

## İçten Yanmalı Motorlar

### GİRİŞ ve SINIFLANDIRMA



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

### Tanım ve kapsam

- **İçten yanmalı motor:** Piston, rotor veya çarklarının hareketi ile hacmi değişen bir ya da daha çok silindir veya hazne içerisindeki aralıklı ya da sürekli yanma ile çıkış gücü sağlayan ısı motoru
- **İçten yanmalı:** çalışma maddesi yanma işlemine katılıyor.
- Bu ders; içten yanmalı motorların tarihsel gelişimi, çeşitleri, temel teorik ve gerçek çevrimleri, performansları ve emisyonları ile ilgili teorik bilgileri kazandırmayı kapsar.
- Ders, karayolu taşıtlarının tahrikinde kullanılan **pistonlu içten yanmalı motorların (IYM)** tasarım ve performans karakteristiklerine odaklanmaktadır.

### Dersin amaçları

*Dersin öğrenme-öğretme etkinliklerini başarıyla gerçekleştiren, ÖĞRENCİ;*

- İçten yanmalı motorların bugüne kadar geçirdiği evreleri ve çeşitlerini açıklayabilir.
- İçten yanmalı motorların teorik çevrimlerini, her çevrimin durum özellikleri ve verim hesaplamalarını yapabilir.
- Gerçek çevrimin teorik çevrimlerden farklılıklarını ve gerçek çevrim analizini tanımlayabilir.
- Benzin ve dizel yanması farklılıklarını karşılaştırabilir.
- Temel performans parametrelerini tanımlayabilir ve hesaplamalarını yapabilir.
- Egzoz emisyonlarını ve kontrol yöntemlerini açıklayabilir.

### Konular

1. İçten yanmalı motorların tarihsel gelişimi, sınıflandırılması, avantaj ve dezavantajları
2. Hava standard çevrimler, sabit hacim çevrimi
3. Sabit basınç ve karma çevrimler
4. Teorik emme-egzoz işlemleri, durum özellikleri, çeşitli kriterlere göre çevrimlerin verimlilik yönünden karşılaştırılması
5. Süperşarjlı motor çevrimleri
6. Gerçek çevrimin teorik çevrimden farklılıkları, otto ve dizel motorlarında zamanlar, gerçek çevrimlerin P-V ve supap zaman diyagramları
7. Yakıtlar
8. Ara sınav
9. Yanma
10. İçten yanmalı motorlarda yanıcı karışımın hazırlanması, yakılması, basınç-krank açısı diyagramı ile yanmanın fazları
11. İçten yanmalı motorların tork, güç, özgül yakıt tüketimi, ortalama basınç, hacimsel ve ısı verimleri, bunlara etki eden faktörler
12. İki zamanlı motorlar
13. Wankel motorları, yapısal özellikler, prensipler, güç çıkışı, performans, konstrüksiyon
14. Hava kirliliği, başlıca kirleticiler, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan kirleticiler, yasal sınırları ve azaltma yolları

### Değerlendirme

Teknik Seçimlik Dersler		D	U	K	Z/S	ECTS
MAK430	İÇTEN YANMALI MOTORLAR	3	-	3	S	5

- Ara sınav, yönetimde açıklanan tarihte yapılır.
- Derslere % 70 devam zorunluluğu bulunmaktadır. %70 devam koşulunu sağlayamayan öğrenciler yarıyıl sonu sınavına alınmayacak ve F2 notu verilecektir.

Quizler	%20
Ara Sınav	%35
Dönem Sonu Sınavı	%45

### Motorların sınıflandırılması

Otomotiv alanında, buji ile ateşlemeli ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarının her ikisi de kullanılmaktadır.

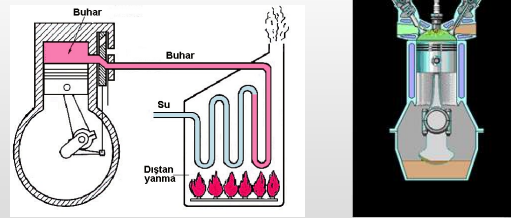
- 75 kW'ın üzerindeki motorların çoğu dizel
- Motorların çoğu dört zamanlı, su ile soğutmalı ve üstten supaplı
- Bir, iki, üç, dört, beş, altı, yedi ve sekiz silindireli motorlar kullanılır.
- Taşıt motorlarından en az 10000 – 15000 saatlik bir güvenli çalışma süresi beklenmektedir.

### Parçalarının hareketlerine göre

- Git-gel hareketi yapan (pistonlu) motorlar
- Dönel (wankel, turbo) motorlar
- Roket (hareketli parça yok, reaksiyon) motorları

### Yanmanın olduğu ortama göre

- İçten yanmalı motorlar
- Dıştan yanmalı motorlar
- Birleşik motorlar



### Yanma biçimine göre

- Sürekli yanmalı motorlar
- Aralıklı yanmalı motorlar

### Kullanım amacına göre

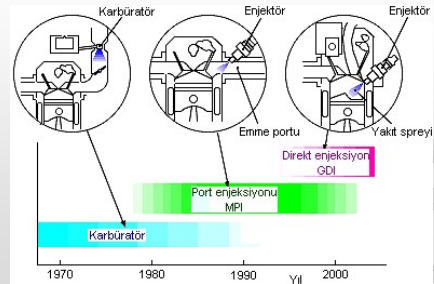
- Sabit tesis motorları (jeneratörler, pompa üniteleri, vb.)
- Taşıt motorları (otomobil, uçak, tren, vb.)

### Kullanılan yakıt türüne göre

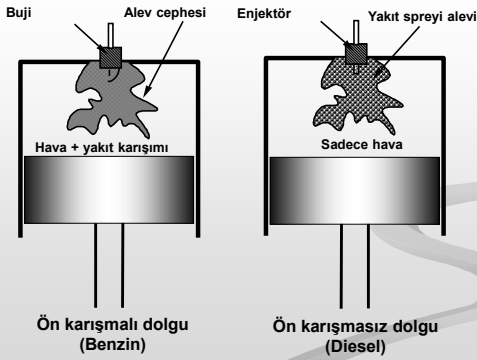
- Hafif sıvı yakıt kullanan motorlar
- Ağır sıvı yakıt kullanan motorlar
- Gaz yakıt kullanan motorlar
- Katı yakıt kullanan motorlar
- İki, çift ve çok yakıtlı motorlar

### Karışımın oluşturulması metoduna göre

- Ön karışmalı dolgu motorlar
- Ön karışmasız dolgu motorlar



## Karışımın oluşturulması metoduna göre...

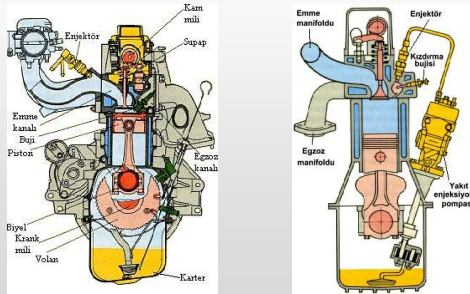


## Karışımın oluşturulması metoduna göre...

1. Karbürasyon
2. Yakıt enjeksiyonu
  - i. Diesel
  - ii. Benzin
    - (a) Manifold
    - (b) Port
    - (c) Silindir

## Ateşleme metoduna göre

- Buji ile ateşlemeli motorlar
- Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar
  - Pilot yakıt ateşlemeli motorlar



## Avantaj ve dezavantajlar

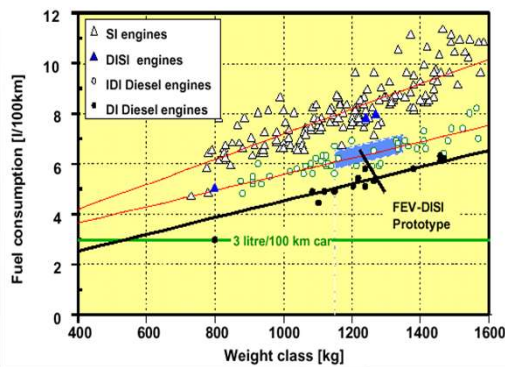
Buji ile ateşlemeli motorların üstünlükleri:

- Düşük ilk fiyat (alış fiyatı)
- Düşük servis-bakım maliyeti
- Düşük özgül ağırlık (güç ağırlığı ~ 2 kg/kW)
- Düşük ilk harekete geçirme çabası
- Geniş hız ve yük aralığı
- Yüksek mekanik verim
- Yüksek sıkıştırma oranlarında ve tam gazda, oldukça düşük özgül yakıt tüketimi (SAM kadar iyi değil ~285 g/kWh)

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorların üstünlükleri:

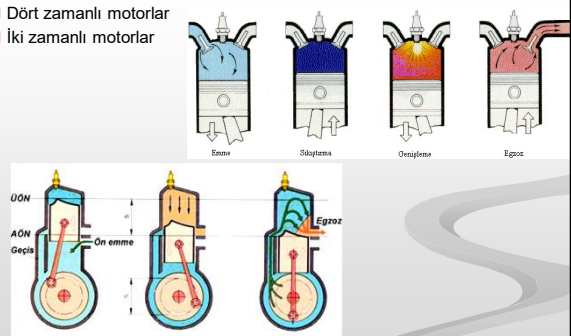
- Yakıt tüketiminde % 25..40 azalma ve yakıt fiyatının genellikle daha düşük olması, b<sub>0</sub> ~190..285 g/kWh
- Yüksek düşük hız torku
- Güç yaklaşımı, karışımın oluşturulması ve yanma sırasında havanın oldukça etkili kullanımı (BAM kadar iyi değil),
- İmalat fiyatlarının giderek buji ile ateşlemeli motorlara yaklaşması (halen % 20...25 daha pahalı)
- Egzoz gazları daha az kirlilici?

## Yakıt ekonomisi karşılaştırması



## İş çevriminin elde ediliş metoduna göre

- Dört zamanlı motorlar
- İki zamanlı motorlar



## Avantaj ve dezavantajlar

### Dört zamanlı çevrimin üstünlükleri:

- İki zamanlı karterden süpürmeli motorlarla karşılaştırıldığında; geniş hız ve yük aralığı
- Daha soğuk pistonlar
- Çok silindirli motorlarda ortak krank haznesi yapımı
- Daha kolay ve iyi yağlama
- Daha düşük özgül yakıt tüketimi
- Daha uzun ömür
- Daha az pompalama kayıpları
- Daha az egzoz kaçakları
- Daha az hidrokarbon emisyonları
- Daha kolay güç kontrolü (regülasyonu)

### İki zamanlı motorların üstünlükleri:

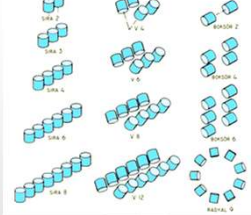
- Aynı hızda, dört zamanlı motorlara oranla, birim piston kursu için % 50-80 daha fazla güç çıkışı
- Supapsız tasarımlar için daha az parça ve düşük maliyet
- Egzoz zamanında vakit kaybı yok
- Düşük NO<sub>x</sub> emisyonları (BAM'larda)
- Herhangi bir konumda çalışabilme
- Aynı güç çıkışı için daha hafif ve ucuz

## Yük değişimini kontrol metoduna göre

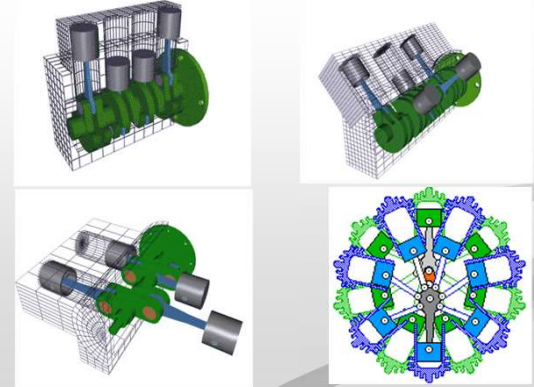
- Kalite kontrollü motorlar (karışımın yapısının değiştirildiği motorlar)
- Miktar kontrollü motorlar (karışımın miktarının değiştirildiği motorlar)
- Birleşik kontrollü motorlar (karışımın hem yapısının hem de miktarının kontrol edildiği motorlar)

## Mekanik tasarım özelliklerine göre

- Pistonlu motorlar
  - Silindir düzenlemesine göre
  - Piston düzenlemesine göre

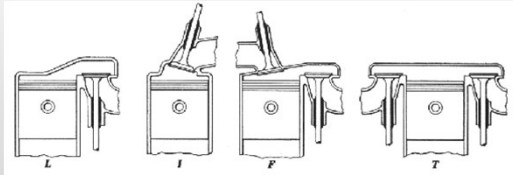


## Mekanik tasarım özelliklerine göre...



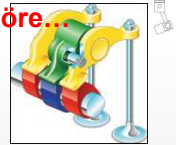
## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Supap ve port düzenlemesine göre
  1. Mantar başlı (poppet) supap
  2. Dönel supap
  3. Klepe, kelebek (reed) supap
  4. Piston kontrollü portlar
- Supabın yerine göre



## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Supap zamanlamasına göre
  - Sabit zamanlı
  - Değişken zamanlı (VVT)

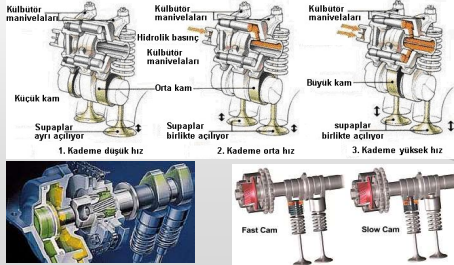


- VTEC sistemleri, emme supaplarının açılma zamanı ve/veya kalkma miktarını sürekli ayarlayarak motorun düşük devirlerde yüksek tork ve yüksek devirlerde yüksek güç üretmesini sağlamayı amaçlar.

## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Supap zamanlamasına göre...

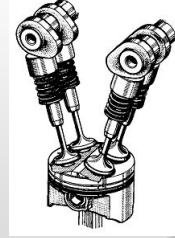
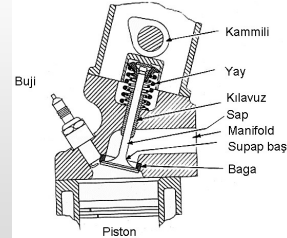
- Kam değiştiren VVT
- Kam fazını kaydıran VVT
- Kam değiştiren + kam fazını kaydıran VVT
- Rover VVC sistemi



## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Kam mili sayısına göre

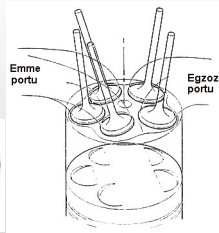
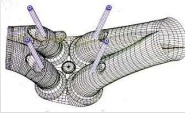
- (S)OHC
- DOHC



## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Supap sayısına göre

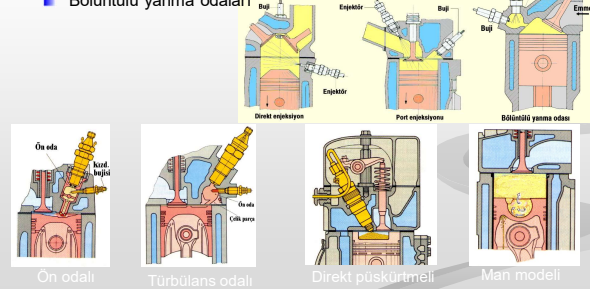
- 2 supaplı
- 3 veya daha çok supaplı



## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Yanma odası düzenlemesine göre

- Bölüntüsüz (açık) yanma odaları
- Bölüntülü yanma odaları



## Mekanik tasarım özelliklerine göre...

- Wankel (Rotatif - dönel) motorları

- Rotor, muhafazasında hareketli,
- Rotor sabit, muhafaza hareketli
- Rotor ve muhafazanın her ikisi de hareketli



## Avantaj ve dezavantajlar

Wankel motorlarının avantajları:

- Küçük boyutlar, hafiflik (aynı güç çıkışı için)
- Pistonlu motorlara oranla daha az sayıda parça
- Daha iyi emme ve egzoz işlemleri
- Supap yok (rotor ve contalar supap görevi yapar)
- Daha az sürtünme
- Düşük oktan sayısı ihtiyacı
- Düşük NO<sub>x</sub> emisyonları
- Salınım yapan parça yok, atalet problemi yok, salınım balanssızlığı yok
- Titreşimsiz çalışma

## Avantaj ve dezavantajlar...

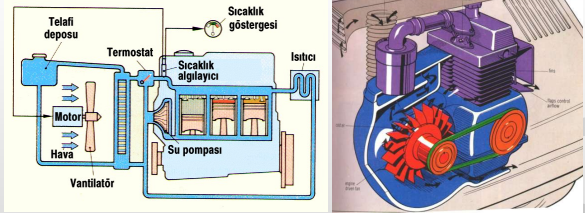
- Dezavantajları:
- Odacıklar arasında güvenli yalıtım güçlüğü (yüksek sıkıştırma oranlarının elde edilmesini güçleştirir.)
- Özgül yakıt tüketimleri fazla (düşük devirlerdeki düşük tork problemi)
- Çalışma ömürleri kısa
- Egzozdaki HC emisyonları fazla

ŞÇ

31

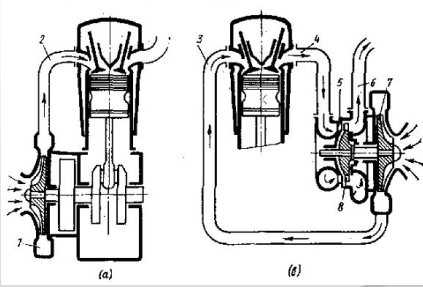
## Soğutma metoduna göre

- Sıvı (su, yağ, antifriz) ile soğutmalı motorlar
- Hava ile soğutmalı (açık - kapalı sistem) motorlar



## Dolgunun silindire alınışına göre

- Normal emişli motorlar
- Aşırı doldurmalı (süperşarjlı) motorlar



Süperşarjörler, (a) mekanik, (b) türbo

## Avantaj ve dezavantajlar

Süperşarjlı motorların üstünlükleri:

- Aynı boyutlardaki normal emişli motorlara oranla daha fazla güç (% 40 a kadar), ya da aynı güç için daha küçük kütle ve boyutlar
- Yüksek yakıt ekonomisi (ısı verim % 45)
- Türboşarjörle hava basıncına daha az bağımlı, yüklerde de etkili çalışabilme
- Egzoz gazları daha az kirlenir
- Daha sessiz çalışma

## Kalite karakteristikleri

İçten yanmalı motorların kalitesini gösteren temel karakteristikler:

- Tüm tasarım elemanlarının güvenilirliği ve servis ömürleri
- Isı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme yüzdesi (Isıl verim ya da özgül yakıt tüketimi)
- Silindir süpürme hacmine ya da piston alanına bağımlı özgül güç
- Birim güç için motor kütlesi (özgül kütle) ve motorun boyutları
- Egzoz gazlarının kirliliği ve duman miktarı
- Motorun çalışması sırasındaki gürültü düzeyi
- Motorun tasarım basitliği ve servis kolaylığı (Düşük bakım ve performans fiyatı)
- Motorun güvenilir ilk hareketi
- Tasarım ihtimalleri (motorun gücünün artırılabilmesi, ekonomisinin iyileştirilmesi ve karakteristiklerinin geliştirilmesi ile modernleştirilmesi)
- Değişik görev ve farklı şartlardaki çalışmalara iyi uygulanabilirliği

## Yararlanılan kaynaklar

- BORGNACKE, C. and R. E. SONNTAG "Fundamentals of Thermodynamics" 8th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2013
- BURGHARDT, M. D. and J. A. Harbach "Engineering Thermodynamics" 4th Ed. HarperCollinsCollegePub. New York, 1993
- CENGEL, Y. A. and M. A. Boles "Thermodynamics - An Engineering Approach" 5th Ed. McGraw-Hill, 2004
- CROUSE, W. H. "Automotive Engine Design" McGraw-Hill, New York, 1970.
- FERGUSON, C. R. and A. T. KIRKPATRICK, "Internal Combustion Engines Applied Thermosciences" 3RD ED. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2016
- GANESAN V. "Internal Combustion Engines" 2nd ed. Tata McGraw Hill, twelfth print New Delhi, 2006
- HEISLER, H. "Advanced Engine Technology" Reprinted by Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002
- HEYWOOD, J. B. "Internal Combustion Engines Fundamentals" McGraw-Hill, Inc. New York, 1988
- LICHTY, L. C. "Combustion Engine Processes" McGraw-Hill, Inc. New York, 1967
- MORAN, M. J. "Engineering Thermodynamics" Mechanical Engineering Handbook, Ed. Frank Kreith, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
- OBERT, E. F. "Internal Combustion Engines and Air Pollution" Harper & Row, New York, 1973.
- PULKRABEK W. W. "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine" 2nd Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 2003
- SALAZAR, F. "Internal Combustion Engines" University of Notre Dame, Notre Dame, 1998
- STONE, R. and J. K. Ball "Automotive Engineering Fundamentals" SAE Pub. Warrendale, 2004
- TAYLOR, C. F. "Internal Combustion Engine in Theory and Practice" Vol I and Vol. II, 2nd ed., revised. Cambridge, Mass.: MIT Press, London, 1985



