



T.C. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI; NO. 984  
SİVİL HAVACILIK YÜKSEKOKULU YAYINLARI; NO. 6

# GTMYS

## Gaz Türbinli Motorların Yakıt Sistemleri

Prof. Dr. T.Hikmet KARAKOÇ

T.C.  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ  
SİVİL HAVACILIK YÜKSEKOKULU  
Kitap No: 050344  
Tarih: 05.03.2008

Eskişehir, 2008

## 4. YANMA ODALARI

### 4.1 Giriş

Son kırk yıldır, uçak gaz türbinli yanma odalarında sürekli olarak gelişmeler kaydedilmektedir. Gerçekte çoğu yanma odası şimdilerde dış görünüş, şekil, boyut bakımlarından dışarıdan bakılınca farklı görünmeyecek şekilde birbirine benzemektedir. Birbirine benzer çoğu yanma odası ailesinin temel geometrisi gerçekte, çoğunlukla yanma odasının boyuyla ve ön tarafındaki diğer komponentlerin yerleşimiyle sınırlıdır. Buna rağmen çalışma koşulları, yüksek basınç, sıcaklık ve o anki giriş hızı, yanma odasının performansına ve verimliliğine etki etmektedir.

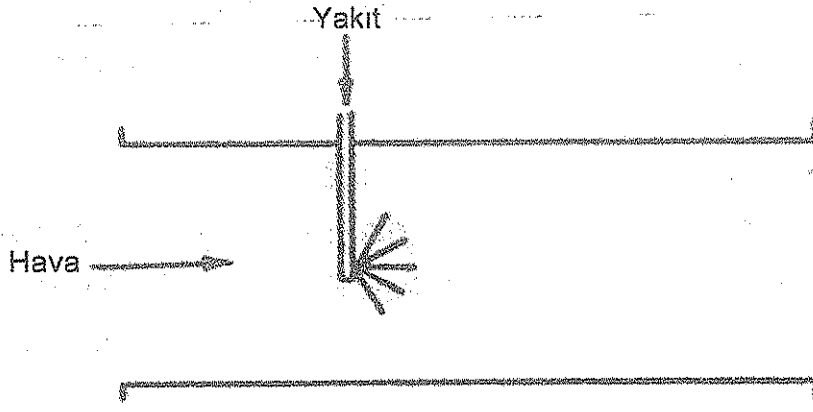
Yeni tasarımlar eskilere dizaynlara göre gerçeğe daha yakındır. Yapılan araştırmalar; yeni teknolojiler kullanarak, yakıtın daha verimli kullanılmasını ve kirliliğin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu çalışmalar ayrıca, daha hafif ve daha dayanıklı üretimi de hedeflemektedir.

Yanma odasının boyut ve ağırlığının azaltılması sürekli olarak en önemli beklentilerden birisidir. 1960'lardan beri yapılan çalışmalar, çalışma sıcaklıklarının azaltılması, soğutma ve ısıya dayanıklı malzeme biliminin gelişmesi ile ilgilidir. İstenilen performans ihtiyaçları, yüksek tepki/ağırlık oranı ve düşük özgül yakıt tüketimi; yüksek türbin giriş sıcaklığını, türbin giriş dizayn sıcaklık profiline yaklaştıracaktır. Bu araştırmalar, soğutma ve malzeme kaplama tekniklerinin gelişmesine temel teşkil etmiştir.

## 4.2 Temel Tasarım Özellikleri

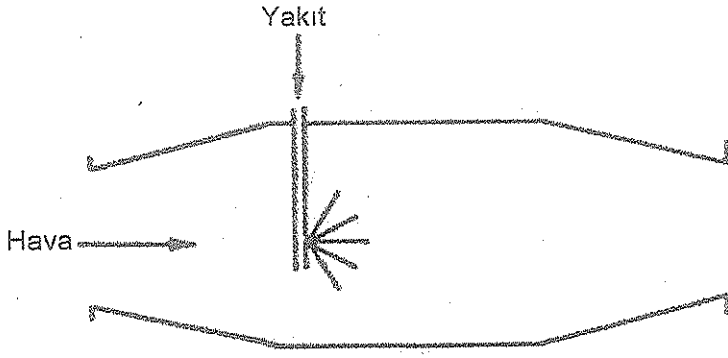
Temel tasarım özellikleri; yanma odasının ana fonksiyonlarını yerine getiren komponentlerin tanımlanmasına ve performansların en iyi bir şekilde karşılanması için temel geometrinin belirlenmesine yardımcı olur.

Şekil 4.1'de yanma odasının düz bir duvarla kompresör girişine mümkün olan en basit bağlantısı görülmektedir. Bu tür bir tasarım yüksek basınç kaybına neden olacağı için mümkün değildir.



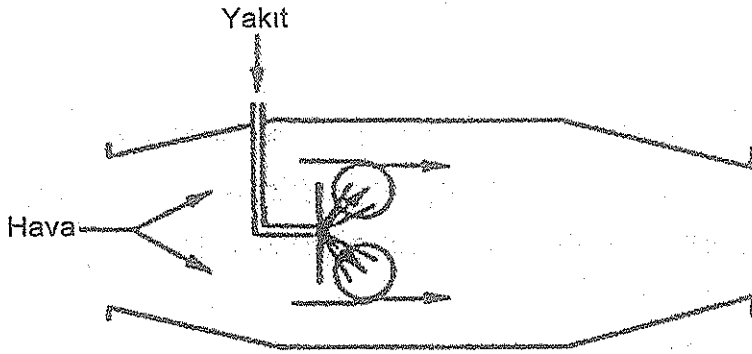
Şekil 4.1: Yanma Odasının Gelişimi – 1

Yanma odasındaki basınç kaybı hava hızının karesiyle orantılıdır. 150 m/sn civarında kompresör çıkış hızı için bu kayıp kompresörün oluşturduğu basıncın 1/4'ü civarında olacaktır. Bu basınç kaybını kabul edilebilir seviyeye azaltmak için Şekil 4.2'de gösterilen bir difüzör kullanılır.



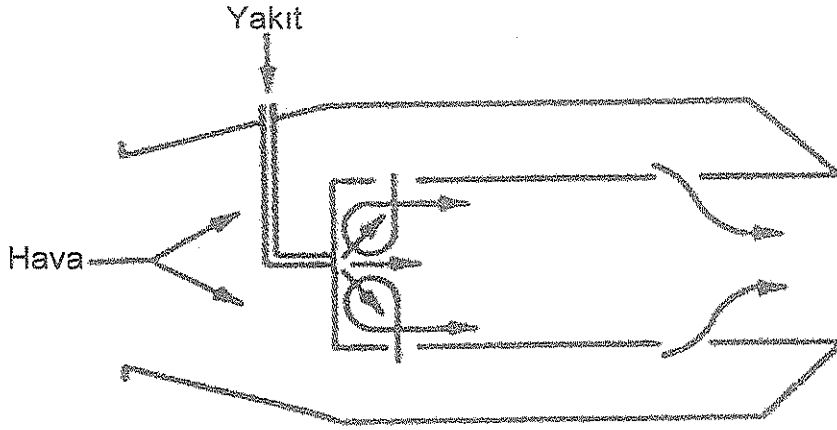
**Şekil 4.2 Yanma Odasının Gelişimi – 2 (Difüzör Kullanımı)**

Her ne kadar difüzör kullanılsa bile düşük sıcaklıklı bölgede alevin merkezlenmesini sağlamak için akış çevirmesi sağlanmalıdır. Şekil 4.3'te bu işlemin düz bir metal plaka ile nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



**Şekil 4.3: Yanma Odasının Gelişimi – 3 (Alev Merkezlenmesinin Sağlanması)**

Sadece bu düzenlemeden oluşan sapma istenilen sıcaklık yükselmesini sağlamak için yanma odasındaki yakıt hava oranının 50 civarında olmasını gerektirmektedir. Oysa bu oran hava hidrokarbon karışımının yanma limiti dışındadır. Bu problemin çözümü için basit bir merkezleyici plaka Şekil 4.4'teki gibi kullanılır.



**Şekil 4.4: Yanma Odalarının Gelişimi – 4 (Merkezleyici Plaka Kullanımı)**

Bu merkezleyicinin ana görevi, alevi merkezlerken aynı zamanda iç bölgede yanma için karışımın yeterli oranda tutulmasını sağlamaktır.

Yanma odası tipinin seçimini motor spesifikasyonu belirleyecektir. Büyük uçak motorlarının yanma odaları genellikle akış doğrultusu sabit ve yanma odası eksenine paraleldir.

Küçük uçak motorları ise daha ufak ve geri akışlı olmasıyla kompresör ve türbin arası mesafenin azaltılmasına olanak sağlar.

#### 4.3 Yanma Odasının İhtiyaçları

Gaz türbin yanma odası ihtiyaçları motor tiplerine göre oldukça değişiklik göstermesine rağmen temelde aşağıdaki gibi listenebilir.

- 1- Yüksek yanma oranı (diğer bir ifadeyle yakıtın tamamının yanıp, kimyasal enerjiye dönüşme oranı)
- 2- Güvenilirlik ve düzgün yanma (özellikle çok düşük statik hava sıcaklıklarında)
- 3- Düşük basınç kaybı.
- 4- Çıkış sıcaklık dağılımı ile türbin palelerinin ve lüle yönlendirme palelerinin ömrünün maksimize edilmesi.
- 5- Düşük duman yayılması ve çevre için iyi yanma.
- 6- Düşük maliyet ve kolay bakım için dizayn.
- 7- Motor yerleşimi için boyut ve şekil kolaylığı.
- 8- Dayanıklılık.
- 9- Çok çeşitli yakıtla beslenebilmesi.

#### 4.4 Yanma Odasının Bölümleri

Yanma odası temelde üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla:

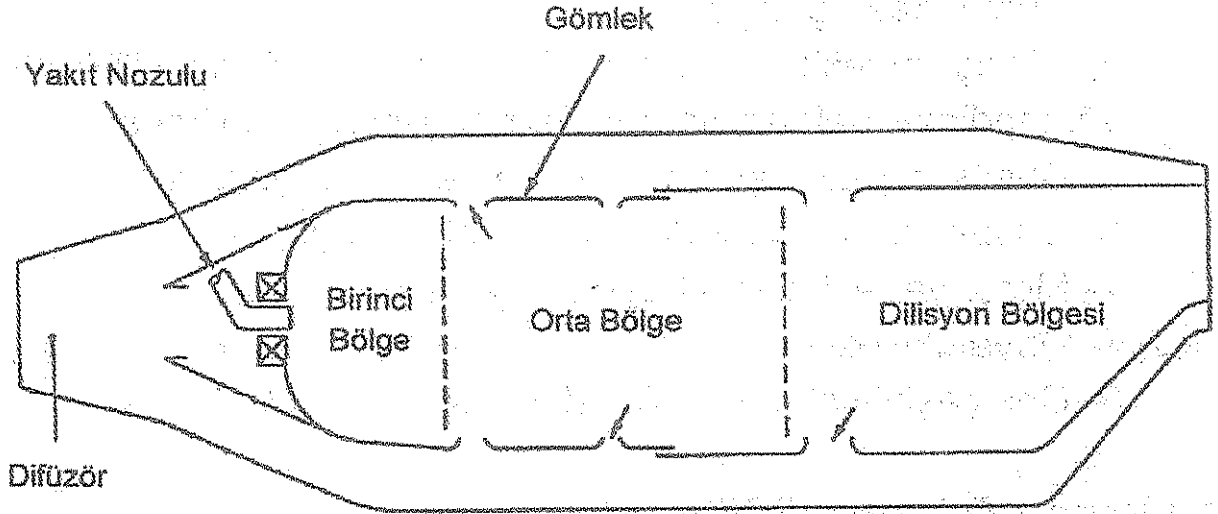
- a- İlk bölge
- b- Orta bölge
- c- Üçüncü bölge (Dilasyon bölgesi)

Şekil 4.5'de yanma odasının bölümleri şematik olarak gösterilmiştir.

##### 4.4.1 İlk Bölge

İlk bölgenin fonksiyonu alevi düzenlemek ve yakıtın tamamen yanmasını sağlamak için gerekli türbülans, sıcaklık ve zamanı temin etmektir.

Büyük miktardaki sirkülasyon az sayıdaki büyük jetlerin kullanılmasıyla elde edilir. Bu sistem ile taze karışım oluşumu ve yanma yavaşça gerçekleşir.



**Şekil 4.5: Yanma Odasının Bölümleri**

Küçük miktardaki sirkülasyon çok sayıdaki küçük jetlerin kullanılmasıyla elde edilir.

Eğer büyük yanma odalarından yüksek ısı çıkışı bekleniyorsa bunun için çok sayıdaki küçük hava sirkülasyon bölgeleri yaratmak ve buna karşılık gelecek çok sayıda yakıt enjeksiyon noktaları koymak gerekir.

#### **4.4.2 Orta Bölge**

Orta bölgenin yerine getireceği fonksiyon için uygun uzunlukta bir yer tahsis edilmelidir. İlk bölgedeki 2200 ve 2400 K sıcaklıklarında yakıtın yanması tamamen gerçekleşse bile  $\text{CO}_2$ 'nin CO ve  $\text{O}_2$  olarak ayrışması gerçekleşir. Küçük miktarda bir hava eklenmesi ile sıcaklığın uygun bir seviyeye düşürülmesi

CO'nun ve kısmen yanmış ürünlerin tamamen yanmasını sağlayabilir.

Yüksek irtifalarda ilk bölgedeki reaksiyon; hava ve yakıtın düşük konsantrasyonlarından dolayı yavaştır ve yanma ilk bölge çıkışında tamamen gerçekleşmez. Bu durumda orta bölge ilk bölgenin uzantısı gibi kalır. Orta bölgenin boyu gaz akışıyla havanın karışması için gerekli minimum boy ile yanma reaksiyonunun tamamlanması için gerekli minimum zaman göz önüne alınarak belirlenir.

#### 4.4.3 Dilisyon Bölgesi (Üçüncü bölge)

Bu bölgenin rolü yanmadan arta kalan havayı almak, çeper soğutma ihtiyaçlarını karşılamak, ortalama bir sıcaklık ile çıkış akımı ve türbin için uygun sıcaklık dağılımını sağlamaktır. Dilisyon havası gömlek çeperindeki bir veya daha fazla kanal arasından geçirilir. Bu kanalların şekilleri ve boyutları hava jetlerinin yetirince nüfuz etmesi ve onların ana akım ile karışmasını optimize edecek şekilde seçilir.

Dilisyon için mevcut hava miktarı yanma odasının toplam hava akışının %20 - %40'ı kadardır.

#### 4.5 Yanma Odalarının Tarihsel Gelişimi

Şekil 4.6 referans alınarak gaz türbinli yanma odalarının biçim ve konfigürasyonlarının çeşitleri hakkında fikir edinilebilir.

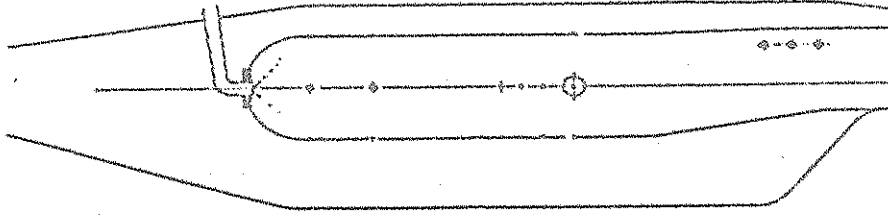
Bu şekil gaz türbin yanma odasının tasarımındaki çok önceki denemelerin bazılarını göstermektedir. İyi bir karıştırmanın önemi çok önceki basamaklarda anlaşılmıştır.



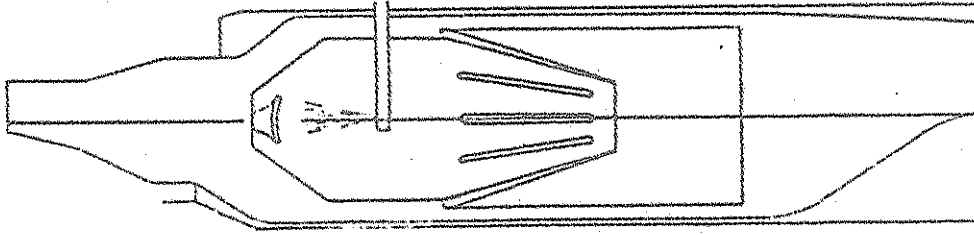
Jumo 004'ün önemli bir özelliği yakıt enjekte edilme sisteminde upstream kullanımıdır. Bu sistem diğer motorlara da adapte edilmiştir. Upstream, yakıt enjektesinde ana avantaj yanma odası bölgesinde yakıtın daha uzun süre beklemesidir.

Şekil 4.7'de gösterilen Pratt & Whitney'de her gömlek için 8 atomizer her motor için 6 gömlek bulunmaktadır. Bristol Siddeley'de yuvarlak buharlaştırıcı bulunmaktadır. Rover otomotiv ise Lucas silindirlik konseptini geliştirilmiştir.

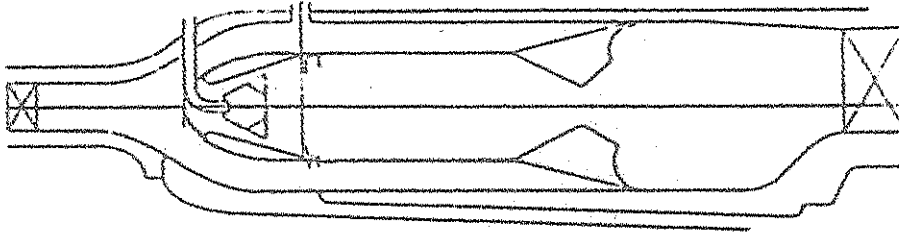
Şekil 4.8 ve 4.9'daki yanma odaları ise şimdiki yanma odalarının temsilcileridir. General Electric CF6-50, Pratt & Whitney F101 ve RollsRoyce RB211 sistemlerinde hava püskürtme atomizasyonu kullanılır.



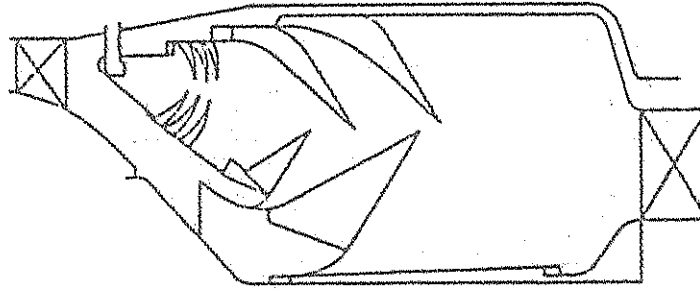
(a)



(b)



(c)



(d)

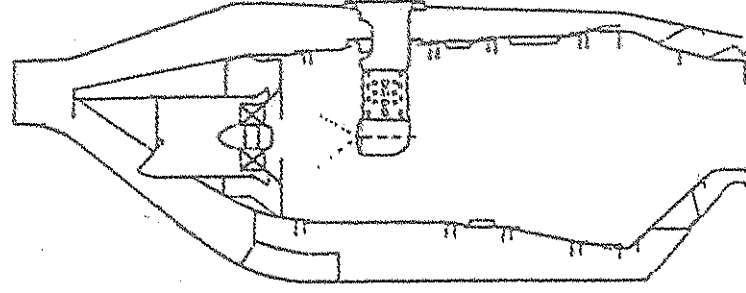
(a) Mikulin M-209

(b) Jumo 004

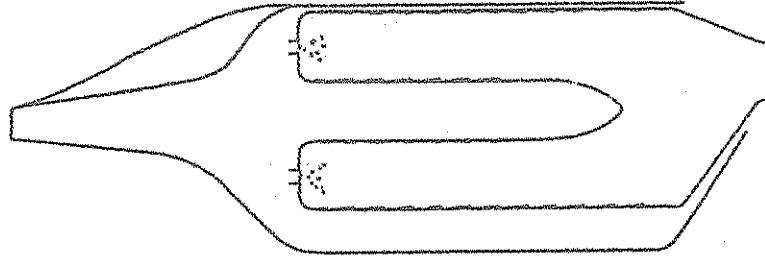
(c) BMW 003

(d) Heinkel-Hirth

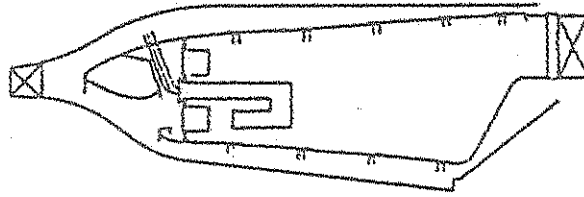
Şekil 4.6: Çeşitli Yanma Odası Tasarımları – 1



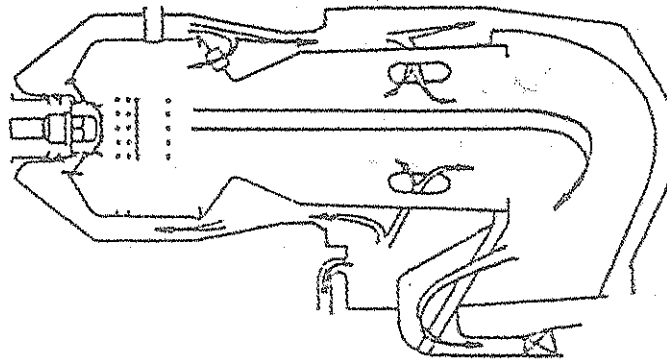
(a)



(b)



(c)

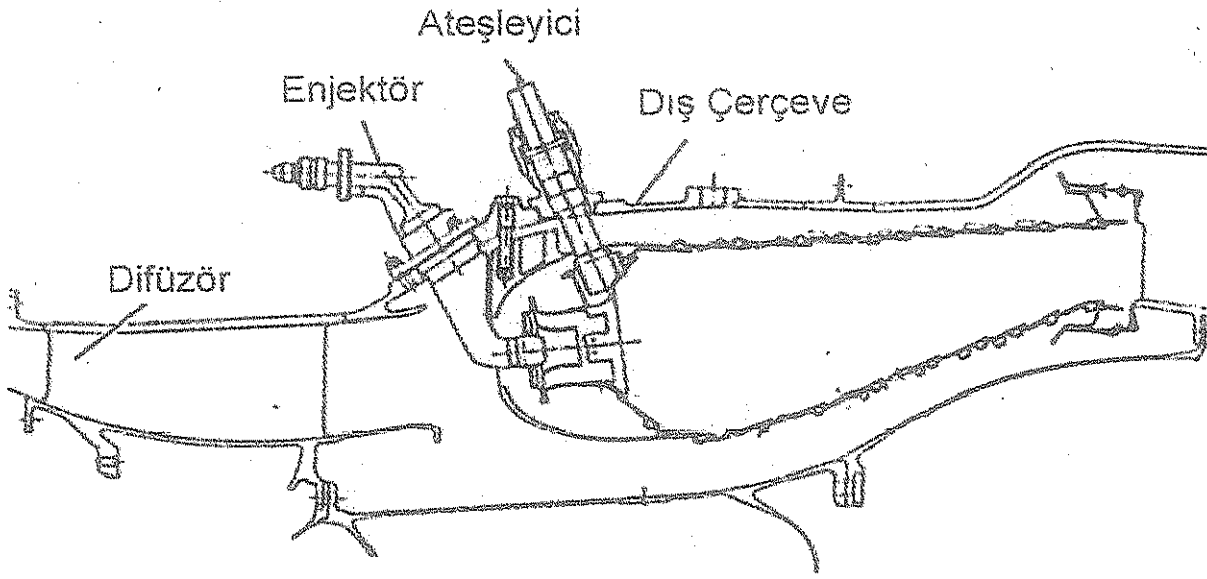


(d)

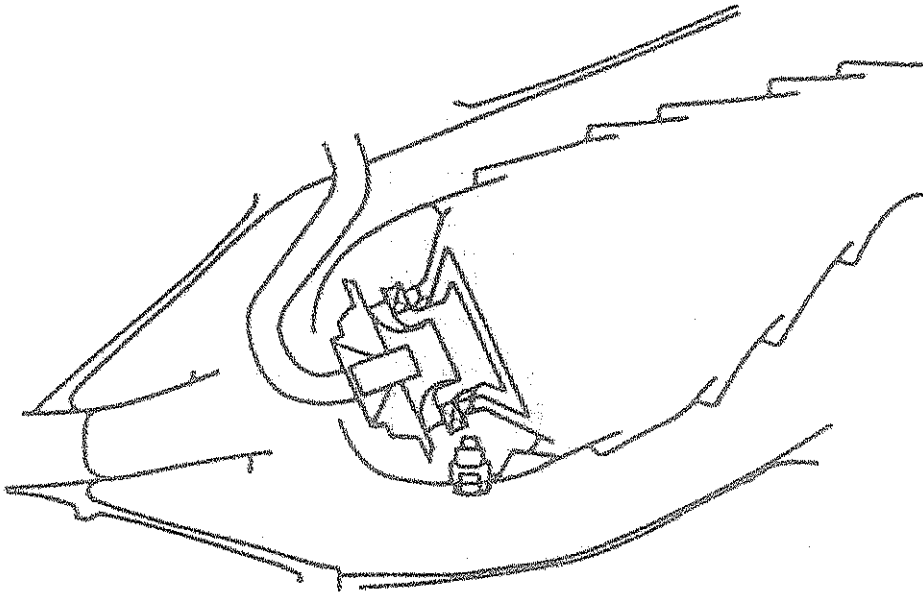
(a) Bristol-Siddeley  
(c) Bristol-Siddeley  
(Buharlaştırıcı)

(b) Pratt and Whitney J-57  
(d) Rover TP 90.1

Şekil 4.7: Çeşitli Yanma Odası Tasarımları – 2

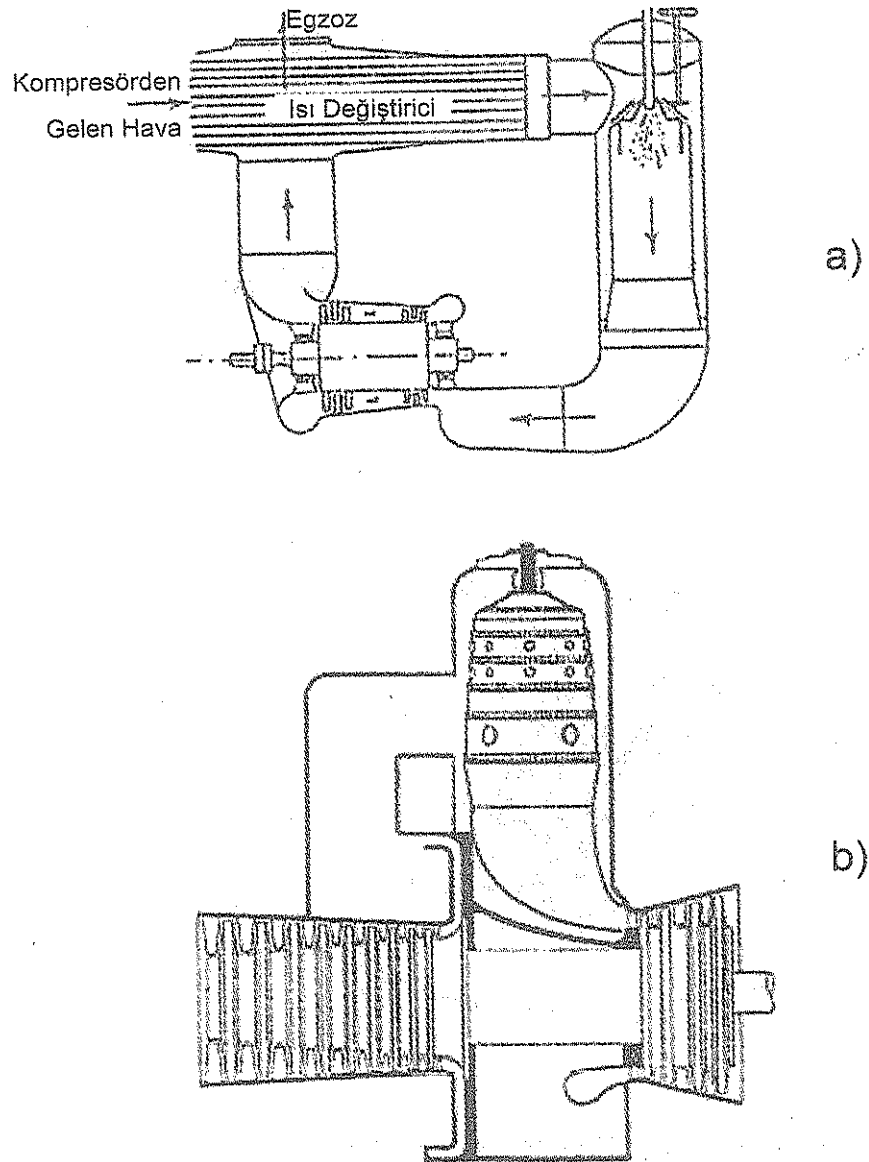


Şekil 4.8: CF6-50 Halka Tip Yanma Odası

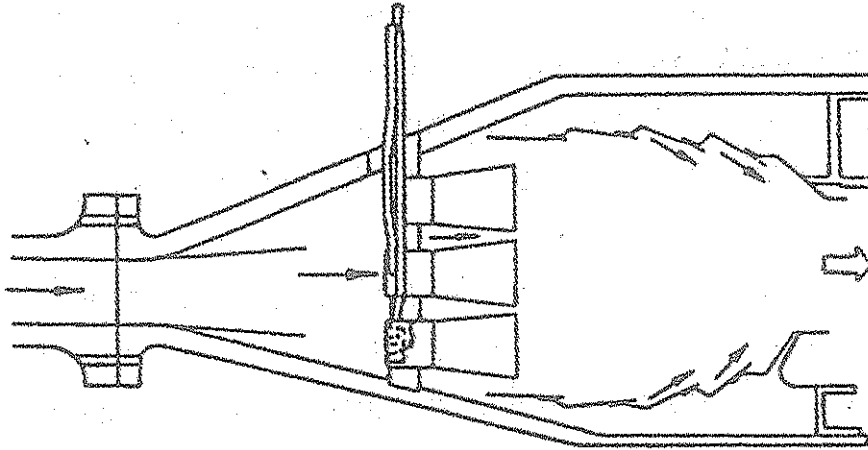
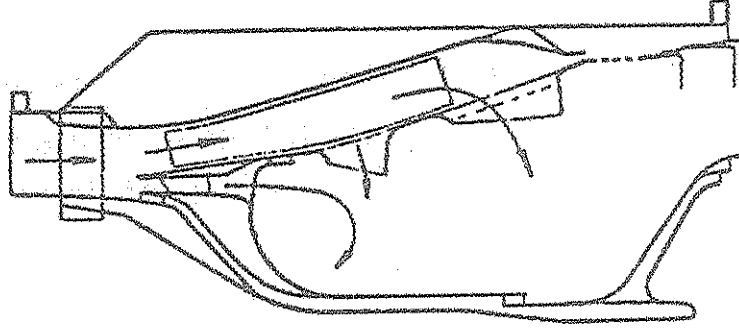
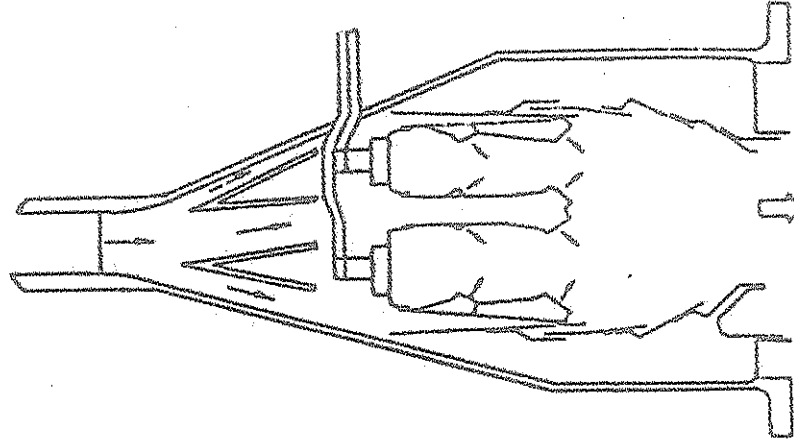


Şekil 4.9: F101 Halka Tip Yanma Odası

Şekil 4.10'da endüstri tipi iki gaz türbini tesisi üzerinde yanma odası görülmektedir. 4.10-a'daki tesiste atık ısıdan yararlanmayı amaçlayan bir ısı değıştirgeci de eklenmiştir. 4.10-b'de ise tek borulu yanma odasının bulunduğu bir tesis verilmiştir. Klasik yuvarlak yanma odası konfigürasyonları ile ilgili bir resim şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Endüstri Tipi Gaz Türbinleri İçin Yanma Odası



**Şekil 4.11: Kısa Halka Tip Yanma Odaları İçin Mümkün Konfigürasyonlar**

Şekil 4.11'de ilk yanma odası çift sıralı düzenlemeyi gösterir. Bu düzenlemede iki konsantrik gömlek kullanılır. Gömleklerin her ikisi de normal L/D oranı için tasarlanmıştır. Belirgin bir avantaj, uzunlukta %30'a varan bir azalmadır. Sistemin belli başlı dezavantajı, yakıt enjeksiyonlarında 4 kat artış olmasıdır. Şekil 4.11-b'de tek kenarlı giriş vardır. Burada difüzör uzunluğunda bir azalma vardır. Bu sistem hava püskürtme atomizasyonuna sahip olup, Rolls-Royce RB162 motorunda başarıyla kullanılmıştır. Şekli 4.11-c'deki anaforlu-can düzeni NASA'da kullanılmıştır.

#### 4.6 Yanma Odalarının Çalışması

Yakıt yanma odasının ön tarafına ya özel olarak tasarlanmış yakıt lülelerinden yüksek derecede atomize olmuş sprey şeklinde veya buharlaşma tüplerinden önceden buharlaşmış bir şekilde gelir.

Yanma odasını bulunduran yakıcı bölümü hava yakıt karışımını yakar ve oluşan gaz, türbin girişinde uygun bir sıcaklık oluşacak şekilde türbine gönderilir. Bu çok küçük bir yer ile sınırlandırılmış yakıcılar, motor için tepki ve türbin için arz edilen gücü üretmek için motorun içinden geçen gaza yeterli enerjiyi vermelidir.

Turbojet ve turboprop motorlarda türbin girişindeki sıcaklık, maksimum gaz sıcaklığı limitini aşarsa, aşırı sıcaklıkta türbin kanatlarının gerilmesine ve sonunda motorun güçten düşmesine neden olur. Türbin kanatları ve çarklarında kullanılan mevcut metaller için bu sıcaklık limiti kimyasal olarak doğru oranda karışmış (stokiometrik) yakıt ve havanın yanmasından ortaya çıkan sıcaklık derecesinin bir hayli altındadır.

Bu nedenle gazın sıcaklığını azaltmak amacıyla ikinci bir hava akımına gereksinim duyulmuştur.

Etkili yanmayı korumak amacıyla toplam hava yakıt oranından daha yüksek bir hava yakıt oranı istenir. Bu yüzden yanma odasına giren havanın iki akışa (primary air - secondary air) ayrılması gerekmektedir. Birincil hava (primary air) genellikle nozullardaki yakıt spreylerinde girdap akımını başlatır. Stokiometrik orandaki hava türbülanslı bölgede yanmayı başlatır. İkincil hava (secondary - diluting air) Şekil 4.5'de şematik olarak gösterildiği gibi yanma çemberindeki sıralı delikler vasıtasıyla alevi ortada tutmak için yanma odasına girer ve sonuçta yanmış sıcak gazlar türbine gönderilir.

#### **4.7 Yanma Odasında Çalışma Güçlükleri**

##### **4.7.1 Alev Sönmesi (Blowout)**

Alev sönmesi problemi turbojet yakıcılarının gelişmesinde büyük sorunlara yol açmıştır. Bu olay alevin kaybolması ve yanmanın durmasıyla ortaya çıkar. Alev sönmesi genellikle düşük devirlerde ve yüksek irtifalarda oluşur. Bu şartlarda atomizasyon genellikle fakirdir yani yakıt hava karışımı düşüktür. Bunun sonucu olarak da yanma bölgesinde sıcaklık düşer. Yanmada denge, yanmanın düzgün olması ve başlamış yanmanın uzun çalışma zamanı içinde muhafaza edilmesidir.

Herhangi bir yanma odası için iki tip hava yakıt karışım vardır. Bunlar zengin ve fakir karışımlardır. Eğer bu limitlerin ilerisine gidilecek olursa alev söner. Süzülme ve dalış esnasında, bu sırada motorun rölanti devrinde çalışmasından dolayı az bir yakıt



giriş, ancak buna karşılık daha fazla hava girişi olur. Bu yüzden zayıf bir karışım nedeniyle alev sönebilir.

Askeri uçuşlarda yüksek irtifanın önemi büyük olduğundan, yanmayı sürekli sağlayabilmek üzere yeni dizayn çalışmaları yapılmaktadır.

#### 4.7.2 Yanma Kararsızlığı (Instability)

Basıncıdaki ufak değişiklikler ve sıcaklıkla karışım oranındaki değişiklikler yanmanın kararsız olmasına neden olabilir. Eğer yakıt lülesi civarında basınç farkı küçükse lüle ucunda yanma odası basıncındaki küçük değişiklikler yakıt akışından büyük değişikliğe neden olurlar ve kararsızlıkla sonuçlanan bir olaylar zinciri başlamış olur.

#### 4.7.3 Karbonlaşma

Yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kalkış anında katı karbon ve karbon bileşenleri iç kabuk yüzeyinde birikme eğilimindedir. Böyle birikimler çok sıcak olan ısı yalıtkan bölgeler oluşturduklarından istenmezler. Yapıştıkları metal duvar dışarıdan soğutulduğunda ise yalıtkan özelliği taşıması nedeniyle içeriye büyük sıcaklık farklılıkları meydana gelir. Bu sıcaklık farklılıkları ısıl gerilmelere, bükülmelere ve hatta çatlamaya neden olabilir. Bu tür birikimler akışın üniform olmamasına ve kesintili olmasına neden olur. Buradaki kurum parçacıkları yapıştıkları yerden kopup türbine girerlerse tahribatlara neden olabilirler.

Karbonlaşmayı önlemek için önemli bir faktör tasarımıdır. Karbonlaşmanın olabileceği yerlerde birikim olmaması için

bunları süpürecek bir hava filminin bulunması gerekmektedir. Çok gerekli olmadıkça yanma odasında delikler ve yivler gibi karbon birikimine neden olabilecek girinti ve çıkıntılardan kaçınılmalıdır.

#### 4.8 Yanma Odası Tasarımını Etkileyen Faktörler

Yanma odası tasarımını etkileyen faktörlerin çoğu birbiriyle uyumsuzluk halindedir. Örneğin yanma veriminin büyük ve basınç kayıplarının küçük olması, boyutların küçük olması isteğiyle çelişmektedir. Çalışma şartlarının değişme gösterdiği oldukça geniş bir aralıkta bu faktörlerin en iyi çözüme ulaştırılması çok zordur. Aşağıda yanma odası tasarımını etkileyen faktörlerin bazıları sıralanmıştır:

- a. Yanma sonucu çıkan gazın sıcaklığı, yüksek gerilmeli türbin malzemesine uyum sağlayacak kadar düşük olmalıdır.
- b. Yüksek türbin performansının gerçekleşebilmesi için ve pale (blade)'lerin lokal olarak aşırı ısınmadan etkilenmesi istenemiyorsa yanma sonundaki sıcaklık dağılımı homojen olmalıdır. Fakat türbin halkasının üzerindeki yarıçapın artması avantaj olabilir. Çünkü pale gerilmeleri kökten uca doğru azalır.
- c. 30-60 m/s gibi yüksek hızla hareket eden hava akımı içinde yanma sağlanabilmelidir. Tam yükten rölanti koşullarına kadarki geniş aralıktaki hava/yakıt oranlarında kararlı yanma sürdürülebilmelidir. Hava/yakıt oranı basit gaz türbinleri için yaklaşık 60:1'den 120:1'e

kadar, ısı değiştirici bulunanlarda ise 100:1 'den 200:1 'e kadar değişebilmektedir.

- d. Karbon artıklarının oluşumundan sakınılmalıdır. Yüksek hızlı gaz akımı ile türbin içine taşınan küçük parçacıklar paleleri aşındırabilir. Karbon parçacıklarının aerodinamik titreşimleri türbine daha kötü hasarlar verebilir.
- e. Uçak gaz türbinlerindeki yanma, yanma odası basıncının geniş aralıktaki değerleri içinde kararlı olmalıdır. Çünkü basınç; irtifa ve hızla değişir.
- f. Yanma mümkün olduğunca tam ve çalışma şartları ne olursa olsun kararlı olmalıdır. Alev sönmemelidir. Tekrar ateşlenebilmelidir.
- g. Durma basınç kaybı küçük olmalıdır.
- h. Yanma odasının kesit alanı ve uzunluğu küçük olmalıdır.

## 5. YANMA ODASI TİPLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Yanma odaları farklı tasarımlarda yapılmıştır. Başlıca tipleri:

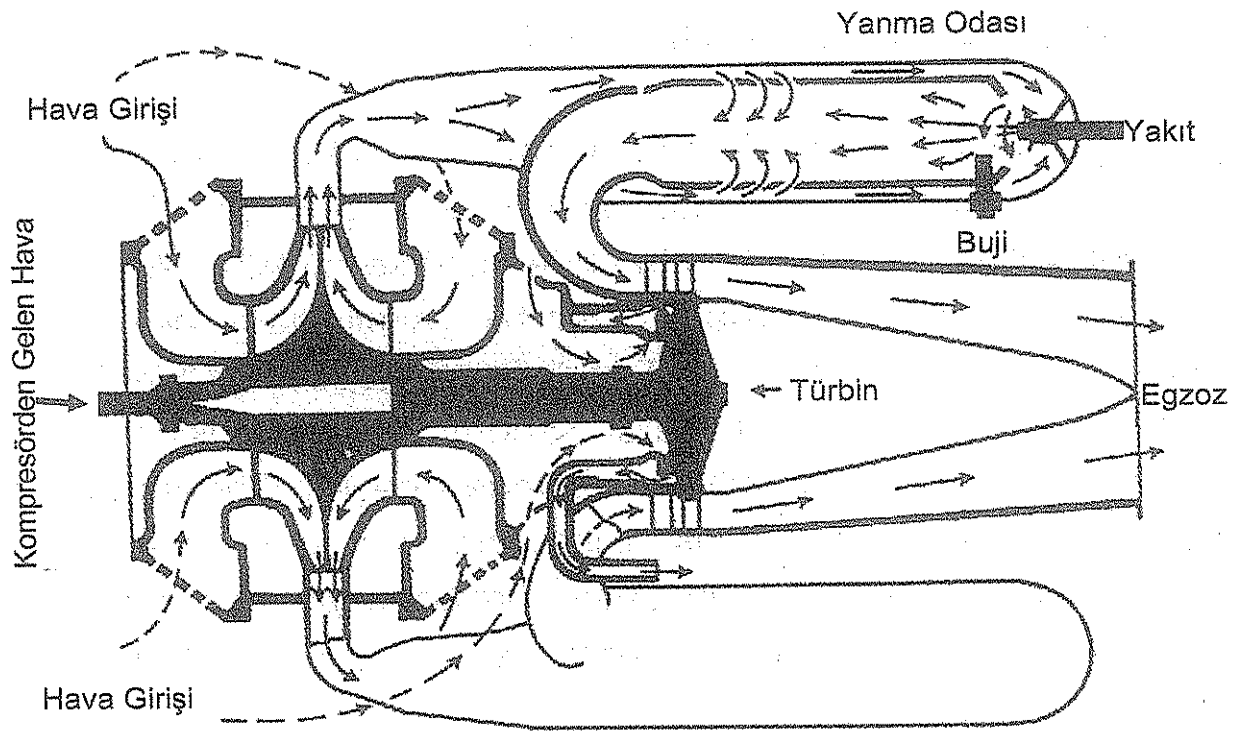
1. Boru şeklinde yanma odaları (Can tipi)
2. Halka şeklinde yanma odaları (Annular tipi)
3. Boru-halka şeklinde yanma odaları (Can-Annular tipi).

### 5.1 Boru Şeklinde Yanma Odaları (Can Tipi)

Boru tipi yakıcı, santrifüj (centrifugal) kompresörlü motorlarda çok sık kullanılır. Bu sistemde hava difüzöre geldiğinde bölünür ve yakıt yakıcı bölümünün etrafında dairesel şekilde sıralanan ayrı yanma odalarına yollanır. Her bir yakıcı, yakıt nozulu ve yakıcı çemberinden oluşur. Birincil hava nozula gönderilir ve yanmanın başlangıcını oluşturur. Soğutma ya da ikinci hava gömlek (liner) ve yakıcı bölüm arasından geçer. Gömlek birkaç sıra deliğe ya da dışarıdaki ikincil havanın girebileceği düz yarıklara sahiptir. Gömlek boyunca gömleği soğutan ikincil hava deliklerden yanma odasına girerek yanma için ek hava temin eder.

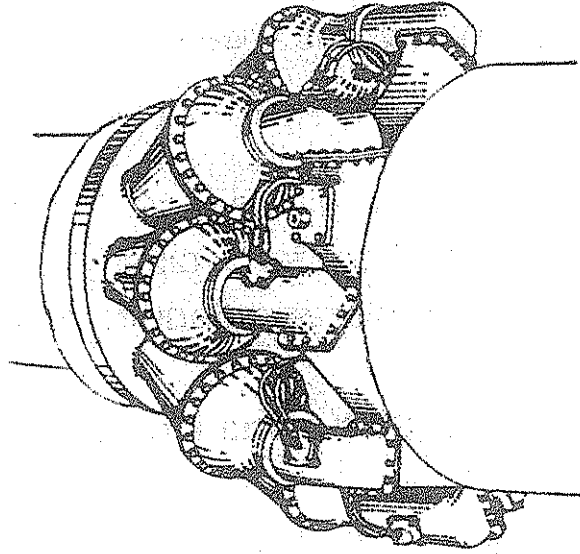
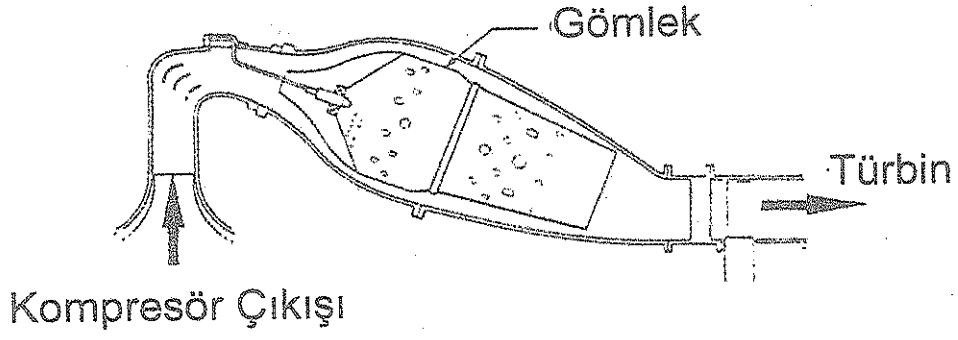
Yanma tamamlandıktan sonra yakıcıdan çıkan yanmış gazlar türbine yönlendirilir. Bu noktada, yakıt nozullarını by pass eden ikincil hava, yanma sonucu oluşan gazlarla karışır ve sıcak gazları türbin için uygun bir sıcaklığa kadar soğutur. Boru tipi yakıcının birçok avantajı vardır. Küçük çaplı olmaları dolayısıyla her bir boru ayrı ayrı halka tip yanma odasına benzer ve yapısal dayanıklılığa ve hafifliğe sahiptir. Bu yakıcı aynı zamanda çok iyi bir performansa sahiptir. Motor montajına zarar vermeksizin her bir ünite kontrol ya da değiştirme gerektiğinde rahatlıkla motordan sökülebilir.

Önceleri karşı akımlı olarak geliştirilen boru tipi yakıcılardaki yüksek türbülans ve uzun akış yolu dezavantajları, buna bağlı olarak da sürüklemeye büyük basınç kayıpları ve toplam güç çıkışındaki kayıplar nedeniyle paralel akışlı boru tipi yakıcılara geçilmiştir. General Electric Şirketi tarafından geliştirilen karşı akımlı boru tipi yakıcı Şekil 5.1'de görülmektedir.

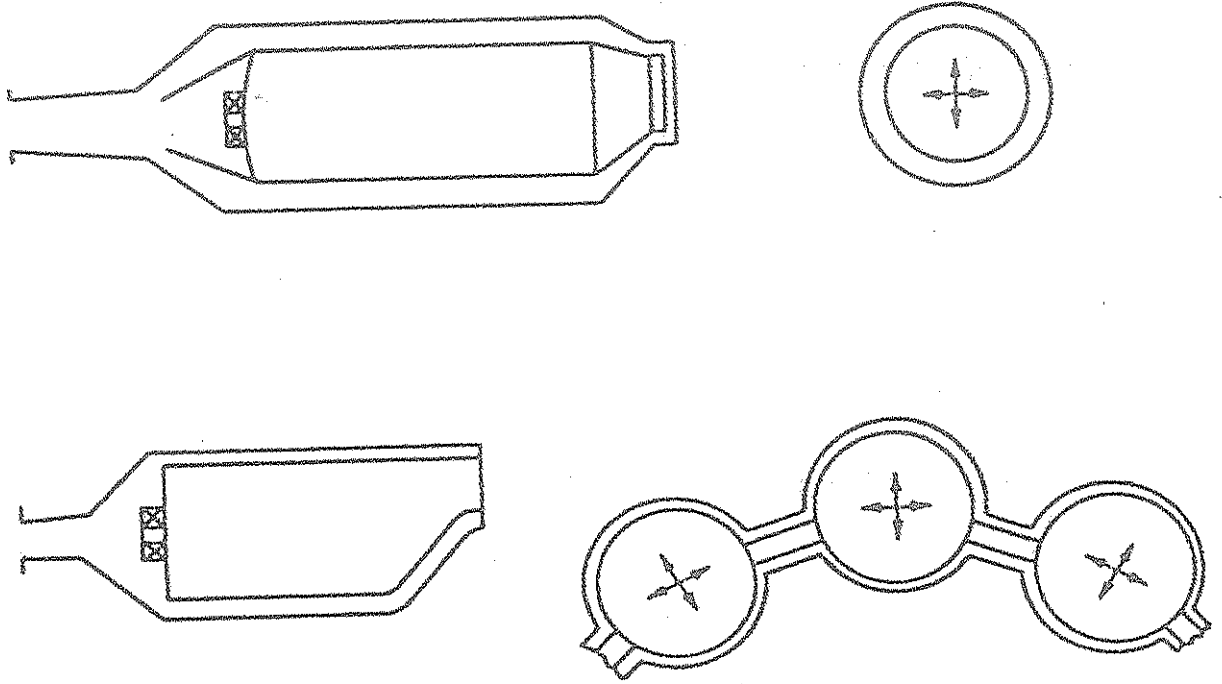


**Şekil 5.1: General Electric Şirketi Tarafından Geliştirilen Karşı Akımlı Boru Tipi Yakıcı**

Paralel akımlı boru tipi yakıcılara ilişkin iki ayrı şekil, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görülmektedir.



**Şekil 5.2 Boru (Can) Tipi Yanma Odası – 1**



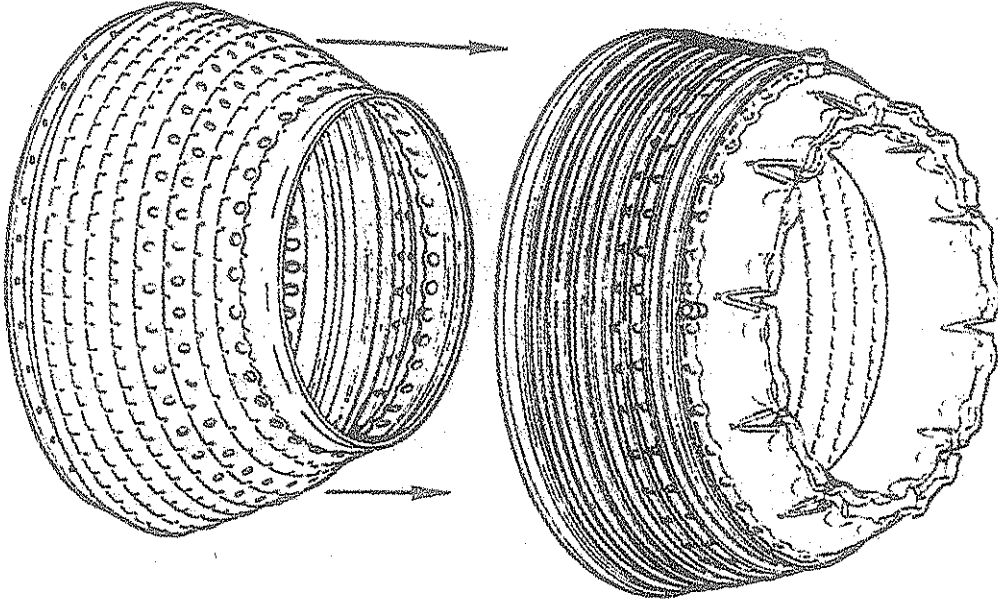
**Şekil 5.3 Boru (Can) Tipi Yanma Odası – 2**

Boru tipi yakıcılar tek borudan oluşuyorsa, tek boru (single can) olarak adlandırılır. Çok borudan oluşuyorsa, çok borulu (multican) ya da multiplecan olarak adlandırılmaktadır.

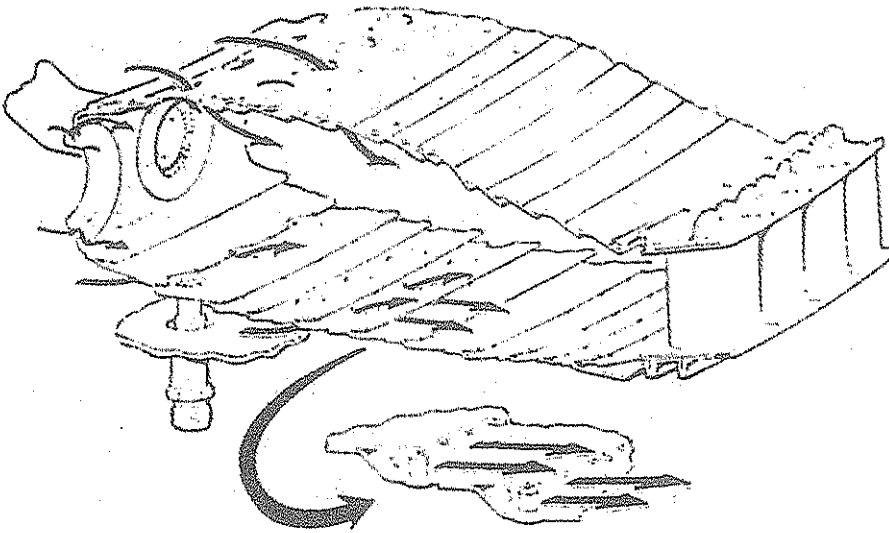
## **5.2 Halka (Annular) Şeklinde Yanma Odaları**

Bu tip yakıcılarda doğru akımlı boru tipi yakıcı gibi düşük sürüklenme kaybı, küçük çap ve yüksek akış hızı gibi avantajlara sahiptir. Tek bir yakıcıdır. Kompresör ve türbin arasında motor shaftının çevresini tamamen saracak şekilde yerleştirilir. Yakıcı girişi çevresinde birkaç tane yakıt nozulu vardır.

Bazı düz akışlı kompresörlü motorlarda Şekil 5.4 ve 5.5'de gösterildiği gibi tek halka tip yanma odası vardır.



Şekil 5.4: PW 2000 Halka Tipi Yanma Odası



Şekil 5.5: Halka Tipi Yakıcının Kesit Görünüşü



Bu tip yakıcıların kaplaması kompresör hareket şaftı kaplamasının etrafında tek parça olarak, dairesel iç ve dış çemberden oluşur. Çemberdeki delikler ikincil soğutma havasının; yanma odasının merkezine girmesini sağlar. Böylece alevi dış çemberden uzak tutar.

Halka tipi yanma odasında yakıt, gömleğin üst kısmında bulunan bir seri yakıt nozulu tarafından püskürtülür. Bu tip yakıcı sınırlandırılmış bir bölgeyi çok verimli kullanmaya uygundur. Boru tipi yakıcılara kıyasla çok basit bir yapıda olmasına rağmen, hava ve yakıtı en iyi şekilde karıştırır. Yakıcının iç yüzey alanında en uygun hacim elde edilir. Böylece yanma meydana geldiğinde gazların maksimum derecede soğutulması sağlanır. Tasarım aynı zamanda sıcaklıkla meydana gelen metal çarpılmalarını da önler.

Halka tipi yakıcılar Şekil 5.4 ve 5.5'de gösterilen Pratt and Whitney JT9D, PW2000 ve 4000 serileri gibi bazı model motorlarda kullanılır. Bu tip yakıcılarda yakıt birincil (primary) yanma bölümünün üst kısmına püskürtülür, yakıt-havanın ön karışımı sağlanır ve yakıt halka yakıcı bölümünün üst akıntısına gelmeden önce buharlaşır. Halka tipi yanma odası iyileştirilmiş çıkış sıcaklığı dağılımına düşük toplam basınç kaybına ve arttırılmış dayanıklılığa sahiptir.

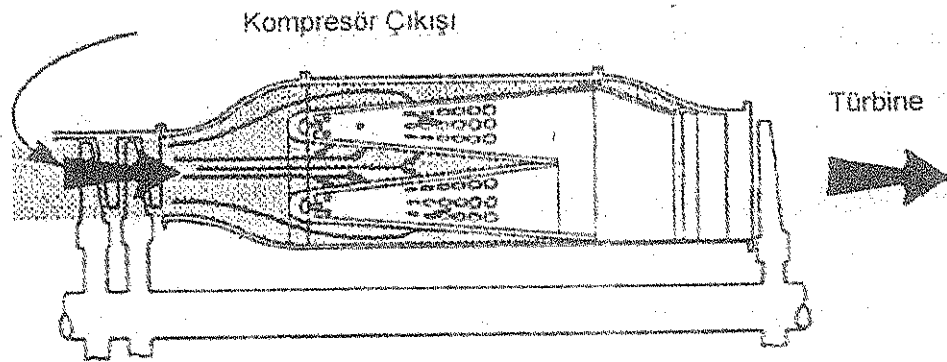
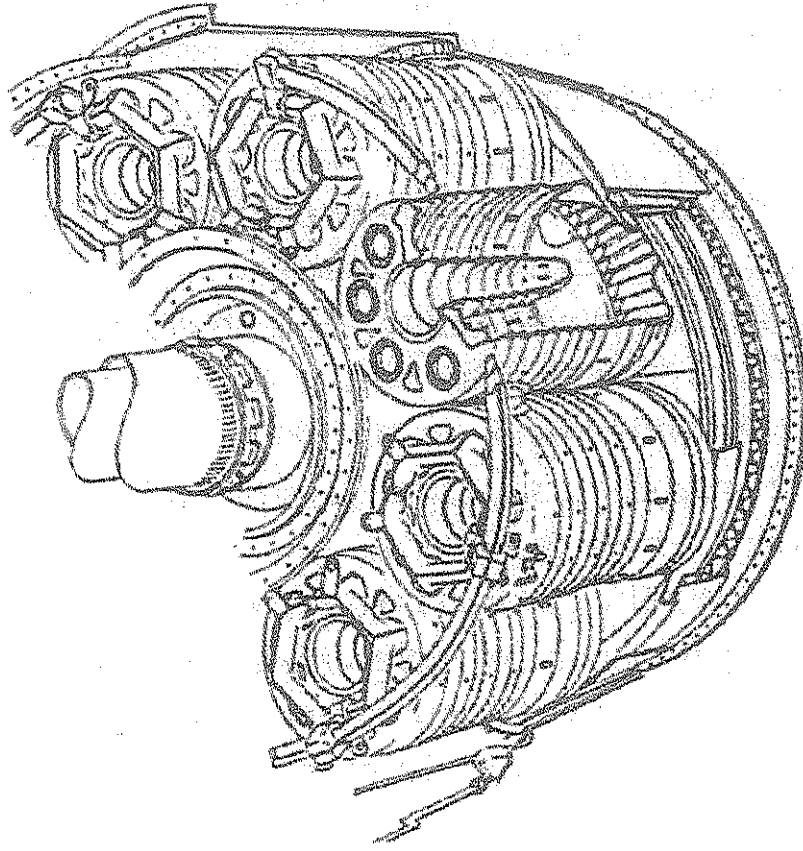
Halka tip yakıcılar boru tipi yakıcılarla karşılaştırıldığında daha az yüzey hacim oranına sahiptir. Böylece daha az soğutma havası gerekir. Boru yakıcılara göre yakıcı ağırlığı daha az ve performansı daha iyidir.

Boru şeklindeki yanma odalarına göre daha uygun ve avantajlı konstrüksiyona sahip olan halka tipi yanma odalarının dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Bu tip yanma odaları için gerekli olan büyük çap ve ince duyarlı silindirler yüzünden sistemin yapısı zayıftır. Bu yüzden alev tipi duvarlarının eğilip bükülmesine engel olmak oldukça zordur. Bu durum özellikle büyük çaplı motorların imalinde büyük bir güçlüktür.
- 2- Bakım ve tamir için tüm yanma odası motordan çıkarılamaz.
- 3- Yakıtı püskürtmek için kullanılan memelerin sayısı çok olmasına rağmen iyi bir yakıt hava dağılımı ile çıkış sıcaklığı dağılımı elde etmek oldukça zordur. Halbuki boru tip yanma odalarının doğal simetrisi bu hususta çok daha uygun bir yapı gösterir.
- 4- Geliştirme ile ilgili çalışmalardan çoğu komple yanma odası için yapılmalıdır. Deneylerin kolay ve basit yapılabilir olması gerekir. Halka şeklindeki yanma odalarının geliştirme deneylerinde motorun sahip olacağı hava debisinin tümünün kullanılması gerekmektedir. Boru tipi yanma odası deneylerinde ise bir tek yanma odası için yapılacak deney yeterli olur.

### 5.3 Boru Halka Şeklinde Yanma Odaları (Can Annular Tip)

Bu tip yanma odası çok büyük turbojet ve turbofan motorlarda kullanılır. Her bir yakıcı, halka bölümün içerisinde dairesel şekilde boruları oluşturmak için yan yana yerleştirilmiştir (Şekil 5.6).



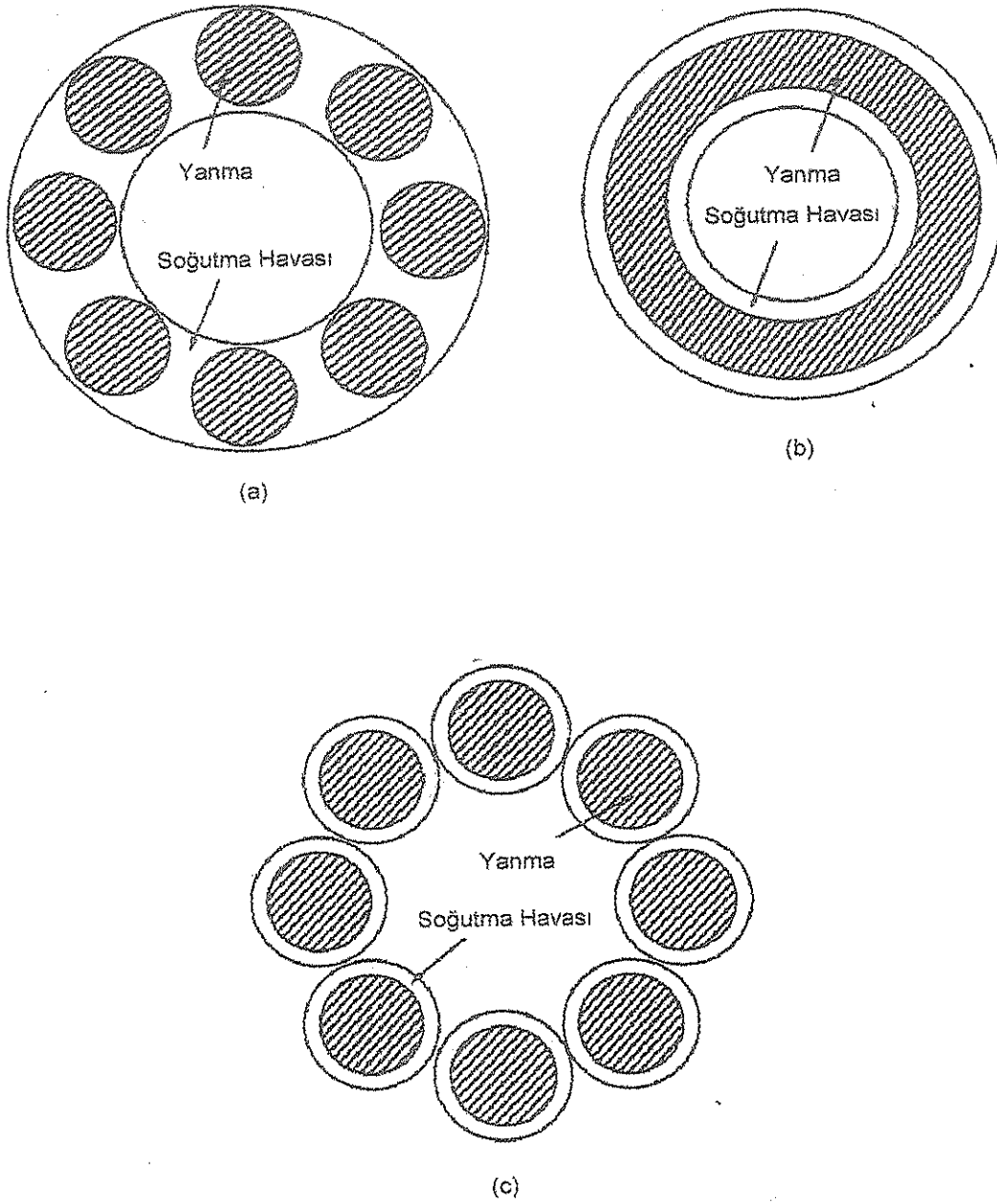
Şekil 5.6: Halka Boru (Can Annular) Yanma Odası

Tek tek her bir yanma odası soğutma havasına izin vermek için aynı merkez üzerinde toplanan delikler bulundurulur. Bazı motor modellerinde her bir boru tip yanma odası yuvarlak delikli tüplere sahiptir. Bu tüpler, soğutma ve yanma için daha fazla hava sağlamak amacıyla deliklerin içinden geçerek boru tip yanma odasına giren ilave havayı bulundurulur. Bu etki yanma odasının içinde boru tip yanma odasının her bir santimetresinde olabileceğinden daha fazla yanmaya izin verir.

Boru tip yanma odasının ön ucunun çevresi etrafında bir kaç yakıt nozulu yerleştirilmiştir. Yakıcılar küçük çaptadırlar ve bu durum onları sıcaklıktan meydana gelen bükülmelere karşı dayanıklı yapar. Her bir yanma odası boru tip yanma odasının ön ucunda ve her biri diğerinin karşısında olan iki deliğe sahiptir. Alev tüpü olarak bilineni halka şeklindedir. Bu boru tipi yanma odaları bir halka bölüm içersine yerleştirildiğinde, bu delikler ve onların halkaları; motor çalıştırması sırasında bir candan diğerine alev geçişine imkan verecek şekilde tasarlanmıştır.

Halka-boru tip yanma odası hem boru hem de halka tip yanma odalarının avantajlarını birleştirir. Aynı zamanda diğer tiplerin bir çok dezavantajlarını ortadan kaldırır. Sökülebilir ve silindirik yapıdaki bir kaplama bütün yakıcı bölümü sarar. Bu durum motor uçak üzerinden sökmeksizin tek tek her boru tip yanma odasının kontrolü ve değiştirilmesinin kolayca yapılabilmesini mümkün kılar. Halka-boru tip yanma odalarındaki kısa yakıcı boyu, kompresör çıkışı ve alev bölgesi arasındaki gazların basıncındaki aşırı düşüşü önler. Tasarımı, türbin girişinde düzgün bir sıcaklık dağılımının olmasını mümkün kılar. Eğer yakıt nozullarından biri tıkanırsa, kızgın noktaların tehlikesini en aza indirir.

Yanma odası tipleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.7'de verilmiştir.



(a) Boru tipi (Can)

(b) Halka tipi (Annular)

(c) Boru-Halka Tipi (Can-Annular)

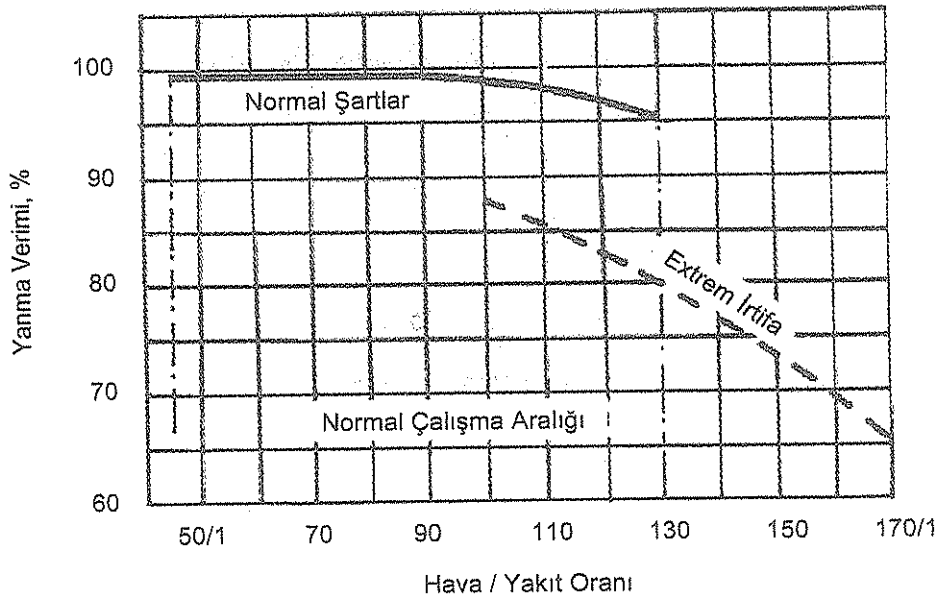
Şekil 5.7: Karşılaştırmalı Olarak Yanma Odası Tipleri

## 5.4 Yanma Odasından İstenen Özellikler

Yanma odaları için genelde istenilen özellikler kısaca aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

### 5.4.1 Yüksek Yanma Verimi

Özellikle uzun menzil için gerekli olan bir özelliktir. Yakıtın kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Gaz türbinli motorlarda, deniz seviyesinde %100 olan verim, irtifa yükseldikçe %98'e kadar düşer. Hava sıcaklığının, basıncının ve hava yakıt karışımı oranının düşmesinden dolayı verimlilik değerleri değişir. Şekil 5.8'deki diyagramda bu durum görülmektedir.



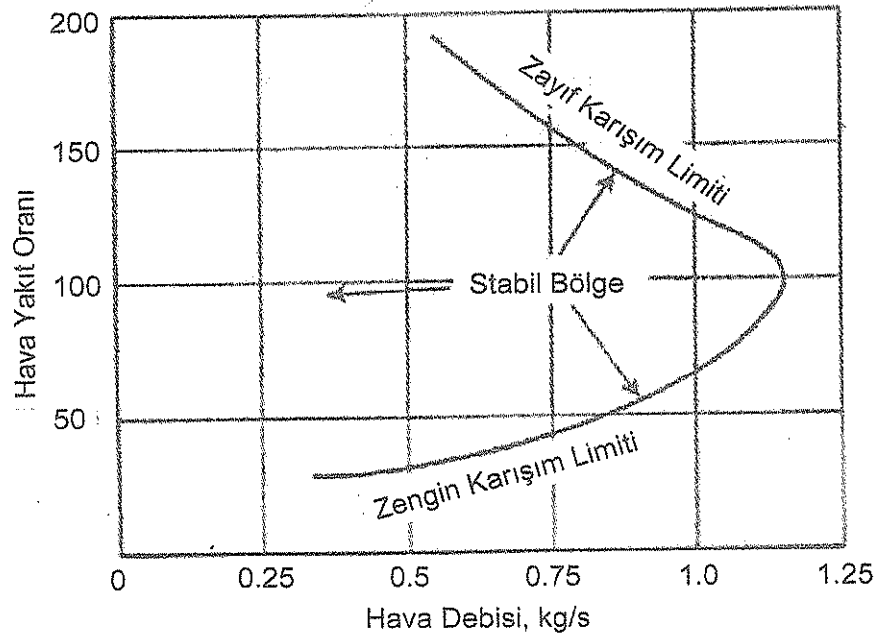
Şekil 5.8: Hava Yakıt Oranına Bağlı Olarak Yanma Verimi

### 5.4.2 Kararlı Çalışma

Rolantiden maksimum güce kadar hava akışlarında, alev sönmeleri oluşmadan çalışabilmelidir. Yanmada denge; yanmanın düzgün olması ve başlamış bir yanmanın uzun

Çalışma zamanı içinde srdrlebilmesidir. Herhangi bir yanma odası için alışabileceki zengin ve fakir karışım oranları belirlidir. Bu limitlerin dışına çıkıldığında alev söner. Süzülme ve dalış sırasında da motorun rolantide çalışmasından dolayı yakıt girişi az ancak hava girişi fazla olur. Bu, zayıf karışım oluşmasına neden olur ve alevi söndürebilir.

Kompresör hava hızının yükselmesiyle birlikte eğer hava çok aşırı bir şekilde gelip, alevi söndürme durumuna getirirse, hava yakıt oranı, zengin ve zayıf karışımlar arasında değişebilir. Denge döngüsünün tanımlandığı çalışma limitleri arasında, yanma odasına giren hava miktarı ve hava yakıt karışımı korunmalıdır. şekil 5.9'da hava yakıt oranına bağlı olarak yanma stabilitesi limitleri verilmiştir.



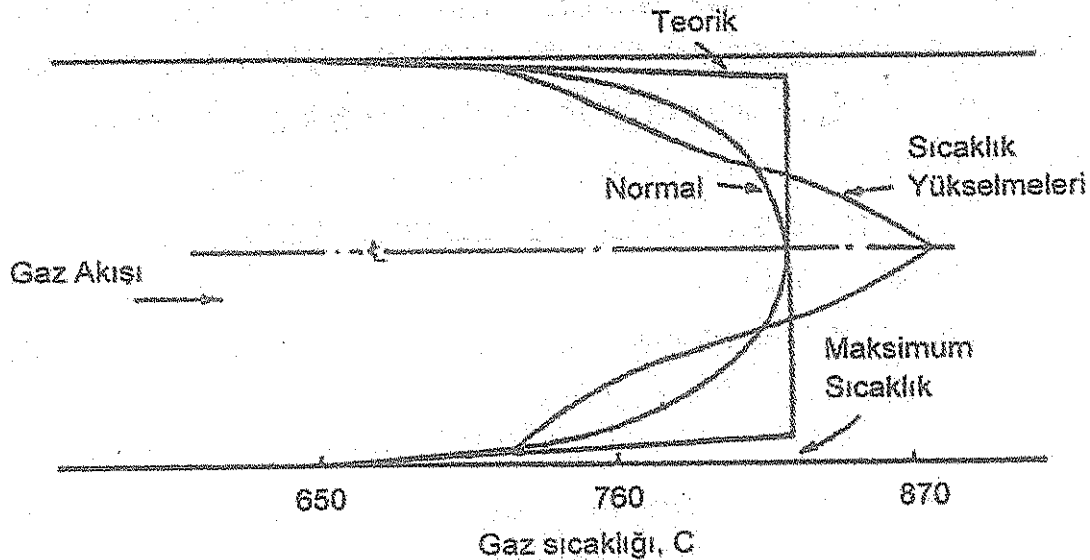
**şekil 5.9: Hava Yakıt Oranına Bağlı Yanma Stabilitesi Limitleri**

### 5.4.3 Düşük Basınç Kaybı

Gazın arkaya doğru hızlandırılması için egzoz lülesinde mümkün olduğu kadar fazla basınç olmalıdır. Basınç kayıplarının artması tepkiyi azaltarak özgül yakıt sarfiyatını arttıracaktır.

### 5.4.4 Düzgün Sıcaklık Dağılımı

Türbine giren gazın ortalama sıcaklığı, en büyük motor performansını elde etmek için, yanma odası malzemesi sıcaklık sınırına mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Gaz akımındaki büyük yerel sıcaklıklar veya sıcak noktalar, türbini korumak amacıyla izin verilen ortalama türbin giriş sıcaklığını azaltacaktır. Bu ise sonuçta toplam gaz enerjisinde bir azalmaya ve buna karşılık olarak motor performansında bir azalmaya neden olacaktır. Şekil 5.10'da yanma odasında sıcaklık dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.10: Yanma Odası Sıcaklık Dağılımı



#### 5.4.5 Kolay Çalıştırma

Yanma odasındaki düşük basınç ve yüksek hızlar motorun çalıştırılmasını güçleştirir. Bundan dolayı iyi tasarlanmış bir yanma odası, havada çalıştırma işlemini daha kolay bir şekilde sağlayacaktır.

#### 5.4.6 Yanma Odası Boyutu

Büyük bir yanma odası motorda daha çok yer kaplayarak uçağın ön yüzeyini arttıracak ve aerodinamik sürüklemenin artmasına neden olacaktır. Aşırı büyük yanma odaları motor ağırlığını da artırır. Bu da uçağın yakıt kapasitesini, faydalı yükünü ve menzilini azaltır.

#### 5.4.7 Düşük Duman Yüzdesi

Bütün büyük şehir bölgelerinde hava kirliliği önemli sorunlardan birisidir. Jet motorlarındaki egzoz gazı dumanı bütün kirlilik problemlerinin %1 'inden daha fazla olması bile, çok kalabalık bölgelerde, hava alanlarında jet tepkili uçakların kalkış ve inişlerinde motordan çıkan duman kötü bir görüntü oluşturur. Duman oluşumu rahatsız edici ve sağlığa zararlı etkilerinin yanı sıra; özellikle yüksek irtifalarda uçan askeri uçakların kolayca takibine neden olmasından dolayı da istenmeyen bir durumdur.

Genelde duman, eksik yanma nedeniyle oluşur. En son geliştirilen jet motoru yakıcıları, duman oluşumunu azaltır. Bu durum yakıtın tamamen yanmasını kolaylaştırmak ve yanmamış karbon parçacıklarını önlemek için birincil yanma bölümündeki fakir yakıt hava oranı tarafından sağlanır.

Fakat dumansız yakıcıların kullanımı yanma verimini olumsuz yönde etkiler.

#### 5.4.8 Düşük Karbon Oluşumu

Yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kalkış anında duman biçiminde egzoz gazı çıkma eğilimindedir. Bu durum oluşan karbon parçacıklarının birincil (primary) bölgedeki yüksek sıcaklık ve basınç ile alçak türbülansla oluştuklarını gösterir. Karbon birikimleri kritik hava bölümlerini tıkiyabilir ve yanma odası duvarları boyunca hava akışını bozabilir. Bu ise yüksek sıcaklıklar oluşturduğundan yanma odasının ömrünün azalmasına neden olur.

#### 5.5 Yanma Odası Performansına Etki Eden Faktörler

Yanma odası yüksek çalışma limitleri arasında yakıtın en verimli yakılmasına uygun olmalı ayrıca herhangi bir basınç kaybına yol açmamalıdır. Eğer ateşin sönmesi gibi bir durum olursa tekrar alevlenebilmelidir. Bu çalışma performansı sırasında alev tüpü, yakıcı atomizer ve sistem elemanları mekanik olarak güvenilir olmalıdır.

Gaz türbin motorları sabit basınç altında çalışır, çalışma sırasındaki kayıplar minimuma indirilmeli ve bu seviyede tutulmalıdır. Toplam basınç kaybı yanma odasına giren basınçtan %5, %10 gibi az olabilir.

Yanma odasından çıkan ısı, yanma odasının alanına bağlıdır. Gerekli olan yüksek çıkış gücü için, gaz türbinli motorlarda yanma odası küçük ve çıkan ısı büyük olmalıdır.

Yanma odası performansına etki eden başlıca çalışma faktörleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Basınç
2. Hava Giriş Sıcaklığı
3. Yakıt Hava Oranı
4. Akış Hızı

Bu faktörler tek tek veya birlikte yanma odasının performansına etki ederek, aşağıda sıralanan ve açıklanan konulardan etkili olurlar:

- yanma verimi
- kararlı çalışma aralığı
- sıcaklık dağılımı
- motor çalıştırma
- karbon birikimi
- sıcaklık
- soğutma gereksinimi.

#### **5.5.1 Yanma Verimi**

Yanma odasına giren havanın basıncı artarken yanma verimi yükselir ve sabit bir değere ulaşır. Bu seviyede oluşan basınç yaklaşık 1 atmosfer olup, farklı yanma odası tasarımları için bir miktar değişebilir. Hava giriş sıcaklığı artarken yanma verimi gerçek değerine ulaşana kadar yükselir. Eğer yakıt hava oranı artarsa yanma verimi önce yükselir, daha sonra yanma bölgesindeki karışım ideal değere ulaştığında sabit bir değere gelir ve sonra yakıt hava karışımı çok zengin hale gelirken azalır. Yakıt hava oranındaki bu artış, basınç kaybının artmasına neden

olur. Bunun sebebi artan yakıt hava oranlarının yüksek sıcaklıklara neden olup, gaz yoğunluğunu azaltmasıdır.

Sürekli akışı sağlamak için, gazın daha yüksek hızlarda hareket etmesi gerekir. Yüksek hızlar için gerekli olan enerji ise basınç kaybındaki artışa neden olur. Belirli bir seviyenin üzerinde artan akış hızları yanma verimini azaltır.

### 5.5.2 Kararlı Çalışma Aralığı

Bir yanma odasının kararlı çalışma aralığı basınç ve akış hızları değişimiyle olur. Basınç azalırken kararlı çalışma aralığı yanmanın oluşamayacağı bir noktaya kadar daralır. Akış hızı artarken, kararlı çalışma aralığı, yanmanın oluşamayacağı hızın üzerinde bir kritik hıza ulaşana kadar daralır. Genelde karışımın sıcaklığının artması kararlı çalışma için yakıt hava oranını artırır. Ayrıca akış hızı artarken yanma odası basınç kaybı artacaktır.

### 5.5.3 Sıcaklık Dağılımı

Yanma odası çıkışındaki sıcaklık dağılımı da çalışma faktörlerindeki değişikliklerden etkilenir. Basıncı 1 atmosfer civarına düşürmek bile sıcaklık üniformluğunu bozar. Daha üniform sıcaklıklar, basınç kaybındaki artış da gözönüne alınarak sıcak ve soğuk gazların daha iyi karıştırılmasıyla elde edilebilir. Eğer yakıt hava oranı ve akış hızı artarsa, çıkış sıcaklıkları daha az üniform olmaya başlar. Bunun nedeni daha çok ısının açığa çıkması ve karışım için zamanın az olmasıdır.

#### **5.5.4 Motor Çalıştırma**

Genellikle yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve düşük hızda motor çalıştırma daha kolaydır. Ayrıca çalıştırma için en iyi hava yakıt oranı gerekli olup, bu değerin altında veya üstündeki hava yakıt karışımının ateşlenmesi güçleşir.

#### **5.5.5 Karbon Birikimi**

Daha önce de açıklandığı gibi çalışma faktörlerinin yanma odasında karbon birikimine etkisi vardır. Bu etkiler farklı tasarımlar için değişmektedir. Genel olarak, bu birikimler basınç ve sıcaklığın artmasıyla daha da kötüleşirler. Yakıt hava oranlarındaki değişimler yanma odası içinde karbon birikimlerinin yerleşimini değiştirebilir. Yakıtın özellikleri de karbon birikimi ve yanma odası performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve yanma odası dizaynında göz önüne alınmalıdır.

#### **5.5.6 Sıcaklık ve Soğutma Gereksinimleri**

Çalışma faktörlerindeki değişimler, yanma odasının sıcaklık ve soğutma gereksinimi üzerinde direkt etkiye sahiptir. Eğer gelen karışımın basınç ve sıcaklığı artarsa, yanan fazdan daha çok ısı iletilecek ve yüzey sıcaklığı yükselecektir.

## 6.YAKIT PÜSKÜRTMESİ

Yakıtın püskürtülmesi ya da atomizasyonu gaz türbin yakma sisteminde önemli bir faktördür. Normal yakıtlar ateşleme ve yanma için gerekli miktarda buhar üretecek kadar uçucu değildir.

Gaz türbinlerinde kullanılan yakıtların çoğu, yanma odasına püskürtülmeden önce atomize olmak zorundadırlar. Atomizasyon işlemi sıvıyı çok küçük parçacıklara ayırma işlemidir.

Bunun temel amacı maksimum yüzey alanı üretmektir. Yüzey alanının artması buharlaşmanın artmasına neden olur. Yakıt damlası ne kadar küçükse toplam yüzey alanı o kadar büyük ve buharlaşma oranı o kadar hızlıdır.

Çoğu sıvılar için atomizasyon oluşturmak çok kolaydır; bunların tümü sıvı ile gaz arasındaki göreceli hızın yüksek olmasını gerektirir. Bunlara örnek döner yüzeyleri olan ve yüksek hızla yakıtı püskürten enjektörlerdir. Alternatif bir metod ise düşük hızda püskürtülen sıvıya karşılık yüksek hızdaki hava (gaz) akımıdır. Bu metod döner-sıvı (twin-fluid), hava yardımcı (air-assist), veya hava patlamalı (airblast) atomizerler olarak bilinirler.

Yakıt püskürtme sistemi yanma performansında büyük bir rol oynar. Bu önemli rolü gelecekte de oynayacağı görülmektedir. Yakıt enjektörlerinin çoklu yakıt kullanması, gittikçe artan bir talep olarak ortaya çıkmaktadır.

## 6.1 Enjektörden İstenen Özellikler

İdeal yakıt enjektörleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

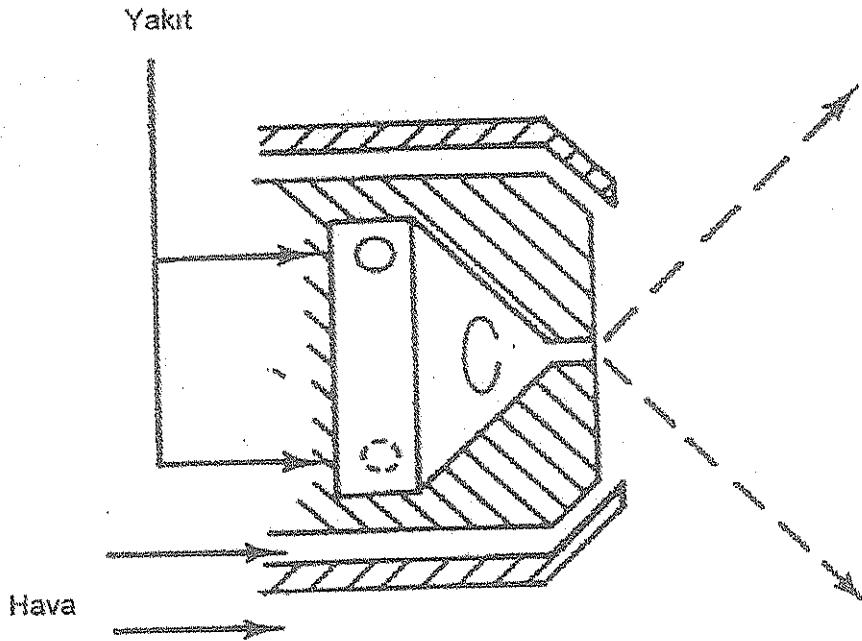
1. Yakıt akış aralığının tümünde iyi bir atomizasyona sahip olmalıdır.
2. Tepki ayarına hızlı cevap verilebilmelidir.
3. Akış kararsızlığından bağımsız olmalıdır.
4. Nozul yüzeyinin karbon kaplanıp kirlenip tıkanmasına karşı düşük hassasiyette olmalıdır.
5. Isı emişi ile yüzeyin yumuşayıp şekil değiştirmesine karşı düşük hassasiyette olmalıdır.
6. Tasarım esnekliğini sağlamak için ölçülendirme kapasitesi bulunmalıdır.
7. Düşük maliyet, düşük ağırlık, kolay imalat ve servis için kolay sökülebilde özelliklerine sahip olmalıdır.
8. İmalat ve montajda hasarlanmaya karşı düşük hassasiyette olmalıdır.
9. Kolay tutuşabilir bir karışım oluşturabilmelidir.
10. Yakıtın dağılması tümüyle birinci hatta olmalıdır.
11. Egzoz çıkış sıcaklığı dağılımı yakıt akış oranından bağımsız olmalıdır.

## 6.2 Yakıt Atomizörleri

Yakıt sağlandıktan, filtre edildikten, pompalandıktan, ölçüldükten ve dağıtıldıktan sonra yakıcının içine püskürtülmelidir. Bu bölümde çeşitli tipteki yakıt atomizörleri özellikleriyle birlikte tanıtılacaktır.

### 6.2.1 Döner Basınç Atomizörleri

Atomizasyon için yaygın olarak kullanılan bu yöntemde özel olarak dizayn edilmiş bir orifisten, yakıt basınç ile püskürtülür. Yanma boyunu minimize etme zorunluluğu nedeniyle 90 derecelik bir püskürtme açısı kullanılmadır. Basit olarak delinmiş bir orifisten, yakıtı dönmeye hareketi verilerek atomizasyon sağlanır. Basit bir döner basınç atomizörü Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1: Basınç Atomizörü



Atomizör tasarımındaki sorun, minimum akışla maksimum akış arasında 40 katlık bir fark olmasından kaynaklanmaktadır. Atomizörden minimum ve maksimum akış debilerinde de iyi bir performans vermesi beklenmektedir.

Eğer orifis, düşük yakıt akışlarında iyi bir atomizasyon sağlayacak kadar küçük imal edilirse, yüksek yakıt akışlarında gerekli basınç yüksek olacaktır. Diğer taraftan orifis büyük yapılırsa alçak irtifalarda gerekli düşük yakıt akışlarında atomizasyon yeterince iyi olmayacaktır.

### 6.2.2 Simpleks Yakıt Atomizörleri

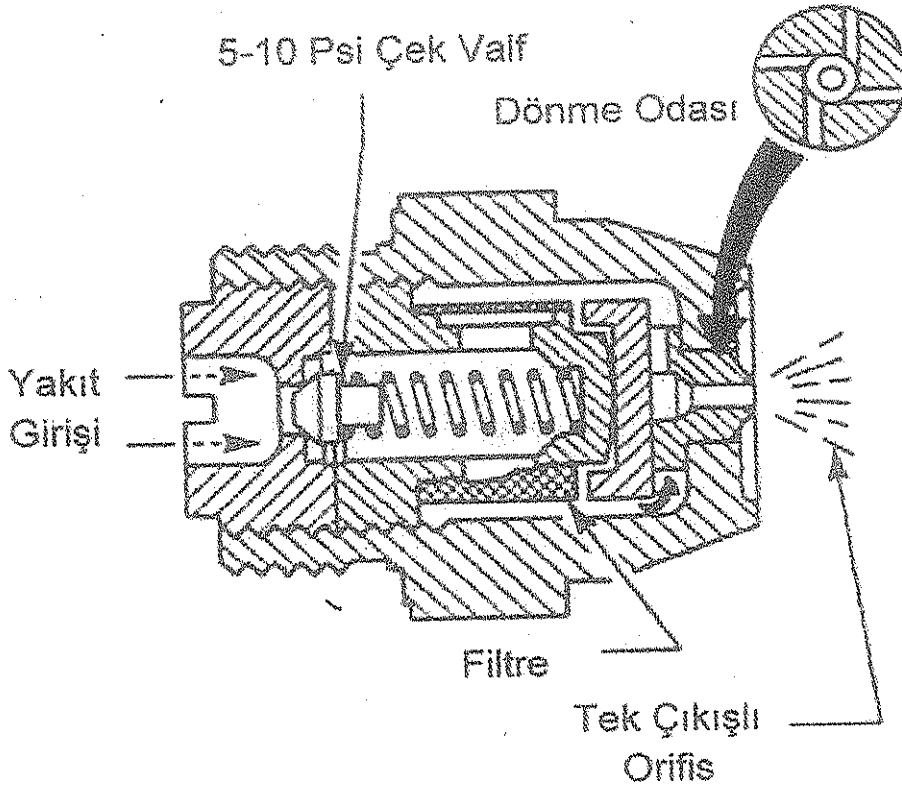
Bu tip atomizörler küçük ve yuvarlak çıkışlı olarak dizayn edilmişlerdir. Bu durum, uç noktadan çıkan yakıtın daha iyi atomizasyonunu sağlayacaktır.

Simpleks atomizör içinde bulunan bir çek valf motor durdurulduktan sonra manifolddaki yakıtın yanma odasına girmesini önler. Simpleks yakıt atomizörü Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

### 6.2.3 Dupleks Yakıt Atomizörleri

Bu tip atomizörler genel olarak iki tiptedir:

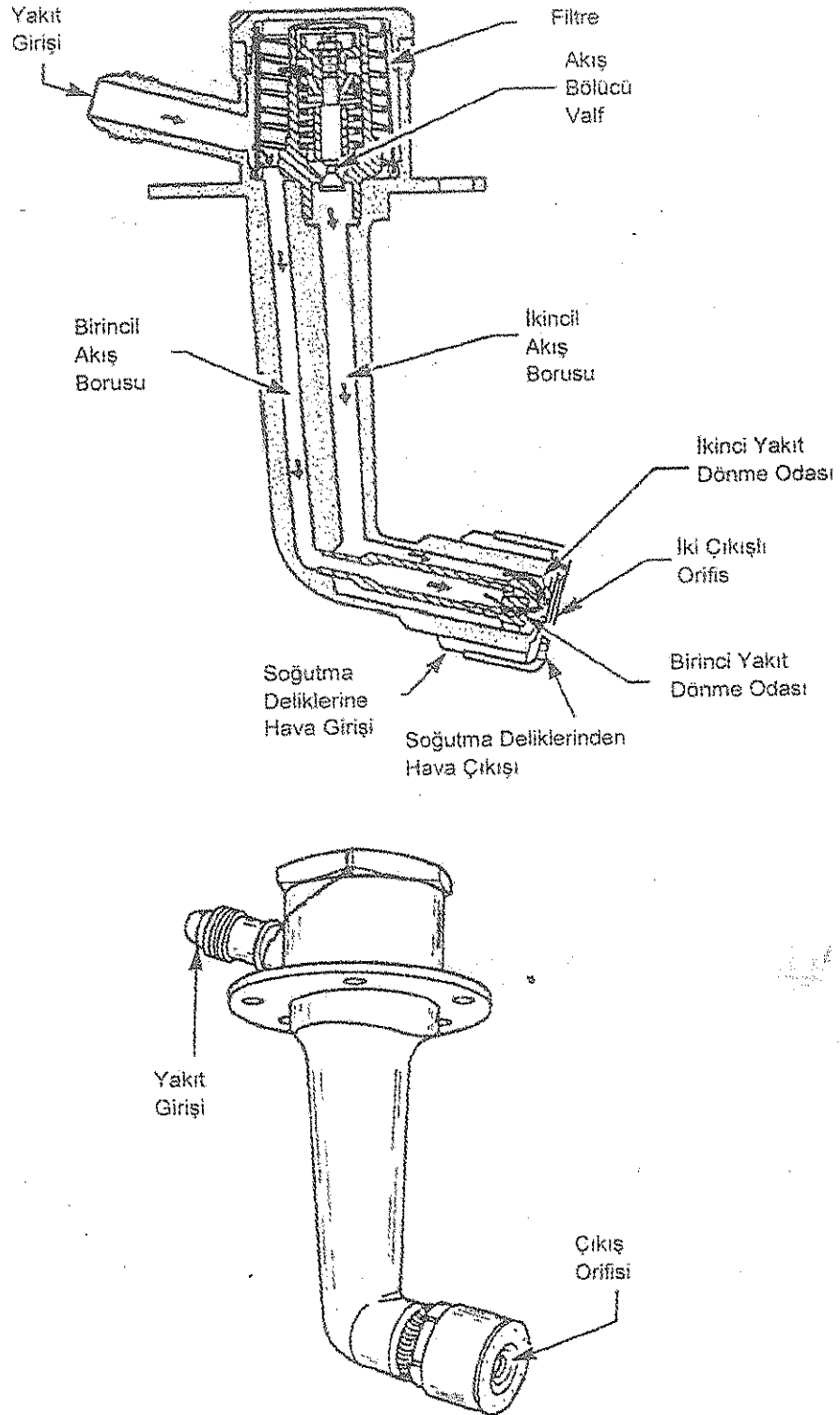
- a. Tek hatlı
- b. Çift hatlı



**Şekil 6.2: Simpleks Yakıt Atomizörü**

**a. Tek Hatlı Dupleks Yakıt Atomizörü**

Tek hatlı dupleks yakıt atomizörleri için Şekil 6.3 verilmiştir. Bu tipte, yakıt önce iki ayrı püskürtme ucuna ayrılır. Birincisi pilot ya da birincil yakıt olarak adlandırılır. Bu hat motor çalıştırmada ya da rolanti konumunda geniş açıda yakıt püskürtür. İkincil yakıt olarak adlandırılan diğer hat ise motor çalışırken motorun yakıt ihtiyacını karşılar. Bu iki uçta da dairesel döngü sağlanarak yakıtın daha iyi atomizasyonu sağlanır. Bu durum yakıt hava karışımının basınçlandırılmasını da sağlar.



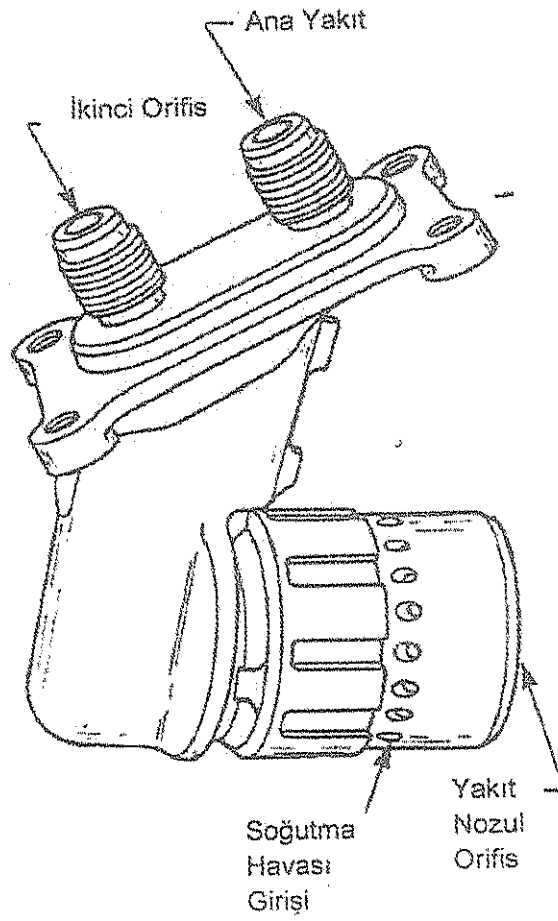
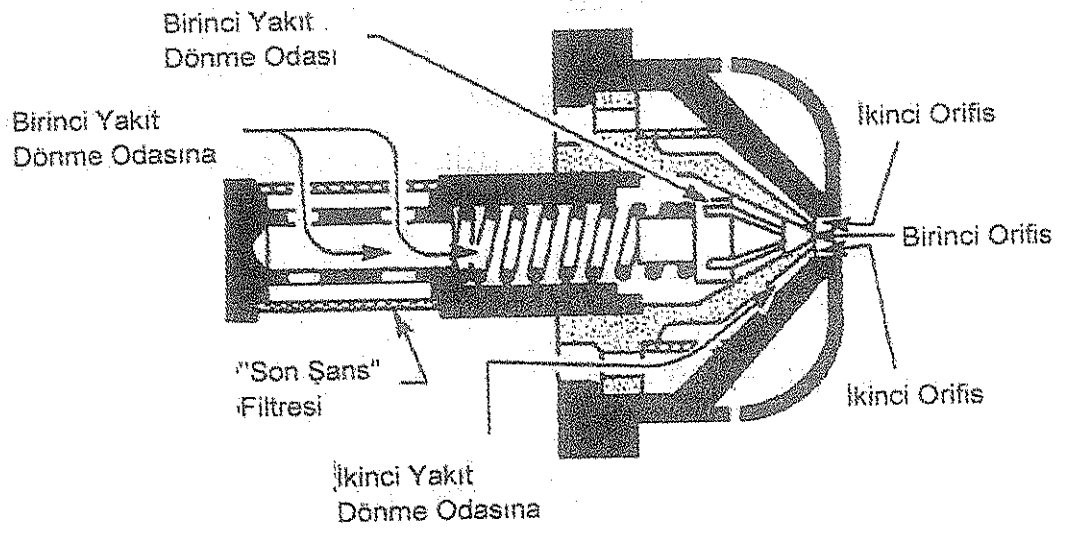
**Şekil 6.3: Tek Hatlı Dupleks Yakıt Atomizörü**

### **b. Çift Hatlı Dupleks Yakıt Atomizörleri (Şekil 6.4)**

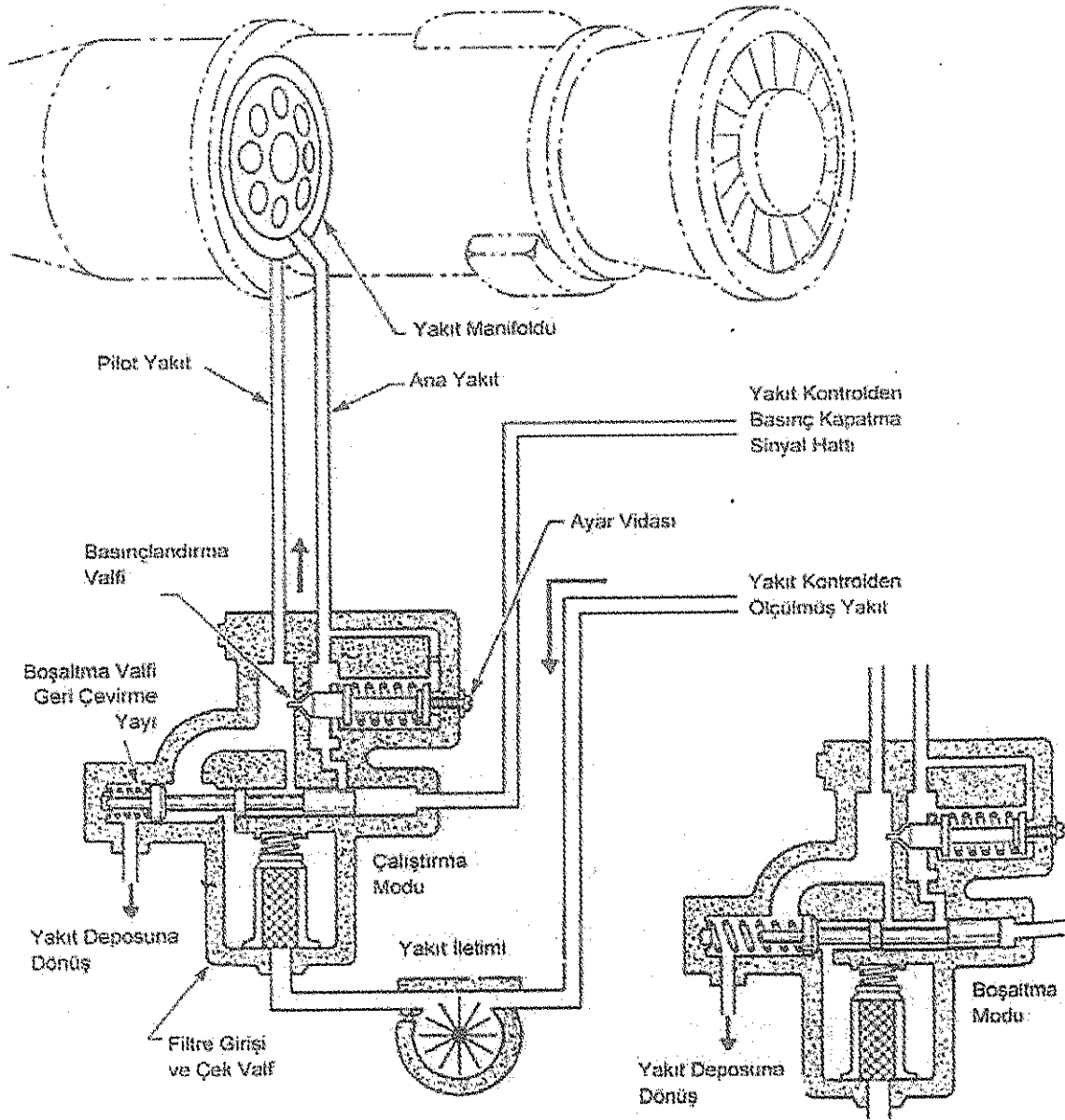
Bu tip atomizörlerde birincil ve ikincil yakıt hattını birbirinden ayıran bir çek valf vardır. Bu çek valf sistemi basınçlandırma ve boşaltma valfi (Pressurizing and Dump valve) ile donatılmıştır. Şekil 6.5'de bu sistemin çalışması görülmektedir.

### **6.2.4 Hava Püskürtmeli Yakıt Atomizörleri**

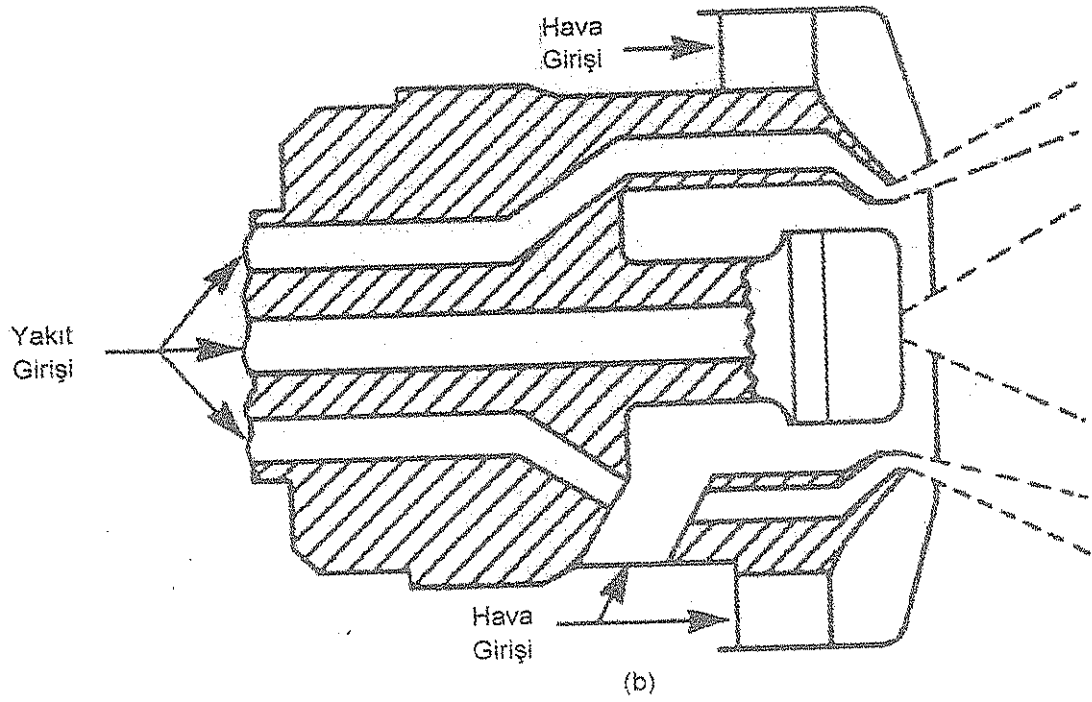
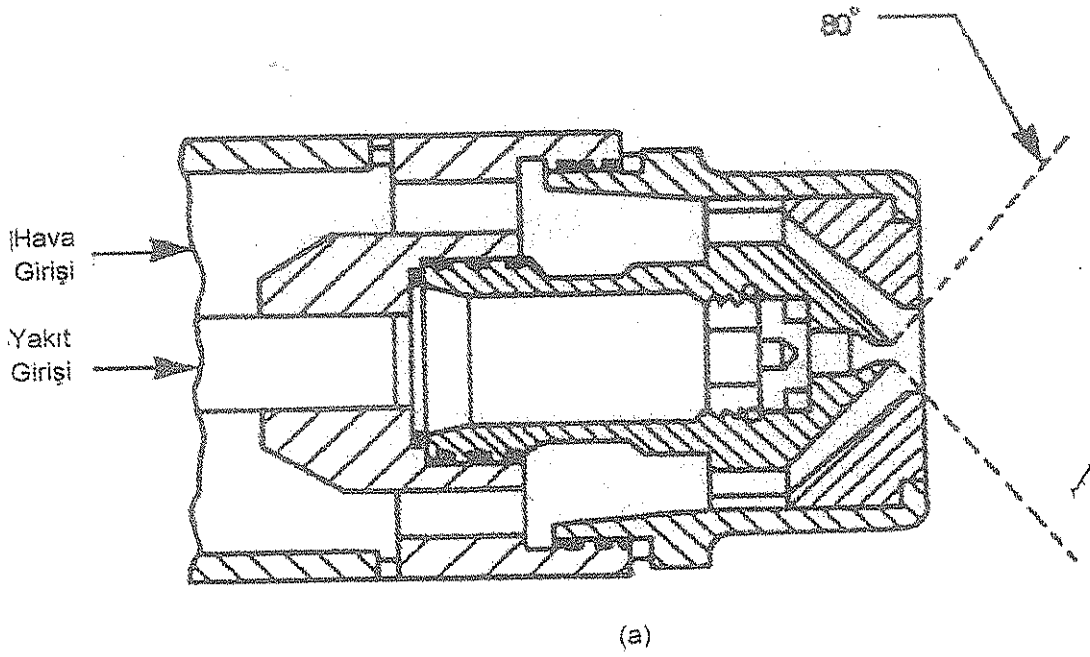
Hava püskürtmeli yakıt atomizörleri son yıllarda geliştirilen ve her türlü motorda geniş kullanım kolaylıklarına sahip olan bir tiptir. Bu sistemde yakıt damlacıkları mükemmel bir şekilde atomize edilebilmektedir. Bu tip atomizörlerde motorun ilk çalışma sırasındaki atomizasyon problemi ortadan kaldırılmıştır. Yüksek hızlardaki hava akışı düşük basınçlardaki yakıtın tamamen atomizasyonunu sağlar. Şekil 6.6'da Simpleks ve Dupleks tip hava püskürtmeli yakıt atomizörleri verilmiştir.



**Şekil 6.4: Çift Hatlı Dupleks Yakıt Atomizörü**



**Şekil 6.5: Basınçlandırılma ve Boşaltma Valfi**



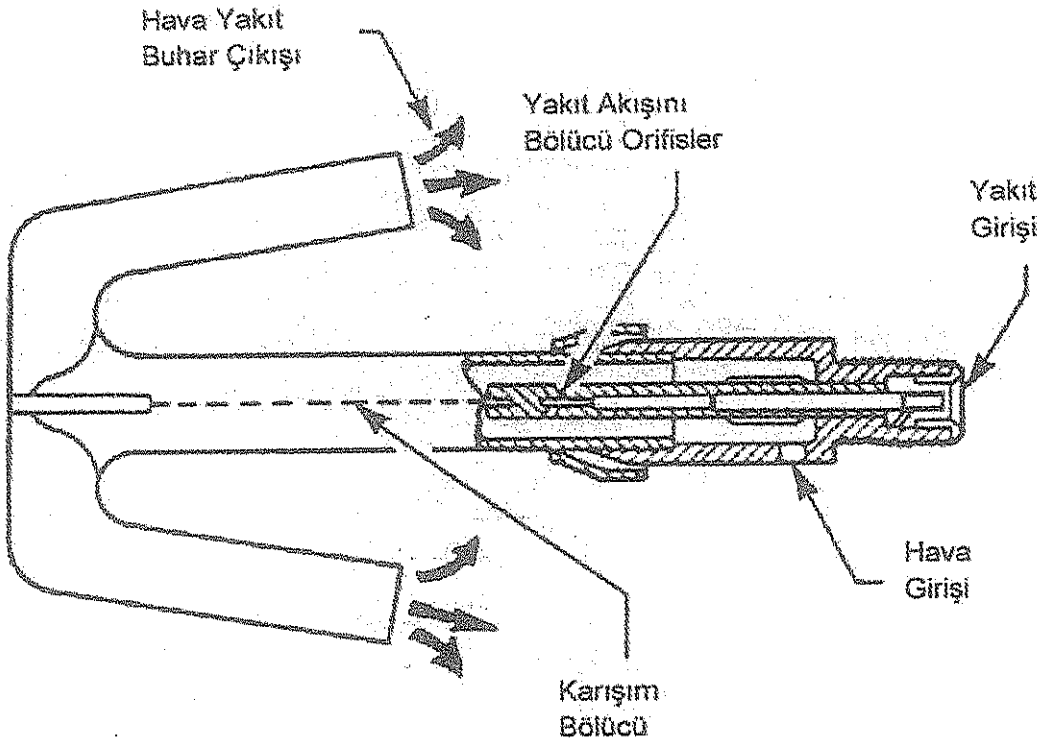
(a) Simpleks Tip  
(b) Dupleks Tip

Şekil 6.6: Hava Püskürtmeli Yakıt Atomizörleri

### 6.2.5 Buharlaştırmalı Yakıt Nozulları

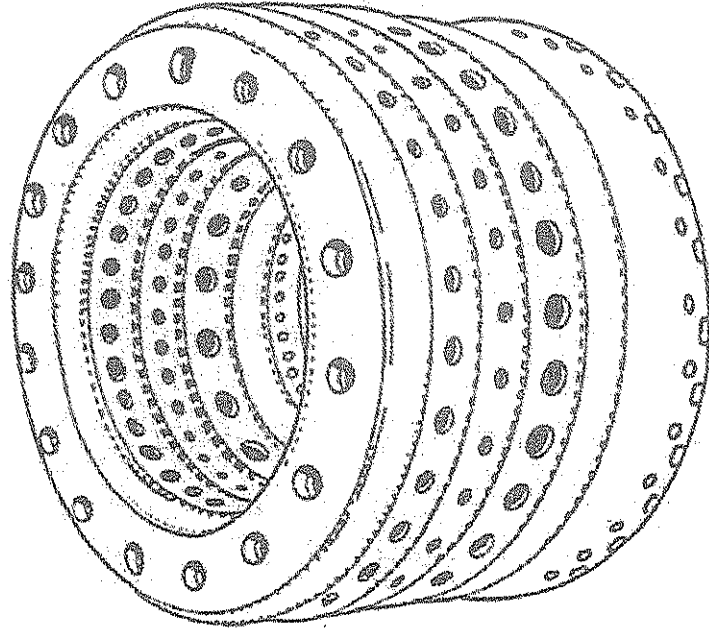
Şekil 6.7'de gösterilen buharlaştırmalı yakıt nozulunda yakıt çıkışı bir yakıt manifolduna bağlanır. Yakıt doğrudan yakıt hattına taşınmak yerine buharlaşma tüpüne gönderilir ve hava ile yakıt önceden burada karıştırılır. Tüpün etrafındaki yanma ısısı yakıtın alev bölmesine gelmeden önce yanmasını sağlar (Şekil 6.8).

Atomizasyonlu tiplerin tersine bir akış yönü çizerek karışımın 180 derecelik bir açı yaparak akışı sağlanır. Bu durum yakıt akış hızını azaltır, akışın daha geniş bir tarafa yayılmasını sağlar ve yakıcının ömrünü uzatır.

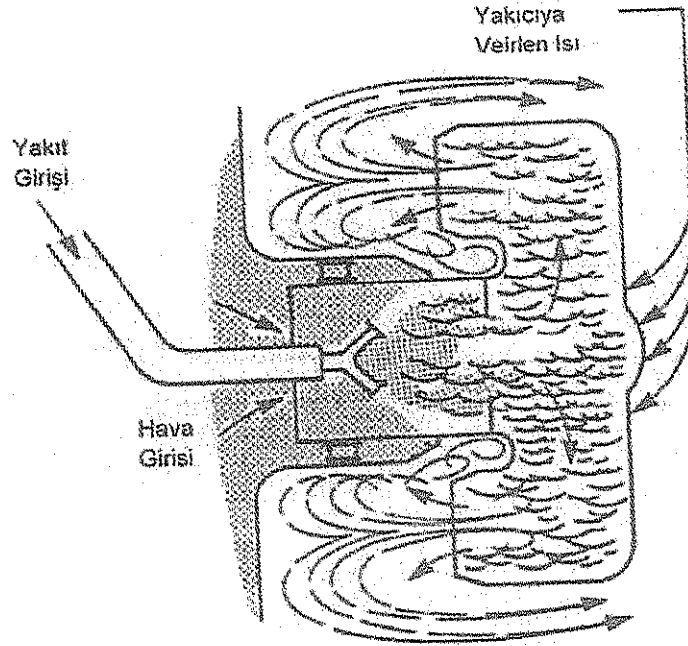


Şekil 6.7: Buharlaştırmalı Tip Yakıt Nozulu





(a)



Yakıt Buharlaştırıcı

(b)

Şekil 6.8: (a) Buharlaştırma Tüpünün Yakıcıya Yerleştirilmesi  
(b) Buharlaştırıcı Tüpün Çalışması

## 7- ATEŞLEME

### 7.1. Giriş

Gaz türbünleri için yer çalıştırmalarında kolay ateşlenmeleri ve rölanti devrine kadar da emniyetli ve kolay bir şekilde yükselmeleri önemlidir. Uçak motorları için buna ilave olarak, uçuş sırasında motor durur ise yeniden havada çalışmasının kolay olması gerekir.

Kötü hava şartlarında veya ıslak bir pist üzerinden kalkış sırasında bol miktarda su veya buzun motora girmesi ateşleme için bir risktir. Ancak bu şartlarda dahi ateşleme sistemi alev sönmesi halinde yeniden ateşleme yaparak motorun çalışmasında devamlılığı sağlamak zorundadır.

Sıkıştırılabilir bir karışımda ateşleme değişik şekillerde sağlanabilir, örneğin; elektrik arki/kıvılcımı, hariçten ısıtılan sıcak bir yüzeye temas veya yanma reaksiyonunun kendi kendine başlayacağı sıcaklığa veya basınca yükseltilmesi ile işlem kendiliğinden gerçekleşebilir.

Gaz türbinlerinde genellikle ateşleme için elektrik arki oluşturma konusu incelenmektedir. Heterojen bir karışımı türbülanslı bir ortamda ve 25 m/s mertebesinde bir hıza sahipken karışımı ateşlemek için bol miktarda enerjiye ihtiyaç olduğu bilinmektedir.

Son yıllarda, hava ve yakıt karışımlarının ateşlenmesi için gerekli minimum enerjinin tespiti amacıyla, akış parametreleri ve elektrik miktarı ile ilgili pek çok deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Ayrıca yakıt özellikleri, konsantrasyon, bujinin yakın çevresinde yakıt buharı olup olmaması gibi konular da ateşleme performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Motorun daha yüksek uçuş hızları ve yüksek sıkıştırma oranlarına doğru sürekli gidişi, ateşleme ünitesi ve bujinin çalışmak zorunda olduğu çevre şartlarını önemli ölçüde olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda, ateşleme sisteminden; güvenilirliğin, ömrün ve performansın sürekli iyileştirilmesi istenmektedir.

## 7.2. Yanma Performansı

Bir uçak motorunda yanma performansı denildiğinde, bu irtifada motor durduktan sonra tekrar çalışabileceği uçuş şartları kastedilir. Bir motorun yeniden çalışabilme kabiliyetinin tespiti amacı ile, farklı uçuş şartlarını temsil edecek şekilde yanma odası giriş parametreleri değiştirilerek bir seri yanma odası ayar testleri yapılması alışılmış bir yöntemdir. Test yöntemleri motor kararlılık limitlerinin tespiti için yapılan testlere benzerdir. Yanma odası giriş sıcaklığı, basıncı ve hava akış kütlesi sabit tutulurken farklı yakıt/hava oranlarında ateşleme denenir.

Buji ateşliyorsa ateşlemenin başarılı olduğu kabul edilir. Her ateşleme denemesinde maksimum süre normalde 10 sn olmakla birlikte 3 sn'ye kadar da düşürülmektedir. Yöntem komple bir yanma çevrimi tamamlanıncaya kadar tekrarlanır.

### 7.3. Buji Ateşlemesi

Gaz türbinleri için en yaygın ve güvenli ateşleme yöntemi ya kıvılcım ya da ark deşarjı şeklindeki elektrik deşarjıdır. Isıtılmış bir yüzey yardımı ile veya sıcak gaz ile ateşleme uçak motorları için ekonomik değildir (bol miktarda gaz gerektirir). Diğer yandan kıvılcım veya ark deşarjı ise elektrik enerjisini ısıya iyi çevirmez ve çok küçük bir bölgede ısı konsantrasyonu artar. Bu nedenle hem ateşleme enerjisinin miktarı, hem de süresi ayrı ayrı incelenmelidir.

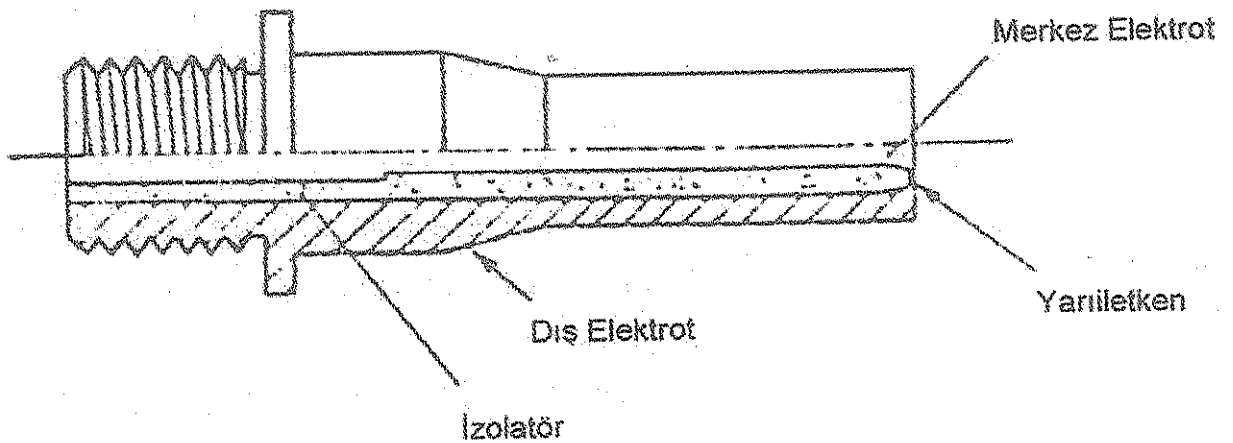
Temel bir ateşleme sistemi voltaj jeneratörü, kurşun ve ateşleyici bujiden oluşur. Fonksiyonu elektrik sisteminden alınan enerjinin çok kısa bir darbe (pulse) şeklinde bujiye gönderilmesidir. Wharton ve Carr iki genel sistem tipini açıklamışlardır. Birincisi basit yüksek gerilimli bir sistem olup 12 volt enerjiyi yaklaşık 15 kV' a yükseltmekte ve enerjiyi bujinin tırnakları arasında 50 mJ' lük bir enerji ile dakikada 300 kez serbest bırakmaktadır.

İkinci sistem ise yüksek enerjili ateşleme sistemidir. Çalışma voltajı genellikle 2 kV'dur. Birinci sisteme göre farkı, enerji, bujiden doğrudan serbest bırakılmaz, deşarjdan önce belli bir seviyeye yükselmesi beklenir.

Küçük bir gaz türbinindeki bu tip uygulamada enerji oranı yaklaşık 2 J ve kıvılcım oranı da dakikada 250 civarındadır. Daha büyük motorlarda ise depolanan enerji normal olarak 4 ile 12 J arasındadır ve saniyede bir civarında ateşleme yapılır, serbest kalan enerji miktarı ise buji dizaynına bağlı olarak 2 ile 4 J arasındadır.

Yüksek enerjili sistem yüzeyden deşarj yapan buji (surface-discharge igniter plug) ile kullanıldığında çok etkilidir. Bu, merkezde bu elektrot ile topraklanmış bir dış elektrottan oluşur ki elektrotlar seramik bir izolatör ile ayrılmışlardır.

Şekil 7.1'de görüldüğü gibi seramik izolatör, ateşleme ucunda sona erer ve ince bir tabaka yarı iletken malzeme içerir. Yarı iletken, kontaklar arasında iyonlaştırmayı kolaylaştırarak nispeten düşük voltajlı bir sistemden enerji üretilmesini sağlar.



**Şekil 7.1: Yüzey Deşarjlı Buji**

Yüzey deşarjlı buji, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, tarafından 1940'ların sonunda geliştirilmiştir. 1950'lilerin başlarında ise hemen hemen tüm uçak motorlarında standart donanım olarak kabul edilmiştir.

#### 7.4. Ateşleyici Ömrü

Uçak motorlarında servis ömrünün sürekli artması, plansız bakım ve parça değiştirme ihtiyaçlarının ortadan kaldırılması için ateşleyicinin ömrünün en az motor servis ömrü kadar olmasını gerektirmektedir.

Deneyimler göstermiştir ki, yüzey deşarjlı ateşleyicilerin ömrünü enerji bırakma oranları ile çalışma şartları belirlemektedir. Her kıvılcım, elektrotlar üzerinde küçük bir aşınmaya ve sonunda bir erezyona neden olur ki en sonunda yarı iletken ve elektrotların hasarlanması ile neticelenir. Yüksek enerji oranının erozyon oranını arttıracığı açıktır.

Buji ömrünü etkileyen erezyona karşı, metal miktarını arttırmak için merkezi elektrodun çapı arttırılmalıdır. Ancak, yanma odası için hava akışına karşı aerodinamik bir engel oluşturmaması için bujinin dış çapının arttırılması istenmez. Bu nedenle dış çap sabit iken iç çap arttırmak da iki elektrot arasındaki mesafeyi azaltır. Bu da buji ömrünü arttırırken ateşleme enerjisini azaltır.

Ateşleme enerjisini azaltmak pahasına ömür uzatmak kısmen mümkündür. Testler ateşleme enerjisini 1/4'e düşürecek şekilde merkezi elektrodun çapının arttırıldığında, buji ömrünün 5 kat arttığını göstermiştir.

Buji ömrünü etkileyen faktörlerden biri de sıcaklıktır. Yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda buji yüzeyindeki sıcaklık 600 C' in üzerine çıktığında oksidasyon nedeniyle erozyon hızlanmakta ve elektrot ile yarıiletken arasındaki temasın kaybolması sonucu buji ömrü kısalmaktadır. Bir başka faktör de yarıiletkene yakın bölgedeki gazın kimyasal bileşimidir.

Bu sorunların üstesinden gelebilmek için buji çevresinden bir film şeklinde soğutma havası geçirilmesi, açılır kapanır tipte buji dizayn edilmesi düşünülmüş ancak bunlar gerçekleşmemiştir. Yüksek sıcaklıkta ve oksitleyici bir ortamda uzun süre çalışabilecek yarıiletken üretimi ve kıvılcım enerjisi ihtiyacını azaltarak daha büyük hacimde merkezi elektrot dizaynı üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

### 7.5. Bujinin Yeri

İlk gaz türbünlerinde buji bazen rasgele, bazen de kolay ulaşılabilecek, kolay değiştirilebilecek yerler esas alınarak yerleştiriliyordu. Fakat çağımızda bujinin konacağı yerin, hem ateşleme performansını hem de buji ömrünü doğrudan etkilediği anlaşılmıştır.

Buji, yanma odası içinde yeri "birinci bölge" (primary zone) olup, kıvılcım tarafından ısıtılan sıcak hava akımının geri dönmesi ile birlikte yanma odası içinde döner. Bu, yanmada sürekliliği sağladığı gibi yanmış gazın yanma odası içinde dönmesini ve "birinci bölge" nin tamamının alevle dolmasını sağlar.

Testler, bujinin yanma odası içinde en yaygın yerin yakıt nozulunun konumuna göre ayarlamak kaydıyla merkeze en yakın yer olduğunu göstermiştir.

Buji yüzeyinde karbon artıkları birikmesi, aşırı ısınmaya neden olmakta bu da buji ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenlerle buji genellikle silindirik yüzeyin kenarına ve spreyn dış kenar bölgesine yerleştirilmektedir. Burada dikkat edilen nokta bujinin doğrudan püskürtülen yakıt nedeniyle ya da yanma odası duvarından akan yakıt nedeniyle ıslanmaması gereğidir.

## 7.6 Tutuşma Performansı

Tutuşma performansını etkileyen ana faktörler ateşleme sistemi, akış değişkenleri ve yakıt parametreleridir.

### 7.6.1 Ateşleme Sistemi

Enerji, süre ve kıvılcım değarj frekansı ateşleme sisteminin tasarımına, bujinin tasarımına ve kondansatörün depolama kapasitesine bağlıdır. Bu faktörler sadece birinci safhayı etkiler. Genellikle, kondansatörün değarj sırasında serbest kalan enerji hız, açıklık miktarı ve basınç artıkça artar.

### 7.6.2 Akış Değişkenleri

Ana akış değişkenleri basınç, sıcaklık, hız ve türbölans olarak incelenmiştir.

#### Hava Basıncı

Deneyimler, verilen basıncın minimum ateşleme enerjisini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Minimum ateşleme enerjisi basıncın karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir.



### Hava Sıcaklığı

Mevcut tüm bilgiler hava sıcaklığının düşmesinin tutuşma için zararlı olduğunu göstermektedir. Çünkü karışımı reaksiyon sıcaklığına getirmek için daha çok ısı enerjisi gerekecek, buharlaşma oranı düşecek ve tutuşma için daha çok kıvılcım enerjisi gerekecektir.

### Hava Hızı

Hava hızı, tutuşma işleminde birinci ve ikinci safhayı etkiler. Birinci safhadaki etkisi komplekstir. Hava hızının artması kıvılcım çekirdeğini akış yönünde uzatır, fakat aynı zamanda serbest kalan enerji miktarı ve ısı kaybı artar. Bu ısı kaybı hız ile hemen hemen doğrusal olarak artar ki bu kayıp kıvılcım enerjisinin arttırılması ile karşılanmalıdır. Hızın arttırılması ikinci safhayı ters yönde etkiler çünkü kıvılcım çekirdeğinin tüm birinci bölgeye yayılması için yeterince zamanı yoktur.

### Türbülans

Kıvılcım çekirdeği elektrottan ayrılıp da sirkülasyon bölgesine girdiğinde, hava ile akmaya başlar ve hava hızı çok fazla etkilemez, ancak türbülans arttıkça ısı kaybı önemli ölçüde artar. Pratikte birinci bölgedeki türbülans seviyesi lineer duvarındaki basınç düşmesi ile belirlenir.

### 7.6.3 Yakıt Parametreleri

#### Yakıt Tipi

Pratik yanma sistemlerinde, tutuşma performansı yakıt özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir. Buharlaştırma oranı iki ana faktörden etkilenir:

1. Yakıtın uçuculuğu (Reid buhar basıncı ile ifade edilir),
2. Spreyin toplam yüzey alanı,

#### Yakıt/Hava Oranı

Alev hızı ve alev sıcaklığı en yüksek değerde iken birinci bölgede yaklaşık olarak stokiometrik karışım elde edilmesi en iyi çalışma şartlarını oluşturur. Ancak birinci bölgedeki ortalama yakıt/hava oranından ziyade efektif yakıt/hava oranının tutuşma performansı üzerinde etkisi vardır. Birinci bölgedeki efektif yakıt/hava oranı stokiometrik ise tutuşma şartları idealdir.

#### Sprey Karakteristikleri

Motorların çalıştırılmaları sırasında yakıt atomizörünün uygun şekilde değiştirilmesi ile önemli gelişmelerin sağlandığı çok iyi bilinmektedir. Normal olarak yakıt damlacıkları yanma odalarında, özel olarak atomize edilmediklerinde, damlacıklar büyük olduğundan yeterince buharlaşmazlar.