon verilerini kullanarak yanma verimini hesaplayabilmek için temel yanma denkleminden yola çıkılmaktadır. Ürünlerin dağılımına bakılarak ve yakıtın bileşimi göz önünde bulundurarak yanma verimini hesaplayabiliriz (Kumar S. ve Ark., 2007). Bunun için temel yanma denkleminden yola çıkmamız gerekmektedir.



Yukarıda verilen denklemde A_n değerleri sırasıyla CO_2 , N_2 , O_2 , H_2O , CO , C_xH_y , NO_2 , NO ve SO_2 yanma ürünlerinin mol sayılarıdır.

Bu denklemin türetilmesi yoluyla her bir element için denklikler şu şekilde yazılır:

$$m + (T - U)X = A_1 + A_5 + xA_6 \quad (6.2.a)$$

$$n + (2h + 4U)X = 2A_4 + yA_6 \quad (6.2.b)$$

$$p + (2R + 2T + h)X = 2A_1 + 2A_3 + A_4 + A_5 + 2A_7 + A_8 + 2A_9 \quad (6.2.c)$$

$$q + 2SX = 2A_2 + A_7 + A_8 \quad (6.2.d)$$

$$r = A_9 \quad (6.2.e)$$

$$A_1 = A[CO_2]_w \quad (6.2.f)$$

$$A_5 = A[CO]_w \quad (6.2.g)$$

$$xA_6 = A[C_xH_y]_w \quad (6.2.h)$$

$$A_7 + A_8 = A[NO_x]_w \quad (6.2.i)$$

$$A_8 = A[NO]_w \quad (6.2.i)$$

$$A_4 = A[H_2O]_w \quad (6.2.j)$$

Ürünlerin toplam mol sayısı olan “A” şu şekilde hesaplanır:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 \quad (6.3)$$

Şu ana kadar yapılan işlemler, teorik yanma denklemine göre düzenlenmiştir. Pratikte ölçüm yapılırken kullanılan cihazların hata faktörleri ve düzeltme katsayıları da dikkate alınacak olursa kimyasal denklik denklemleri şu şekilde düzenlenebilir:

$$A_5 = A[CO]_{ms} + A_1 C_{CO_2 \rightarrow CO} + A_4 C_{H_2O \rightarrow CO} \quad (6.4)$$

$$A_7 + A_8 = A[NO_x]_{ms} + A_1 C_{CO_2 \rightarrow NO+NO_x} + A_4 C_{H_2O \rightarrow NO+NO_x} \quad (6.5)$$

$$A_8 = A[NO]_{ms} + A_1 C_{CO_2 \rightarrow CO} + A_4 C_{H_2O \rightarrow CO} \quad (6.6)$$

$$A_1 = A[CO_2]_{ms} + A_3 C_{O_2 \rightarrow CO_2} \quad (6.7)$$

$$A[NO_x]_{ms} = \eta A_7 + A_8 \quad (6.8)$$

$$h_{sd} = \frac{A_{4sd}}{A - A_4} \quad (6.9)$$

Elde edilen bu denklemler, matematiksel yöntem olarak matris oluşturularak çözülmesi uygun bulunmuştur. Bu denklemlerin çözümlenmesi sonucu elde edilecek değerlere bağlı olarak emisyon indeksleri hesaplanır. Herhangi bir element için emisyon indeksi şu şekilde ifade edilir (Kobayashi Y. ve Ark.):

$$EI_Z = 1000 \left(\frac{Z' \text{nin kütleli oranı}}{\text{Yakıtın kütleli oranı}} \right) = \frac{Z' \text{nin molar miktarı}}{\text{Yakıtın molar miktarı}} \cdot \frac{Z' \text{nin moleküler ağırlığı}}{\text{Yakıtın moleküler ağırlığı}} \cdot 1000 \quad (6.10)$$

Bu denklemden yola çıkarak karbonmonoksit ve hidrokarbonlar için emisyon indeksi ifadesi aşağıdaki gibidir (Kobayashi Y. ve Ark.):

$$EI_{CO} = \frac{A_5 \cdot 28,0104 \cdot 10^3}{m(12,011 + (1,008 \cdot (n/m)))} \quad (6.11)$$

$$EI_{C_xH_y} = \frac{x \cdot A_6 \cdot M_{C_xH_y} \cdot 10^3}{m(12,011 + (1,008 \cdot (n/m)))} \quad (6.12)$$

“ $M_{C_xH_y}$ ” burada yanmamış hidrokarbonların moleküler ağırlığını ifade etmektedir. Bu emisyon indekslerini kullanarak yazılan yanma verimi ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$\eta_b = 100 \left(1 - 4.346 \frac{EI_{CO}}{H_f} - \frac{EI_{C_xH_y}}{1000} \right) \quad (6.13)$$

$$\eta_b = 100 \left(1 - 10109 \frac{EI_{CO}}{H_f} - \frac{EI_{C_x H_y}}{1000} \right) \quad (6.14)$$

Burada H_f yakıtın ısıl değerini göstermektedir.

Bu yöntemin geliştirilmesi sırasında SAE (2011b) tarafından yayınlanan SAE ARP1533 numaralı standart temel alınmıştır. Bu standartta açıklanan analiz yönteminde iyileştirmeler yapılmıştır.

6.2. Verilerin Analizi

Açıklanan bu hesaplama yöntemine bağlı olarak, ölçülmüş olan emisyon verileri ve kaydedilen analizörlerin hata düzeltme faktörleri kullanılarak yanma veriminin belirlenmesi mümkündür. Fakat deneysel çalışmalar sırasında anlık veri toplanmasından dolayı çok sayıda veri grubu edinilmiştir. Bu kadar çok sayıda verinin analizi, el hesaplamalarıyla çok zaman alacağı ve yorucu olacağı için ilerleyen kısımlarda açıklanacak olan yazılıma temel oluşturan makrolu bir MS-Excel dosyası hazırlanmıştır. Şekil 6.1’de bu makrolu MS-Excel dosyasına ait bir ekran görüntüsü görülmektedir.

Visual Basic dilinde kodlanan makro, verilerin kayıtlı olduğu MS-Excel dosyasından gerekli değerleri okuyarak hazırlanan matematiksel modele uygun çalışmaktadır. Bu makrolu MS-Excel kullanılarak, alınan veri grupları bilgisayarın özelliklerine göre değişen bir zaman dilimi içerisinde otomatik olarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları, veri grubu numarasıyla eşleşecek şekilde verim değerlerini ekrana yansıtmıştır.

SAE ARP1533 makrolu - Microsoft Excel

Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm

Yazım Denetimi Araştır Eş Çevir Yeni Açıklama Sil Önceki Sonraki Tüm Açıklamaları Göster Mürekkep Göster Açıklamalar

Sayı Korumu Çalışma Kitabını Korumu Çalışma Kitabını Paylaş Kullanıcıların Aralıkları Düzenlemesine İzin Ver Değişiklikleri İzle

R38

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	X	MATRİS B
3	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5,5
4	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	16,9
5	0	2	0	2	1	1	0	2	1	2	0	0
6	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	2100	-1	0	0	-2100	0	0	0	0	0	0	0
9	5275	5	0	0	-5275	-1	0	0	0	0	0	0
10	10	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
11	185	0	0	0	-185	0	0	0	-1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
13	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
14												
15	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5,5
16	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	16,9
17	0	2	0	2	1	1	0	2	1	2	0	0
18	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	3410	-1	0	0	-3410	0	0	0	0	0	0	0
21	15537,5	5	0	0	-15537,5	-1	0	0	0	0	0	0
22	20	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
23	550	0	0	0	-550	0	0	0	-1	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
25	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
26												
27	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5,5
28	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	16,9
29	0	2	0	2	1	1	0	2	1	2	0	0
30	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
32	4920	-1	0	0	-4920	0	0	0	0	0	0	0
33	30800	5	0	0	-30800	-1	0	0	0	0	0	0
34	30	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
35	1095	0	0	0	-1095	0	0	0	-1	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
37	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

MATRİS A MATRİS A-1 MOL DEĞERLERİ İNDEKSLER SABİTLER OLCUMLAR

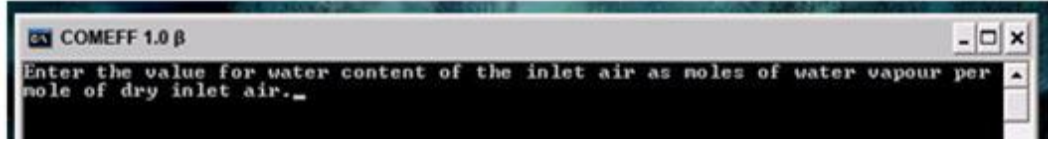
Hazır

Şekil 6.1. Emisyon verilerine dayalı olarak yanma veriminin belirlenmesi amacıyla hazırlanan ms-excel dosyasına ait ekran görüntüsü

7. COMEFF: YANMA VERİMİ HESAPLAMA YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında, bir önceki bölümde bahsedilen matematiksel model temel alınarak yanma veriminin belirlenmesi amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Yürütülen deneysel çalışmalar sırasında anlık veriler alınmasına bağlı olarak veri gruplarının el hesaplamaları ile analizi oldukça zorlu bir yoldur. Bu sorunu çözmeye yönelik olarak Matlab programlama dilinde COMEFF adı verilen yazılım geliştirilmiştir.

Yazılımın ilk versiyonunda kullanıcı dostu bir arayüz olmayıp, MS-DOS ekranı üzerinden kullanıcıya veri giriş izni verilmiştir. Emisyon datalarının kaydedildiği MS-Excel dosyası belirli bir isimle programa tanıtılmış olup, kullanıcının verileri bu isimle belli bir alana kullanıcı tarafından kaydetmesi zorunlu kılınmıştır. Fakat deneme kullanımları süresince yaşanan sıkıntılar, yazılımda geliştirme yapmaya zorlamıştır. Programın bu versiyonuna ait bir ekran görüntüsü Şekil 7.1’de gösterilmektedir.

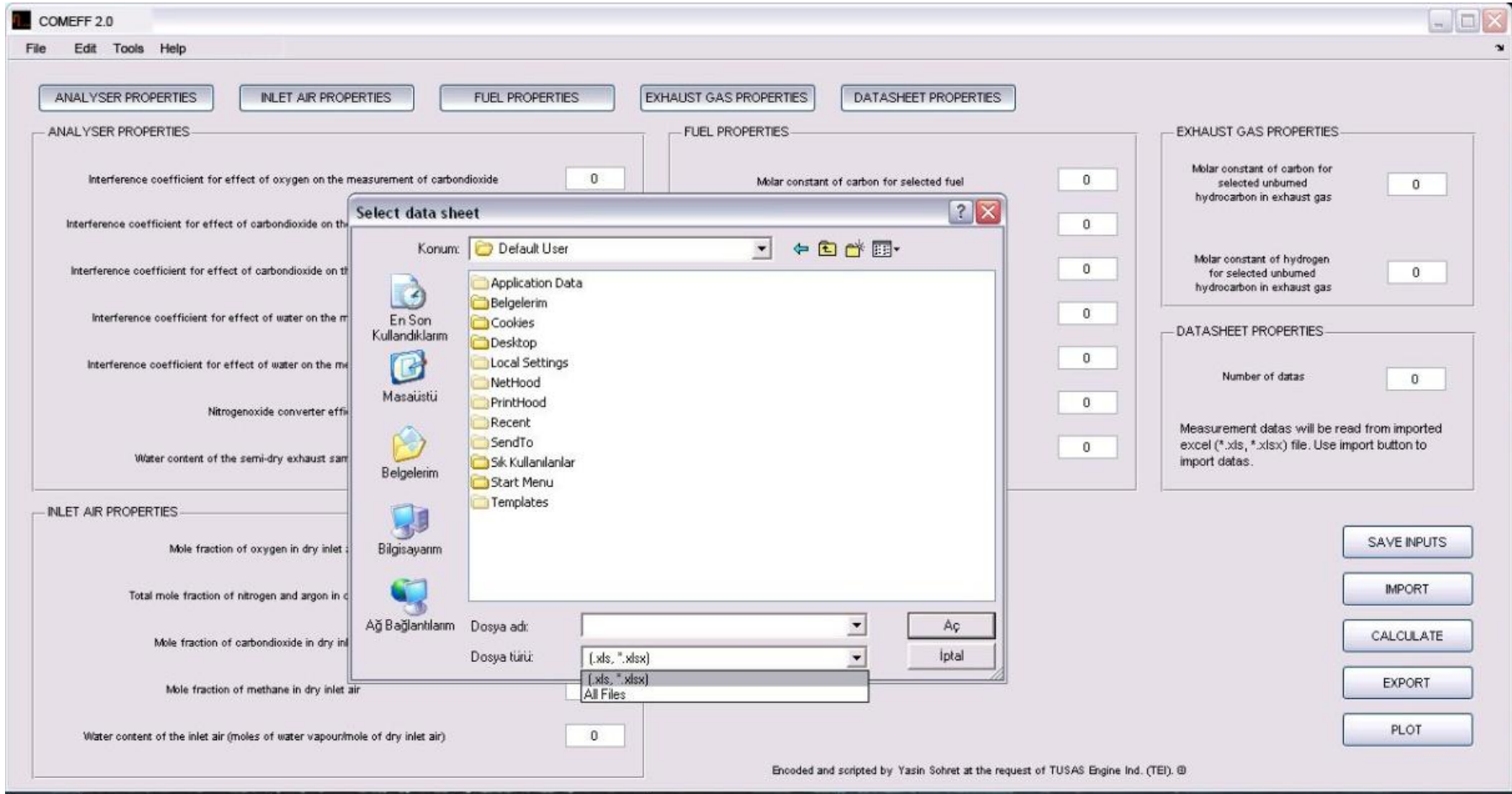


Şekil 7.1. COMEFF 1.0 β’ya ait ekran görüntüsü

Geliştirilen yeni versiyonda, kullanıcı dostu bir arayüz hazırlanmıştır. Matlab GUI aracılığıyla hazırlanan ara yüzde kullanıcının değerleri kutucuklara girmesi istenmiş, emisyon ölçüm verilerinin kayıtlı olduğu dosyanın yolunu göstermesi istenmiştir. Bölüm 6’da bahsedilen denklem gruplarıyla oluşturulan matrisi çözen ve ardından emisyon indekslerini hesaplayan program, her veri grubu için ayrı ayrı yanma verimini belirleyebilir düzeye ulaştırılmıştır. İkinci versiyonda hesapladığı yanma verimi sonuçlarını MS-Excel dosyası olarak çıktı veren program, yapılan pek çok deneysel çalışmada test edilmiştir.

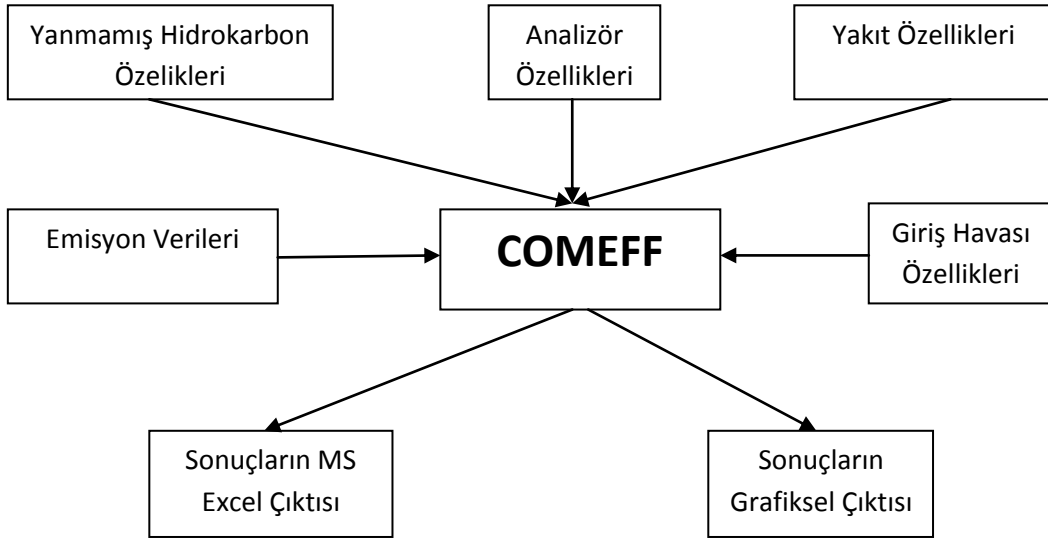
Bir sonraki aşamada kullanıcı arayüzüne eklenen yeni menü ve butonlar yardımıyla kullanıcının yanma verimi değerlerinin zamana bağlı değişimini ek-

randa görebilmesine imkan sağlanmıştır. Bunun yanı sıra kullanıcının istediği takdirde Verim-Zaman eğrisini .jpeg formatında bilgisayarına kaydedebilmesine imkan sağlanmıştır. Programın son haline ait ekran görüntüsü Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2. COMEFF 2.0'a ait ekran görüntüsü

COMEFF yazılımına ait akış şeması Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Kullanıcıdan; ölçümler sırasında kullanılan analizöre ait spesifikasyonlar, çevre şartları, yakıt özellikleri, egzoz gazında bulunan yanmamış hidrokarbonun kimyasal yapısı ve veri grubu sayısını girmesi istenmektedir. Analizöre ait özellikler kapsamında hata düzeltme faktörleri, dönüştürücü verimleri tanımlanmaktadır. Çevresel faktörler ise; nem değeri, sıcaklık ve havanın bileşimindeki gazların dağılımıdır. Kullanıcıdan yakıtın özellikleri kapsamında yakıtın molekül ağırlığını, kimyasal bileşimini tanımlaması istenmektedir. Kullanıcının gireceği veri grubu sayısı kadar döngüye girerek, program her veri grubu için yanma verimini hesaplamaktadır.



Şekil 7.3. COMEFF yazılımına ait akış şeması

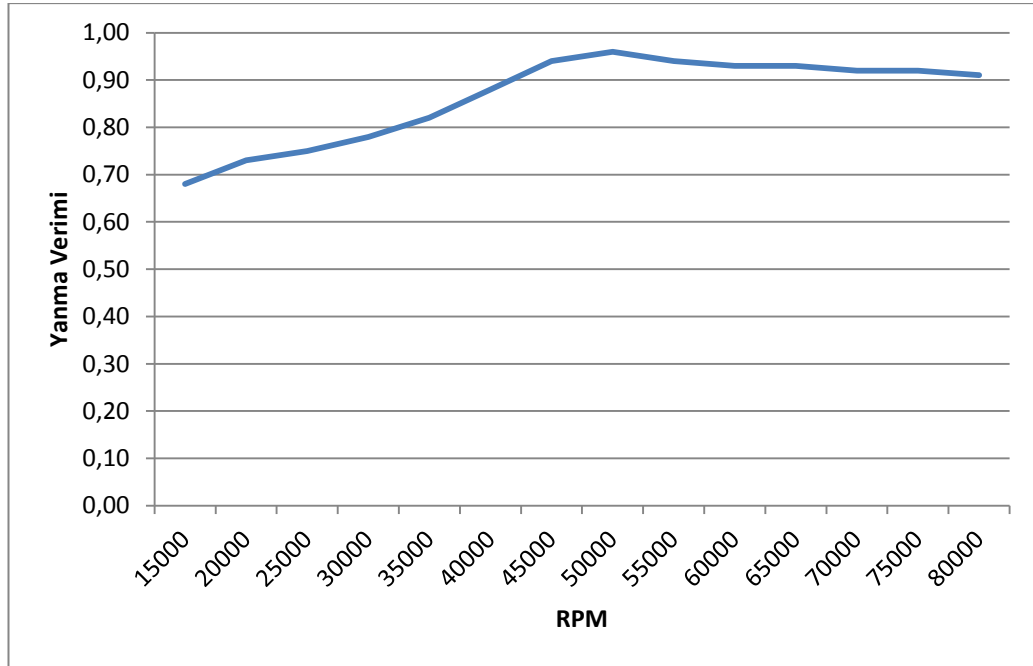
Tek bir veri grubu için yanma veriminin elle hesaplanması yaklaşık olarak yarım saat sürmektedir. COMEFF ile veri gruplarının çözdürülmesi ise ortalama olarak 3-8 dakika gibi sürede tamamlanmaktadır. Bu durum programın ne kadar büyük bir kolaylık sağladığı açıkça görülmektedir.

8. COMEFF YAZILIMI İLE ELDE EDİLEN SONUÇ ve GRAFİKLERİN YORUMLANMASI

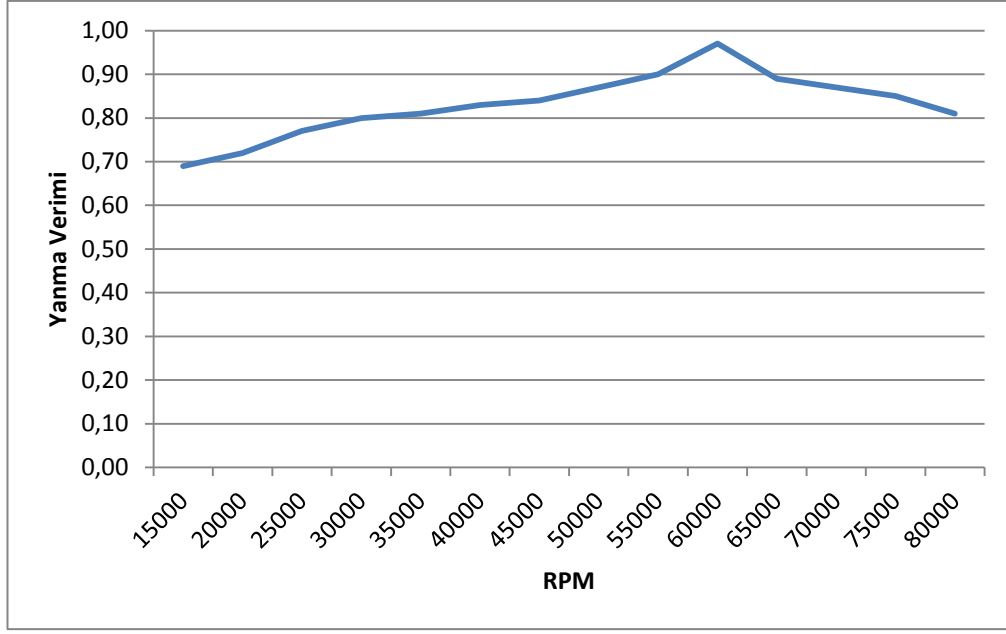
Bir önceki bölümde çalışma prensipleri ve kullanımı açıklanan COMEFF yazılımı ile yanma verimi eğrileri elde edilmiştir. Değişik koşullarda yapılan ölçümlerle farklı RPM-Yanma Verimi eğrileri elde edilmiştir.

Şekil 8.1’de görülen artan parabolik eğriden de anlaşılacağı üzere, verimdeki artış hızı diğer grafiklerdekine göre daha yavaştır. Bu verim eğrisi, yaz mevsim koşullarında (23 °C, 97 kPa) elde edilmiş verilere dayalı olarak çizdirilmiştir. Ortam havasının, yani motora alınan havanın sıcaklığının yüksek, basıncının düşük olmasına bağlı olarak motorun ulaşabildiği en yüksek verim de düşüktür.

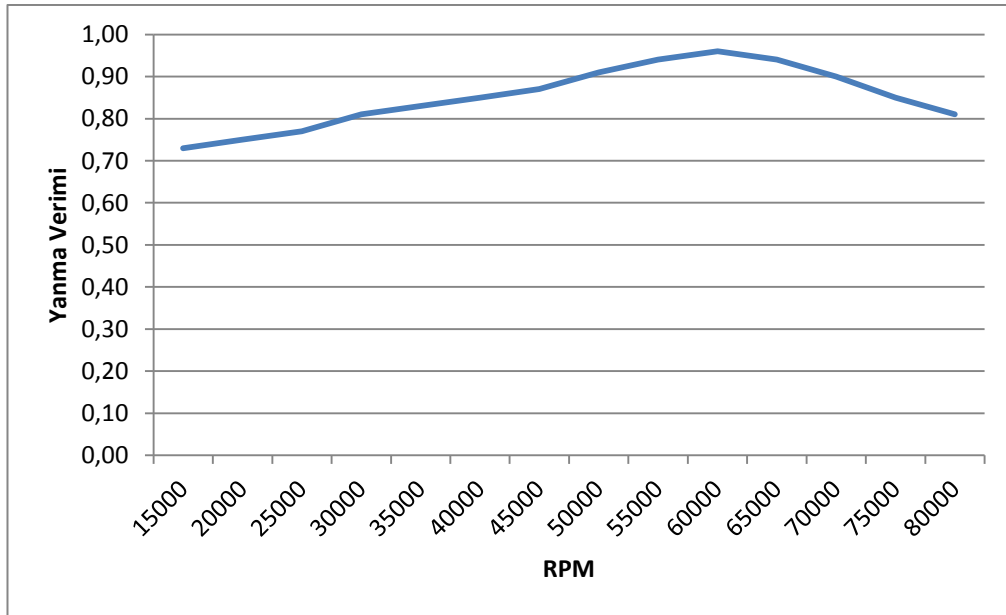
Uçak motor performanslarının düşük sıcaklıklarda daha iyi olduğu bilinmektedir. Bu durum, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3’ün Şekil 8.1 ile kıyaslanmasıyla anlaşılabilmektedir. İlk durumda ortam sıcaklığı, ikinci ve üçüncü duruma nazaran daha yüksektir.



Şekil 8.1. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-1



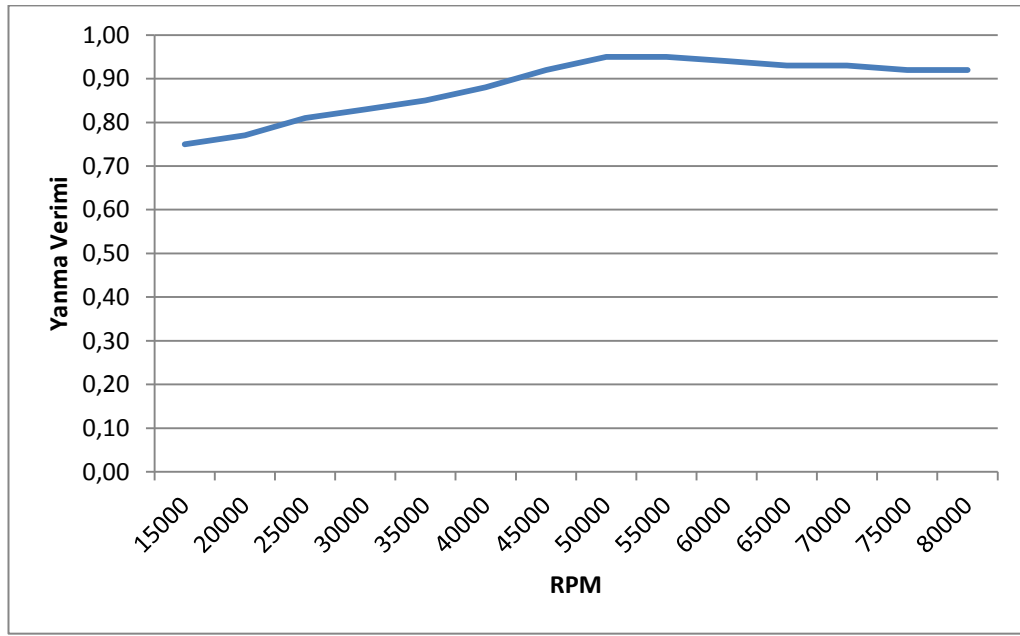
Şekil 8.2. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-2



Şekil 8.3. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-3

Elde edilen emisyon değerlerinin analiz sonuçlarına göre, bir turbojet motorunun yanma verimi tam güç durumunda yaklaşık olarak % 93-97 aralığındadır. Şüphesiz bu durum, motor ve yakıt tipinin değiştirilmesi durumunda değişim

gösterecektir. Bu çalışmada deneysel bir turbojet motoru ele alınmış olduğu için motor tipi değiştirilememiştir. Fakat ilk durumun ölçüm koşullarına yakın koşullarda yapılan ölçümde yakıt tipi değiştirilerek Şekil 8.4'te görülen eğri elde edilmiştir. Buradan da görüleceği üzere, karbon oranı düşük olan yakıt kullanılması durumunda motorun ulaşabileceği en yüksek yanma veriminde düşüş görülmüştür.



Şekil 8.4. COMEFF yazılımından alınmış RPM-Yanma Verimi grafiği-4

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, deneysel bir turbojet motorunun yanma veriminin belirlenmesine yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda güncel yayınlar ve standartlar baz alınarak bir yöntem ortaya konulmuştur. Geliştirilen yönteme bağlı olarak geliştirilen COMEFF yazılımı sayesinde deneysel çalışmalar sırasında alınan veriler analiz edilmiştir.

Ülkemizin kendi hava aracını yapmaya yönelik yürüttüğü çalışmalara katkısı olacağını düşünerek geliştirilen bu yöntem, yanma odası tasarımlarına yeni bir yaklaşım getirecektir. Yanma odası tasarım ve geliştirme süreci, teorik olmaktan çok deneysel olarak ilerlemektedir. Teorik tasarımda elde edilen yanma verimi ile motorun çalıştırılması halindeki yanma veriminin kıyaslanması açısından bu yöntem ve COMEFF yazılımı büyük katkılar sağlayacaktır.

Yürütülen bu çalışmada turbojet motorları ele alınmış olsa da geliştirilen bu ölçüm ve analiz metodolojisi ile COMEFF yazılımı diğer gaz türbinli motorlar için de geçerlidir. Başka bir deyişle önceki bölümlerde bahsedilen ve SAE ARP1256'ya dayalı ortaya konulan yöntem kullanılarak ölçülen emisyon değerlerine dayalı olarak COMEFF yazılımı üzerinden yanma verimi hesaplanabilmektedir.

COMEFF yazılımının ilerleyen zamanlarda yapılacak olan çalışmalar sayesinde çevresel etkileri inceleyebilir duruma getirilmesi mümkündür. Mevcut yazılım, bir gaz türbinli motorun yanma verimini belirleyecek ve bunu kullanıcıya grafiksel olarak sunabilir durumdadır. Yazılımın hesaplamış olduğu emisyon indekslerine ilaveten diğer parametrik emisyon indeksleri de hesaplaması durumunda çevresel etkiler kolaylıkla incelenebilecektir. Bu durum, çalışmanın sürdürülebilirliğinin ve yeni çalışmalara temel oluşturabileceğinin bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

- Acosta W. A., *Small Gas Turbine Combustor Experimental Study*, NASA Technical Memorandum, 1986.
- Andreas P., *Particle Emissions from aircraft Engines-A survey of the European Project PartEmis*, Meteorologische Zeitschrift Vol. 14, 2005.
- Blazowski W. S., *The Impact of JP-4/JP-8 Conversion on Aircraft Engine Exhaust Emissions*, US Air Force Aero Propulsion Laboratory, 1976.
- Çengel Y. A., Boles M. A., *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 5. Baskı*, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2008.
- Danjo K., Nishi A., Sawada T., *Transient Emissions of Pollutant Gases from a Small Gas Turbine*, Osaka Prefecture University, Japan, 1977.
- Foster T. J., *Measurement and Prediction of NO and NO₂ Emissions from Aero Engines*, RTO AVT Symposium, Portugal.
- Kaminaga A. And Others, *Analysis of Exhaust Gas in JT-60 Deuterium Operation*, 1998.
- Karakoç T. H., *GTMYs: Gaz Türbinli Motorların Yakıt Sistemleri*, Anadolu Üniversitesi Yayınları No. 984, 2008, Eskişehir.
- Kobayashi Y. And Others, *Analysis of Exhaust Gas in JT-60U Tokama Operation*.
- Kumar S., Maruta K., Minaev S., *Experimental Investigations on the Combustion Behaviour of Methane-Air Mixtures in a Micro-Scale Radia Combustor Configuration*, Journal of Micromechanics and Microengineering, 2007.
- Lefebvre A. H., *Gas Turbine Combustion: 2nd Edition*, Taylor & Francis, 1998.
- Makida M., Yamada H., Shimodaira K., *Detailed Investigation Developmental Process Of Full Annular Combustor For Small Aircraft Jet Engine*, 27th International Congress of the Aeronautical Sciences, 2010.
- Mattingly J. D., *Elements of Gas Turbine Propulsion*, McGraw-Hill Inc., Singapore, 1996.
- Naval Air Propulsion Test Center, *Study of Altitude and Mach Number Effects on Exhaust Gas Emissions of an Afterburning Turbofan Engine*, USA National Technical Information Service Publish, 1971.

- Romicki Z. M., Zurkowski S., *Special Probes for Measurement of Flow Parameters in a Gas-Turbine Engine*, Instute of Aviation Warsaw, Poland.
- Rypdal K., *Aircraft Emissions*, Norway.
- SAE, *SAE ARP1256: Procedure for the Continuous Sampling and Measurement of Gaseous Emissions from Aircraft Turbine Engines*, SAE Aerospace Recomend Practice, 2011.
- SAE, *SAE ARP1533: Procedure for the Analysis and Evaluation of Gaseous Emissions from Aircraft Engine*, SAE Aerospace Recomend Practice, 2011.
- Timnat Y. M., *Advanced Airbreathing Propulsion*, Krieger Publishing Company, 1996, Florida, USA.
- Tu Wen-Fu ve Ark., *An Analysis of Extinction Coefficients of Particles and Water Moisture in Stack after flue Gas Desulfurization at a Coal-Fired Power Plant*, Air & Waste Management Association, 2011.
- Visser J. H., Soltis R. E., *Automotive Exhaust Gas Sensing Systems*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement Vol. 50 No: 6, 2001.
- El-Sayed F. A., *Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines*, Taylor & Francis Group CRC Press, 2008, USA.

Ek: COMEFF Yazılımının Matlab Programlama Dilinde Kodları

```
function varargout =COMEFF_3(varargin)
%COMEFF_3 M-file forCOMEFF_3.fig
%   COMEFF_3, by itself, creates a newCOMEFF_3 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H =COMEFF_3 returns the handle to a newCOMEFF_3 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   COMEFF_3('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK inCOMEFF_3.M with the given input
%   arguments.
%
%   COMEFF_3('Property','Value',...) creates a newCOMEFF_3 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI beforeCOMEFF_3_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed toCOMEFF_3_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to helpCOMEFF_3

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Aug-2012 16:20:20

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
```

```

        'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
        'gui_OpeningFcn', @SAEARP1533_3_OpeningFcn, ...
        'gui_OutputFcn', @SAEARP1533_3_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [] , ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before COMEFF_3 is made visible.
function COMEFF_3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to COMEFF_3 (see VARARGIN)


% Choose default command line output for COMEFF_3
handles.output = hObject;


% Update handles structure
guidata(hObject, handles);


% UIWAIT makes COMEFF_3 wait for user response (see UIRESUME)

```

```

% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout =COMEFF_3_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;


function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```



```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit15_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit15 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit15 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit15_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16 as a double

```



```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit17 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit18 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in togglebutton1.
function togglebutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to togglebutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton1
wantanalyserbutton=get(hObject,'Value')
if wantanalyserbutton
    set(handles.uipanel1, 'visible', 'on')
else
    set(handles.uipanel1, 'visible', 'off')
end

% --- Executes on button press in togglebutton2.
function togglebutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton2
wantairbutton=get(hObject,'Value')
if wantairbutton
    set(handles.uipanel2, 'visible', 'on')
else
    set(handles.uipanel2, 'visible', 'off')
end

% --- Executes on button press in togglebutton3.
function togglebutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton3
wantfuelbutton=get(hObject,'Value')
if wantfuelbutton
    set(handles.uipanel3, 'visible', 'on')
else
    set(handles.uipanel3, 'visible', 'off')
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Loading data file
[file path] = uigetfile('.xls; *.xlsx','Select data sheet');
Data = xlsread([path '/' file]);

% Handling data file
handles.Data = Data;

% Data file is now in the handles structure and stored.
guidata(hObject, handles);
%Guidata updated.
%To call data file for another callback, use command: ---data = handles.data;---

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

%col.1: CO, col.2: CO2, col.3: NO, col.4: NOx, col.5: Cxhy, col.6: rpm
%CO=Data(Row,Coloumn);

Data=handles.Data
i=2;
while i<w+1
    CO=Data(i,1);
    CO2=Data(i,2);
    NO=Data(i,3);
    NOx=Data(i,4);
    CxHy=Data(i,5);

    %Defining System Matrix A
A=[0 1 0 0 0 1 x 0 0 0 (-T-U);
    0 0 0 0 2 0 y 0 0 0 (-2*h-4*U);
    0 2 0 2 1 1 0 2 1 2 (-2*R-2*T-h);
    0 0 2 0 0 0 0 1 1 0 (-2*S);
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 ;
    ((1+h_sd)*CO2) -1 0 (J*CO2) ((-1-h_sd)*(CO2)) 0 0 0 0 0 0 ;
    ((1+h_sd)*CO+(h_sd*M)) L 0 0 ((-1-h_sd)*CO-(h_sd*M)) -1 0 0 0 0 0 ;
    CxHy 0 0 0 0 0 0 -x 0 0 0 0 ;
    ((1+(h_sd)*(1+M_ussu))*NOx) (L_ussu*NOx) 0 0 ((1+(h_sd)*(1+M_ussu))*-
1*NOx) 0 0 -etha -1 0 0;
    ((1+(h_sd)*(1+M_ussu))*NO) (L_ussu*NO) 0 0 ((1+(h_sd)*(1+M_ussu))*-
1*NO) 0 0 0 -1 0 0;
    -1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 ]

%Defining Matrix B
B=[m;n;p;q;r;0;0;0;0;0;0]

```

```

%Defining Solution Matrix C
C=inv(A)*B
Pt=C(1,1);
P1=C(2,1);
P2=C(3,1);
P3=C(4,1);
P4=C(5,1);
P5=C(6,1);
P6=C(7,1);
P7=C(8,1);
P8=C(9,1);
P9=C(10,1);
X=C(11,1);

%Calculation of emission indexes
EI_CO=(P5*M_CO*10^3)/(m*(M_C+alfa*M_H))
EI_NO=(P8*M_NO2*10^3)/(m*(M_C+alfa*M_H));
EI_NOx=((P7+P8)*M_NO2*10^3)/(m*(M_C+alfa*M_H));
EI_CxHy=(x*P6*M_CxHy*10^3)/(m*(M_C+alfa*M_H));

%Calculation of combustion efficiency
etha_b(i)=(1-10109*(EI_CO/H_c)-(EI_CxHy/1000))*100; %Defining Axis Y for
plotting
RPM(i)=Data(i,6) %Defining Axis X for plotting
i=i+1;

Result={'RPM','?';etha_b(i),RPM(i)};
Data1= xlswrite('combustionresult.xls',Result,'RPM-?',A1)
handles.Data1=Data1
warning off MATLAB:xlswrite:AddSheet
end

```

```
% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% -----
function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% -----
function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----

function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Untitled_4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)


function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)


% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit19 as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called


% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```



```

% --- Executes on button press in togglebutton4.
function togglebutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton4
wantexhaustbutton=get(hObject,'Value')
if wantexhaustbutton
    set(handles.uipanel4, 'visible', 'on')
else
    set(handles.uipanel4, 'visible', 'off')
end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit20 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit21 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit21 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function picture_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to picture (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate picture
axes(hObject)
imshow('C:\Documents and Settings\YSOHRET\Desktop\MatLab\SAE\etha.jpg')
```

```
% -----
function Help_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Help (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% -----
function About_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to About (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
%ANALYSER PROPERTIES
```

```
J=findobj(gcf,'Tag','Edit1')
J=str2double(J);
handles.J=J
guidata(hObject, handles);
```

```
L=findobj(gcf,'Tag','Edit2')
L=str2double(L);
handles.L=L
guidata(hObject, handles);
```

```
L_ussu=findobj(gcf,'Tag','Edit3')
L_ussu=str2double(L_ussu);
handles.L_ussu=L_ussu
guidata(hObject, handles);
```

```
M_ussu=findobj(gcf,'Tag','Edit4')
M_ussu=str2double(M_ussu);
handles.M_ussu=M_ussu
guidata(hObject, handles);
```

```
M=findobj(gcf,'Tag','Edit5')
M=str2double(M);
handles.M=M
guidata(hObject, handles);
```

```
etha=findobj(gcf,'Tag','Edit6')
etha=str2double(etha);
handles.etha=etha
guidata(hObject, handles);
```

```
h_sd=findobj(gcf,'Tag','Edit7')
h_sd=str2double(h_sd);
```

```

handles.h_sd=h_sd
guidata(hObject, handles);

%INLET AIR PROPERTIES
R=findobj(gcf,'Tag','Edit8')
R=str2double(R);
handles.R=R
guidata(hObject, handles);

S=findobj(gcf,'Tag','Edit9')
S=str2double(S);
handles.S=S
guidata(hObject, handles);

T=findobj(gcf,'Tag','Edit10')
T=str2double(T);
handles.T=T
guidata(hObject, handles);

U=findobj(gcf,'Tag','Edit11')
U=str2double(U);
handles.U=U
guidata(hObject, handles);

h=findobj(gcf,'Tag','Edit12')
h=str2double(h);
handles.h=h
guidata(hObject, handles);

%FUEL PROPERTIES
m=findobj(gcf,'Tag','Edit13')
m=str2double(m);

```

```
handles.m=m  
guidata(hObject, handles);
```

```
n=findobj(gcf,'Tag','Edit14')  
n=str2double(n);  
handles.n=n  
guidata(hObject, handles);
```

```
p=findobj(gcf,'Tag','Edit15')  
p=str2double(p);  
handles.p=p  
guidata(hObject, handles);
```

```
q=findobj(gcf,'Tag','Edit16')  
q=str2double(q);  
handles.q=q  
guidata(hObject, handles);
```

```
r=findobj(gcf,'Tag','Edit17')  
r=str2double(r);  
handles.r=r  
guidata(hObject, handles);
```

```
M_CxHy=findobj(gcf,'Tag','Edit18')  
M_CxHy=str2double(M_CxHy);  
handles.M_CxHy=M_CxHy  
guidata(hObject, handles);
```

```
H_c=findobj(gcf,'Tag','Edit19')  
H_c=str2double(H_c);  
handles.H_c=H_c  
guidata(hObject, handles);
```

```
%EXHAUST GAS PROPERTIES
```

```
x=findobj(gcf,'Tag','Edit20')
```

```
x=str2double(x);
```

```
handles.x=x
```

```
guidata(hObject, handles);
```

```
y=findobj(gcf,'Tag','Edit21')
```

```
y=str2double(y);
```

```
handles.y=y
```

```
guidata(hObject, handles);
```

```
%DATASHEET PROPERTIES
```

```
w=findobj(gcf,'Tag','Edit22')
```

```
w=str2double(w);
```

```
handles.w=w
```

```
guidata(hObject, handles);
```

```
%To call variable value for another callback, use command: ---Variable =  
handles.Variable;---
```

```
function edit22_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit22 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit22 as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit22 as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit22_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit22 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in togglebutton5.
function togglebutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to togglebutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of togglebutton5

wantdatabutton=get(hObject,'Value')
if wantdatabutton
    set(handles.uipanel6, 'visible', 'on')
else
    set(handles.uipanel6, 'visible', 'off')
end

```