

**MOTORLARDA SİLİNDİR İÇİ BASINÇ DEĞİŞİMİNİN  
TERMODİNAMİK MODELLENEREK BİR  
GRAFİK KULLANICI ARAYÜZ İLE SUNUMU**

**Ayden Sehhat İĞDIRI**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doç. Dr. M. Akif CEVİZ  
2012  
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MOTORLARDA SİLİNDİR İÇİ BASINÇ DEĞİŞİMİNİN  
TERMODİNAMİK MODELLENEREK BİR GRAFİK KULLANICI  
ARAYÜZ İLE SUNUMU**

**Ayden Sehat İĞDIRI**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ERZURUM  
2012**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

MOTORLARDA SİLİNDİR İÇİ BASINÇ DEĞİŞİMİNİN TERMODİNAMİK  
MODELLENEREK BİR GRAFİK KULLANICI ARAYÜZ İLE SUNUMU

Doç. Dr. M. Akif CEVİZ danışmanlığında, Ayden Sehhat İĞDIRI tarafından hazırlanan bu çalışma 02/08/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olara **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. M. Akif CEVİZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan TEMUR

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SİLİNDİR İÇİ BASINÇ DEĞİŞİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ İÇİN BİR GRAFİK KULLANICI ARAYÜZ TASARIMI

Ayden Sehhat İĞDIRI

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Akif CEVİZ

Yanma odası içerisindeki basınç ile krank mili açısı değişiminin elde edilmesiyle araştırmacılar birçok parametre hakkında rahatlıkla bilgi üretebilirler. Bu veriler deneysel yöntemler dışında iki farklı termodinamik analiz yöntemi ile üretilebilir; tek bölgeli ve iki bölgeli termodinamik modeller. Tek bölgeli modellerde yanmış ve yanmamış gazlar tek bölge gibi düşünülür. Bu modeller nispeten daha basittir ve yanma odası sıcaklığı ve yanma odasında yanma prosesi boyunca açığa çıkan kimyasal enerji hesaplanabilir.

Silindir içi basıncın bir diğer kullanım alanı ise eğitim faaliyetleridir. Lisans veya lisansüstü seviyede “İçten Yanmalı Motorlar” derslerinde, silindir içi basıncın, motor çalışma ve yapısal parametreleri ile değişimi konusunun izahı öğretim üyelerini zorlayan bir başlıktır.

Bu çalışmada, tek bölgeli termodinamik buji ateşlemeli motor çevrimi modeli kullanılmıştır. Diferansiyel denklemler MATLAB kullanılarak çözülmüştür. Ardından, bazı parametrelerin motor basınç çevrimi üzerindeki etkilerinin öğretiminde kullanılmak üzere kullanımı kolaylaştırmak ve interaktif hale getirmek için MATLAB’ın Grafikselleştirilmiş Kullanıcı Arayüzü kullanılarak bir program hazırlanmıştır. Son olarak, oluşturulan program ile sıkıştırma oranının silindir içi basınç ve indike verim üzerindeki etkileri incelenmiştir.

**2012, 39 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** İçten yanmalı motorlar, Çevrim modeli, Matlab, Grafikselleştirilmiş kullanıcı arayüzü (GUI).

## ABSTRACT

Master Thesis

### DESIGN OF A GRAPHICAL USER INTERFACE FOR THERMODYNAMIC ANALYSIS of IN\_CYLINDER PRESSURE VARIATION

Ayden Sehhat İĞDIRİ

Atatürk University  
Institute of Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Akif CEVİZ

From getting the pressure-crank angle history in the combustion chamber in an internal combustion engine, the researchers are capable of achieving information of a variety of parameters. This information can be achieved in two different ways except for experimental methods, namely one-zone and two-zone thermodynamic models. In the one-zone models, the burned and unburned gases are treated as one. This type of models is relatively simple and from one-zone models one can derive information about the bulk temperature and the chemical energy released by the combustion processes in the combustion chamber.

Another using area of in-cylinder pressure is educational activities. In under graduate or graduate level “Internal Combustion Engine” courses, the variation of in-cylinder pressure with engine operating or structural parameters is a very important subject that it can be challenging for instructors.

In this study a one-zone thermodynamic SI engine cycle model was used. The differential equations were solved using by MATLAB. Then, a user friendly Graphical User Interface (GUI) program was developed for teaching the effects of some parameters on engine pressure cycle. Lastly, the effects of compression ratio on in-cylinder pressure and indicated efficiency were examined by GUI program.

**2012, 39 pages**

**Keywords:** Internal Combustion Engines, Cycle model, Matlab, Graphical user interface (GUI).

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği ile beni sürekli gayretlendiren, bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, danışman hocam Sayın Doç. Dr. M. Akif CEVİZ'e teşekkür ederim.

Tezimin alışmaları esnasında yardımlarından dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdussamet SUBAŐI'ya teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, gösterdikleri özveri ve manevi desteklerden dolayı annem Hatije PURYAN ve babam Mahmut SEHHAT İĞDIRI'ye, kardeşim Arvin SEHHAT İĞDIRI'ye ve değerli katkılarından dolayı sevgili eşim Farnaz NIKKHAH'a ve varlığıyla bana güç veren biricik kızım Armita SEHHAT İĞDIRI'ye sonsuz teşekkür ederim.

Ayden Sehhat İĞDIRI

Temmuz 2012

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>8</b>
2.1. Silindir İçi Basınç Çevrimi ve Bazı İndike Motor Karakteristikleri .....	8
2.1.1. İndike iş .....	11
2.1.2. İndike güç .....	13
2.2. Termodinamik Çevrim Modeli.....	14
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>16</b>
3.1. MATLAB .....	16
3.1. MATLAB GUI .....	18
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>23</b>
4.1. Oluşturulan Grafik Kullanıcı Arayüz .....	23
4.2. Farklı Ateşleme Avansı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar ...	25
4.3. Farklı Yanma Süresi Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar .....	29
4.4. Farklı Özgül Isılar Oranı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar..	31
4.5. Farklı Sıkıştırma Oranı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar ....	33
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>37</b>
5.1. Sonuçlar ve Öneriler.....	37
KAYNAKLAR .....	38
ÖZGEÇMİŞ .....	40

## SİMGELER DİZİNİ

AÖN	Alt Ölüm Nokta
$A_p$	Piston yüzey alanı
CO	Karbon monoksit gazı
$C_v$	Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kgK)
F	Kuvvet (N)
D	Çap
$dV$	Pistonun kat ettiği diferansiyel hacim
KMA	Krank mili açısı (derece)
L	biyel kolu uzunluğu (m)
MBT	Maksimum Fren Tork (N.m)
m	Kütle (kg)
NO	Azot monoksit
n	Motor devir sayısı (d.dak <sup>-1</sup> )
P	Basınç (kPa)
$P_i$	İndike güç (kW)
R	Gaz sabiti (J/K mol)
S	Strok
ÜÖN	Üst ölü nokta
$V_h$	Yanma odası hacmi (m <sup>3</sup> )
$V_c$	Strok hacmi (m <sup>3</sup> )
W	İş (kJ)
$W_e$	Çevrim başına üretilen iş (kJ)
$W_i$	İndike iş
$W_f$	Fren işi
$W_s$	Mekanik sürtünme işi
$W_{net}$	Net iş
$W_{brüt}$	Brüt iş
$W_{pompa}$	Pompa işi
x	Kütlesel yanma oranı
x	Strok
$\theta$	Krank açısı (°KMA)
$\gamma$	Özgül ısılar oranı
$\varepsilon$	Sıkıştırma oranı



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Motor gerçek çevrimi .....	9
Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş.....	13
Şekil 3.1. MATLAB başlarken açılan pencere .....	17
Şekil 3.2. GUI oluşturmak için gereken elemanlar.....	19
Şekil 3.3. GUI çalıştığında açılan pencere.....	21
Şekil 4.1. MATLAB GUI figür yüzeyi.....	23
Şekil 4.2. MATLAB GUI kullanıcı arayüzü.....	24
Şekil 4.4. Farklı ateşleme avansları için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü.....	27
Şekil 4.5. Farklı ateşleme avansları için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi .....	27
Şekil 4.6. Farklı ateşleme avansları için silindir içi basınç silindir içi hacmi ile değişimi .....	28
Şekil 4.7. Ateşleme avansı-Termal verim diyagramı.....	29
Şekil 4.8. Farklı yanma süresi değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü.....	30
Şekil 4.9. Farklı yanma süresi değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi .....	30
Şekil 4.10. Farklı yanma süresi değerleri için silindir içi basınç silindir içi hacmi ile değişimi .....	31
Şekil 4.11. Farklı özgül ısılar oranı değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü.....	32
Şekil 4.12. Farklı özgül ısılar oranı değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi .....	32
Şekil 4.13. Farklı özgül ısılar oranı değerleri için silindir içi basınç silindir içi hacim ile değişimi .....	33
Şekil 4.14. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü.....	34
Şekil 4.15. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi .....	35
Şekil 4.16. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için silindir içi basınç ile silindir içi hacim değişimi .....	35
Şekil 4.17. Sıkıştırma oranı yükseldiğinde negatif işinde çoğalmasının görüntüsü.....	36

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 4.1.</b> Ateşleme avansının motor karakteristiklerine etkisi.....	28
--	----

## 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda efektif güç, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt tüketimi gibi motor performans karakteristiklerini belirlemek ve çalışma parametrelerinin bu karakteristikler üzerindeki etkilerini incelemek için iki tür yöntem bulunmaktadır.

1. Motor deneyleri: Üzerinde çalışılacak motor dinamometreye bağlanır. Gerekli ölçümler yapılarak motor performans karakteristikleri hesaplanır.

2. Yakıt-hava çevrimi analizi: Motor çevrimi; emme, sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz gibi proseslere ayrılır. Dönüşüm denklemleri, fiziksel olaylarla ilgili ampirik eşitlikler ve yanma ile ilgili denklemler kullanılarak bu prosesler modellenir ve birleştirilerek motor performans karakteristiklerinin hesaplanması için tam bir motor çevrimi simülasyonu elde edilir.

İçten yanmalı motor performans karakteristikleri üzerinde farklı çalışma parametrelerinin etkilerini incelemek amacıyla yapılan deneylerde kullanılan deney düzeneklerinin ve deneylerin maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca, bazı parametrelerin ölçümünün neredeyse imkânsız oluşu, deneylerin doğruluk testlerinin zor olması ve her bir parametrenin etkisinin ayrı ayrı incelenmesi için oldukça detaylı çalışmalar yapılması gereklidir. Bu yüzden, deneysel çalışmaların olumsuzluklarını karşılayabilecek teorik çalışmaların esas alınmasının daha yararlı olacağı görülmektedir. Günümüzde dünyanın birçok yerinde araştırmacılar ve üretici firmalar kendi modellerini kullanarak motor ve motor sistemlerinin performans testlerini, daha üretime geçmeden yaparak zaman ve maliyet açısından avantaj elde etmektedirler.

Teknolojilerindeki hızlı gelişim ile beraber karmaşık simülasyon tekniklerinin kullanımına olanak sağlayan bilgisayarlar, motor sistemlerindeki temel proseslerin etkilerini ayrıntılı olarak inceleme imkanı vermiştir. Bu gelişmelerin, günümüz otomotiv motorlarında sağlanan yeniliklerin gerçekleşmesindeki payı büyüktür.

İçten yanmalı buji ateşlemeli motorların performansı, yanma odası ve piston başı arasında meydana gelen olaylardan büyük oranda etkilenmektedir; ancak bu etkileşim birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında;

- yanma odası ve silindir başı konfigürasyonu,
  - silindire giren taze dolgunun akış özellikleri (emme hattı ve emme supaplarının boyut, şekil, yerleşim, dönme ve zamanlaması),
  - ateşleme zamanı ve buji pozisyonu,
  - sıkıştırma oranı,
  - yakıt özellikleri,
  - karışım hazırlama yöntemleri,
  - egzoz gaz resirkülasyonu,
  - yanma odası duvarları ve pistonların soğutulma dereceleri,
- gibi parametreler sayılabilir.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişim, motorlarda meydana gelen proseslerin modellenerek yukarıda verilen faktörlerin etkilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak tanımıştır. Ortaya konulan model ile deney yapmadan motor performansı belirlenebilmekte ve deneysel olarak ölçülmesi zor olan parametrelerin değerleri hesaplanabilmektedir.

İçten yanmalı motorlar için kurulan matematiksel modeller termodinamik ve boyutlu modeller olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Termodinamik modeller tek ve çok alanlı, boyutlu modeller ise tek ve çok boyutlu modeller olmak üzere kendi içlerinde iki gruba ayrılabilir.

Tek alanlı termodinamik modellerde silindir dolgusunun üniform basınç, sıcaklık ve kompozisyona sahip olduğu kabul edilir. Bu modeller teşhis (ısı yayılım hızı) veya tahmin amaçlı olarak kullanılır. Isı yayılım analizinde, deneysel olarak ölçülen basınç diyagramlarından ısı yayılım hızı veya yakıtın kütleli yanma oranını belirleme

amaçlanır. Basitliklerinden dolayı silindir kaçaklarının etkisi rahatlıkla incelenebilir. Ancak alev ilerleme hızı ve yanma odası geometrisi dikkate alınmaz.

Çok alanlı modeller, silindir içerisindeki karışımın termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde daha gerçekçi bir yaklaşıma olanak tanımaktadır. Silindir içerisindeki gazlar yanmış ve yanmamış gazlar olmak üzere iki ayrı termodinamik sistem olarak düşünülür. Hesaplamalarda ısı transferi ve yanmış ve yanmamış gazların kompozisyonu dikkate alınmalıdır. Bu tür modellerde yanmış ve yanmamış gazların kompozisyon ve sıcaklıkları farklı, basınçları ise üniform kabul edilir (Ramos 1989).

Seçilen modelin gerçeğe yakınlığı ve detayları, tüm modelin doğruluğunu belirleyeceğinden dolayı modelleme yapılırken ortaya konan yaklaşım çok önemlidir. Model en zayıf bölümü kadar gerçeğe yakın olabileceğinden alt modelleri ve detayları kendi aralarında dengeli olmalıdır (Heywood 1988).

Modelleme konusunda ilk çalışmalar, sıkıştırma, yanma ve genişleme gibi motor çevriminin belirli bölümleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu modeller 1950'lerde ideal çevrim analizleri, 1960'larda bölüm bölüm basit analizler, 1970'lerde tam termodinamik modeller ve 1980'lerden sonra çok alanlı ve çok boyutlu yanma modelleri olarak gelişim göstermiştir (Chow and Wyszynski 1998).

Aşağıda günümüze kadar içten yanmalı motorlar için hazırlanmış olan bazı matematiksel modellemeler ile ilgili çalışmalar tanıtılmaya çalışılacaktır.

Borat (1996), yaptığı çalışmada buji ateşlemeli benzin ile çalışan bir motor için gerçek yakıt-hava karışımı çevrimi modeli hazırlamıştır. Yapılan çalışma ile termo-kimyasal büyüklükler, krank-biyel mekanizmasının kinematiği, ısı geçişi, termo-kimyasal denge, kütle korunumu ve enerji denklemi kullanılarak dolgu değişimi, sıkıştırma, yanma, genişleme-iş ve gaz değişimi süreçleri modellenmiştir. Bir çevrim boyunca olan basınç, sıcaklık, iş, enerji gibi büyüklüklerin strok hacmi ve zamana göre değişimleri çıkış

verileri olarak elde edilmiştir. Bu çevrim modelinde yakıt olarak benzin ve metanol kullanılmış, aralarındaki farklılık ve benzerlikler tespit edilmiştir.

Kodah *et al.* (2000) yaptıkları çalışmada buji ateşlemeli bir motor içerisindeki basınç tahmini için bir model hazırlamışlar, bu modelde Wiebe fonksiyonu yaklaşımını kullanmışlardır. Bu fonksiyon, yanmış yakıt kütle oranının hesaplanması için türetilen,  $y = 1 - e^{-ax^m}$  şeklinde eksponansiyel bir fonksiyondur. Herhangi bir yanma odası şekli ve özel boyutlarına sahip bir buji ateşlemeli motor için a ve m dikkatli bir şekilde seçilerek bu modele uygulanabilir. Modelin geçerliliği, aynı çalışma şartlarında motorun çalıştırılması ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Teorik ve deneysel veriler karşılaştırıldığında aralarında iyi derecede yakınlık görülmüştür. Ayrıca; sıkıştırma oranı, motor hızı ve ateşleme zamanı gibi bir çok çalışma parametresinin etkisi de incelenmiştir.

Chan and Zhu (2001), karbüratörlü bir motorda yüksek ateşleme gecikmesi (erken ateşleme) altında tam motor modellemesi konusunda çalışma yapmışlardır. Yanma prosesi modeli, Wiebe fonksiyonu ile açıklanan yakıt yanma oranı kullanılarak iki alanlı (yanmış/yanmamış) model kurmuşlardır. Yakıt-hava reaksiyonlarında ısı yayılımını açıklayan Wiebe fonksiyonu, aşırı erken ateşleme ile ortaya çıkan silindir içi basınç değişimini gözlemlemek için modifiye edilmiştir. Alt ölü noktada ve egzoz supabı açıldığında meydana gelen aşırı hızlı akış sırasında oluşan basınç değişimi için ampirik bir korelasyon kullanılmış, böylece motor modelinin zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Egzoz supabı etrafında kütle hızı akış; (i) silindir basıncından, sabit egzoz manifold basıncına izentropik genişleme ve (ii) kinetik enerjinin geri kazanımı ile egzoz gaz sıcaklığının artışı sağlayan sabit basınçlı kelebek durumu olmak üzere iki prosese bölünerek basitleştirilmiştir.

Al-Baghdadi and Al- Jabani (2000), dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motorda hidrojen ve etil alkol ilavesinin performans ve kirletici emisyonlar üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Hidrojen-etil alkol-benzin ile çalıştırılan motorun çevrimini simule etmek için detaylı bir model kullanılmış ve bu sayede hidrojen-etil alkol ilavesinin

termodinamik motor çevrimine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçları, benzin motoruna hidrojen ve etil alkol ilavesinin tüm motor performans parametrelerini iyileştirdiğini göstermiştir. %4 hidrojen ve %30 etil alkol ilavesi; CO emisyonunda %49 azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda %39 azalma, özgül yakıt tüketiminde %49 azalma ve termal verim ve güçte sırasıyla %5 ve %4 oranlarında artma sağlamıştır. Etil alkol oranı %30'u aştığında, yakıtın buharlaşmamasından kaynaklanan kararsız motor çalışması gözlenmiş ve bu durumun hem fren gücünü hem de verimi azalttığı kaydedilmiştir.

Mansour *et al.* (2001) çalışmalarında, pilot dizel ateşlemesi ile doğal gaz motoruna dönüştürülen ticari bir dizel motorunda (Deutz FL8 41 3F) emisyon ve performans karakteristiklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Gaz-dizel (ikili yakıt) yanma prosesinin kimyasal kinetik reaksiyon mekanizması kullanılarak elde edilen deneysel verileri modellemek için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Doğalgaz ve NO<sub>x</sub> için detaylı kimyasal kinetik mekanizması kullanılmış, böylece ana yanma karakteristikleri (sıcaklık, basınç ve tür konsantrasyonları) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tüm motor çalışma şartları için performans ve emisyon karakteristikleri iyi derecede tahmin edilmiştir.

Shem *et al.* (1996), yanma esnasında çevrimden çevrime (çevrimler arasında) değişiklikleri tahmin etmek ve yarı boyutlu buji ateşlemeli motor simülasyonu geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Fiber optik buji kullanılarak buji ateşlemeli motordan veri alınmıştır. Farklı kütleli yanma oranları (%0-2, %0-10 ve %0-90) için yapılan 600 çevrimlik çalışma sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmış ve türbülans yoğunluğu, yanma odasında alev merkezinin yeri ve atık gaz kesrinin etkilerini incelemişlerdir.

Wayne *et al.* (1998), farklı zamanlarda doğalgaz veya benzinle çalışan bir motor için boyutsuz, termodinamik çevrim simülasyonu hazırlamışlardır. Özellikle doğalgaz ile çalışılması durumunda azalan motor çıkış gücünü artırmak amacıyla sıkıştırma oranının artırılması gerektiği gözlenmiş, ancak bu durumda da ortaya çıkan vuruntunun giderilmesi için değişken emme supabı zamanlaması, artırılmış egzoz gaz

resirkülasyonu ve ateşleme zamanının erkene alınması gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Yapılan nümerik çalışmalar Ferguson (1986) tarafından yapılan çalışmalara dayandırılmıştır. 12.7:1 sıkıştırma oranında benzin ile çalışılması durumunda motor vuruntusunu azaltmak için emme supabının geç kapanması üzerinde durulmuş ancak güç ve performansta önemli derecede azalma görülmüştür. Sıkıştırma oranının 11.5:1 değerinde yapılan nümerik çalışmalar motor için vuruğu açısından çok ciddi sonuçlar doğurmayacağını göstermiştir.

Sher and Kohany (2002), motor performansı üzerinde değişken supap zamanlamasının etkisini araştırmışlardır. Geliştirdikleri çevrim simülasyonu ile genel motor performans karakteristiklerinden çevrim verimi, motor gücü ve egzoz gaz kompozisyonu değerleri hesaplanmış, motor üzerinden ölçülen indikatör diyagramı ile hesaplanan değerlerle kalibre edilmiştir. Boyutsuz, termodinamik, tek alanlı ve kütleli yanma oranının Wiebe fonksiyonu ile ifade edildiği modelde dört adet yanma ürünü için hesaplamalar yapılmış ve ısı transfer hesaplamaları için Annad (1963) tarafından önerilen ampirik ifade kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda her iki supap ve ateşleme zamanı optimize edildiğinde, supap zamanlarının motor moment ve devir sayısı üzerinde lineer etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Değişken ateşleme zamanı kullanıldığında maksimum motor gücü %6 artırılmış, özgül yakıt tüketimi %13 azaltılmıştır.

Abd-Alla *et al.* (2001) çalışmalarında, çift yakıtlı motorlarda yanma prosesinin ve bu prosesin bazı performans özelliklerinin tahmini için yarı boyutlu, iki alanlı model geliştirmişlerdir. Ana yakıt olarak metan kullanılmıştır ve konvansiyonel dizel yakıt sistemi ile az miktarda sıvı yakıt enjekte edilmiştir. Bu modelde yanma performansı üzerinde ön karışımli gaz yakıtın kimyasal kinetik aktivitesinin etkisi üzerinde durulmuş ve pilot yakıtın tutuşma ve ısı yayılımı prosesi üzerindeki rolü incelenmiştir. 178 elementel reaksiyon adimli ve 41 kimyasal türlü detayli kimyasal kinetik şeması kullanılarak sıkıştırma başlangıcından genişleme sonuna kadar gaz yakıtın oksidasyonu açıklanmaya çalışılmıştır. İlgili formasyon ve egzoz emisyon konsantrasyonları kurulmuştur. Bu yanma modeli; basınç, sıcaklık, enerji yayılım hızı ve kompozisyon gibi önemli parametrelerin incelenmesine olanak tanımakta ve zamana göre yanma



prosesinin gelişimini ortaya koyabilmektedir. Metan çalışması için öngörülen değerler özellikle yüksek yüklerde çalışılması durumunda çok geniş bir aralık için deneysel çalışmalarla iyi derecede uygunluk göstermiştir.

Abd-Alla (2002), dört zamanlı buji ateşlemeli motorun temel anlamda simülasyonu konusunda çalışma yapmıştır. Çalışmasında silindir basıncını tahmin etmek için ısı yayılım formülünü kullanmış ve silindir basıncından yola çıkılarak indike iş hesaplanmıştır. Silindirlerden olan ısı transferi, sürtünme ve pompalama kayıpları da kullanılarak fren ortalama efektif basıncı, fren termal verimi ve fren özgül yakıt tüketimi değerleri tahmin edilmiştir. Dört zamanlı benzin motorlarının performansını etkileyen ekivalans oranı, ateşleme zamanı, ısı yayılım hızı, sıkıştırma oranı, sıkıştırma indeksi ve genişleme indeksi gibi parametrelerin birçoğu çalışılmıştır. Gerçek yanma eğrisinin kullanımı, basınç hacim profilinin gerçek motordan elde edilen ile benzer olmasında çok önemli etkiye sahiptir. Sunulan bu model gerçeğe çok yakındır ve dizayn amaçlı olarak rahatlıkla kullanılabilir.

Bu çalışmada, buji ateşlemeli bir motor için tek bölgeli termodinamik esaslı matematiksel basınç çevrimi modeli oluşturulmuştur. Bu modele ait diferansiyel denklemler, MATLAB<sup>•</sup> ortamında çözülmüştür. Ardından MATLAB Graphical User Interface (GUI) kullanılarak, motor çalışma parametrelerinin farklı değerleri için silindir içi basınç değişimi ve farklı motor çalışma parametreleri için motor performans karakteristiklerinin değişimi grafikler üzerinden incelenmiştir.

Oluşturulan kullanıcı arayüzü sayesinde özellikle lisans eğitimi esnasında, çalışma parametrelerinin motor performans karakteristiklerine etkileri çok daha kolaylıkla ve hızla anlatılabilecektir.

---

<sup>•</sup> MATLAB, The MathWorks, Inc.'nin tescilli bir ürünüdür.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde, dört zamanlı buji ateşlemeli bir motora ait silindir içi basınç çevrimi ile ilgili temel başlıklar tanıtıldıktan sonra silindir içi basınç çevrimi modeli için kullanılan matematiksel ifadeler tanıtılacaktır.

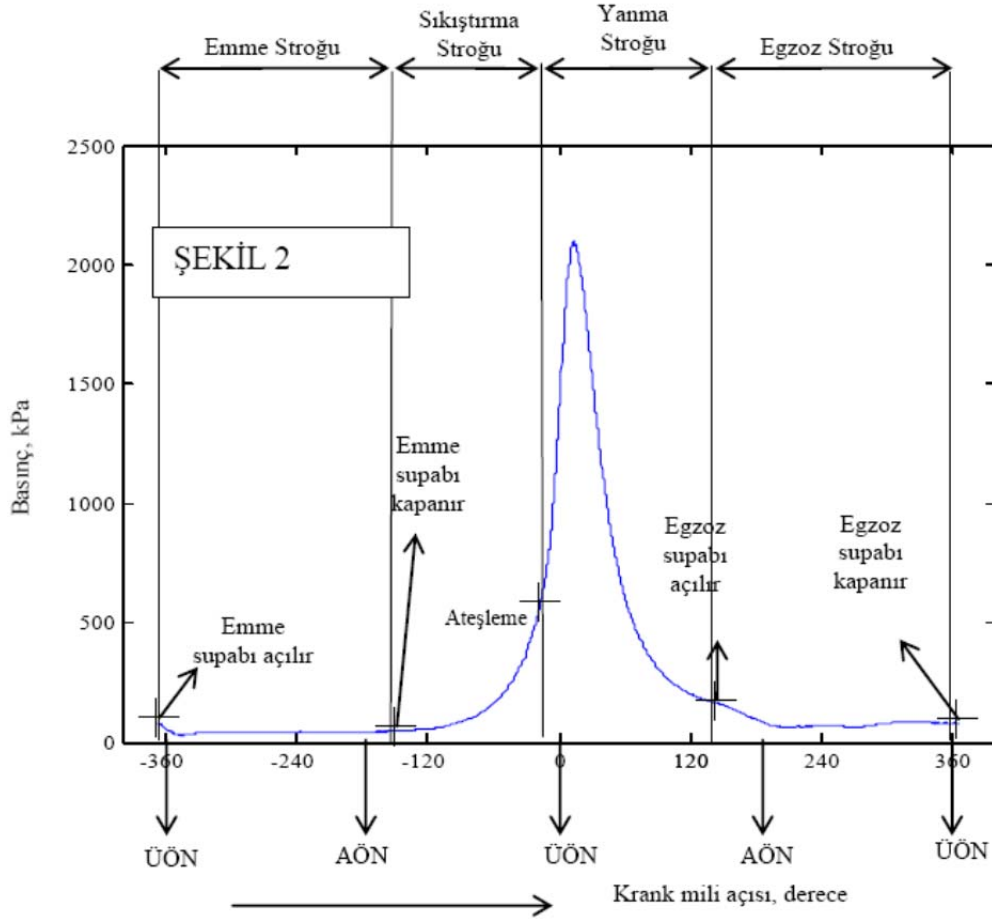
### 2.1. Silindir İçi Basınç Çevrimi ve Bazı İndike Motor Karakteristikleri

Motor veya güç sistemleri, özel bir amaç için istenilen gücü üretmek üzere bir araya getirilen eleman topluluğuna verilen isimdir. Buji ateşlemeli motorlarda yakıt hava karışımını oluşturmak için yanma odası dışında çeşitli aparatlar vardır. Piston AÖN'ya (Alt Ölü Nokta) ilerlerken karışım yanma odasına alınır ve ardından piston ÜÖN'ya (Üst Ölü Nokta) ilerlerken karışım sıkıştırılır. Dışarıdan ateşleme kaynağı olan buji ile karışım tutuşturulur. Yanma odasında ortaya çıkan termal enerji, silindir içerisindeki basıncı artırır ve piston AÖN'ya doğru itilerek güç elde edilmiş olur. Her yanma stroğundan sonra yanma ürünleri silindir dışına atılır ve taze yakıt hava karışımı silindir içine alınır. Otomotiv motorlarında bu gaz değişimi olayı dört zaman prensibi olarak adlandırılır ve tam çevrim oluşması için krank milinin iki çevrimi söz konusudur.

Dört zamanlı buji ateşlemeli motorlar, gaz akışını kontrol etmek için valfler (subap) kullanırlar. Bu valfler silindir emme ve egzoz kanallarını açar ve kapatır. Dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda bir çevrim aşağıdaki zamanlardan oluşmaktadır;

1. Zaman: Emme
2. Zaman: Sıkıştırma
3. Zaman: Yanma ve İş (Genişleme)
4. Zaman: Egzoz

Şekil 2.1’de ise dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda motor gerçek çevrimi görülmektedir.



Şekil 2.1. Motor gerçek çevrimi

### Emme Zamanı;

Emme Valfi: Açık

Piston Hareketi: ÜÖN’den AÖN

Egzoz Valfi: Kapalı

Yanma: Yok

Pistonun AÖN’ya doğru hareketi ile silindir hacmi artar ve açık emme valfinden taze yakıt hava karışımı içeri alınır.

**Sıkıştırma Zamanı;**

Emme Valfi: Kapalı

Piston hareketi: ÜÖN'ya

Egzoz valfi: Kapalı

Yanma: Tutuşturma başlangıç safhası

Piston ÜÖN'ya doğru çıktıkça, silindir hacmi azalır ve yakıt hava karışımı sıkıştırılır. Piston ÜÖN'ya ulaşmadan belirli krank mili açısı veya zaman önce buji, sıkıştırılmış yakıt hava karışımını tutuşturur. Bu açığa ateşleme avansı denir.

Sıkıştırma oranı strok hacmi ( $V_h$ ) ve yanma odası hacmi ( $V_c$ ) ile ilişkili olarak hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c} \quad (4)$$

Sıkıştırma oranı, buji ateşlemeli motorlarda 7-13 arasında değişir. Sıkıştırma oranı arttıkça termal verim artar ve yakıtın daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Örneğin; sıkıştırma oranı 6:1'den 8:1'e çıkarıldığında termal verim %12 oranında artar. Ancak bu artış vuruntu (erken tutuşma) ile sınırlıdır. Vuruntu karışımın kontrolsüz yanmasıdır ve basınç aniden ve yerel olarak yüksek değerlere çıkar. Vuruntu motora zara verir. Uygun yakıt ve yanma odası dizaynı ile vuruntu limiti artırılarak daha yüksek sıkıştırma oranı değerlerine çıkılabilir.

**Yanma ve İş Zamanı;**

Emme Valfi: Kapalı

Piston hareketi: AÖN'ya

Egzoz Valfi: Kapalı

Yanma: Bu strokta biter

Buji yakıt hava karışımını tutuşturduğu zaman gaz karışımı yanar ve sıcaklık artar. Aynı zamanda silindir içi basınç artarak pistonu aşağı doğru iter. Hareket eden pistondan biyel kolu ve krank miline kuvvet aktarılır ve iş elde edilir. Bu iş motora verilen gerçek iştir. Motor çıkış gücü devir sayısı ve tork ile artar. Aracın hareketi için bu motor gücü ve torku, çeşitli tahvil oranlarına sahip olan transmisyonlarla iletilir.

### **Egzoz zamanı;**

Emme Valfi: Kapalı

Piston hareketi: ÜÖN'ya

Egzoz valfi: Açık

Yanma: Yok

Piston ÜÖN'ya doğru ilerlerken atık gazlar (yanma ürünleri) açık olan egzoz valflerinden dışarı atılır. Daha sonra çevrim tekrarlanır. Emme ve egzoz valfleri belirli bir derece beraber açık kalırlar, bu sayede gaz akışı güçlendirilir ve silindir doldurma ve boşaltma işlemleri kolaylaştırılır.

### **2.1.1. İndike iş**

İçten yanmalı motorlarda, yanma zamanında piston üzerinde etkin olan gaz basıncı ile ortaya çıkan kuvvet, iş üretimini sağlar ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$W = \int F dx = \int P A_p dx \quad (5)$$

Burada;  $P$ ; yanma odası içindeki basınç,  $A_p$ ; piston yüzey alanı,  $x$ ; strok ve

$$A_p dx = dV \quad (6)$$

$dV$ ; pistonun kat ettiği diferansiyel hacimdir, buna göre yapılan iş;

$$W = \int PdV \quad (7)$$

olarak yazılabilir. Buna göre iş, Şekil 2.2'de görülen kapalı alandır ve silindir içerisinde elde edilen bu iş, indike iş olarak tarif edilir. Ancak krank mili ile taşınan iş bu işten daha küçüktür çünkü arada mekanik sürtünmeler ve çeşitli motor parçalarının tahrikine harcanan enerjiler söz konusudur. Elde edilen gerçek iş fren işi olarak tanımlanır, dolayısı ile indike iş,

$$W_i = W_f + W_s \quad (8)$$

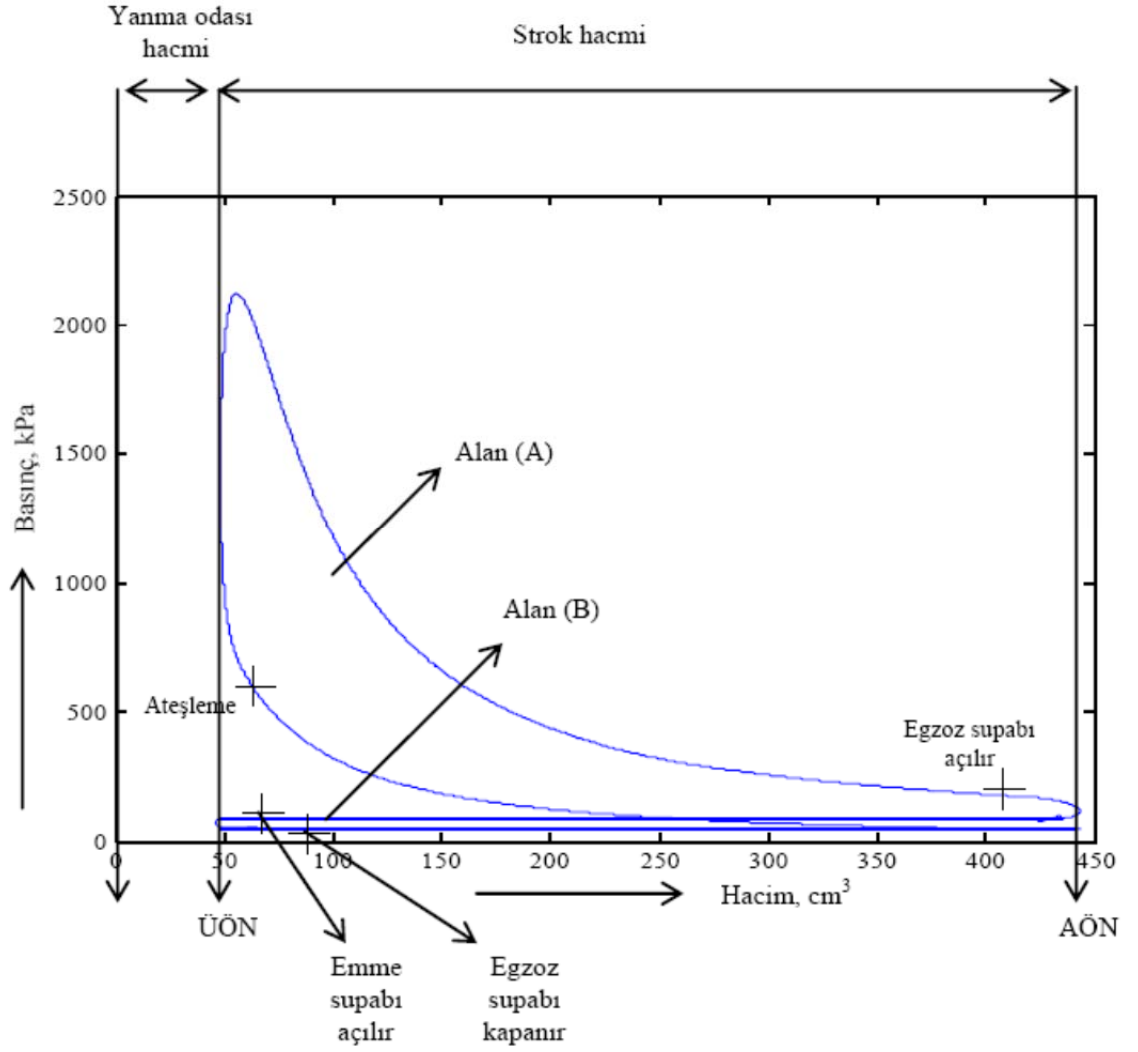
Şekil 2.2'de A ile gösterilen alan, sıkıştırma ve yanma stroklarında üretilen işi göstermekte ve brüt iş olarak tanımlanmakta; B ile gösterilen alan emme ve egzoz stroklarında üretilen işi gösterilmekte ve pompalama işi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda net iş,

$$W_{net} = W_{brüt} + W_{pompa} \quad (9)$$

Pompalama işi negatif olacağı için (normal emişli motorlarda)

$$W_{net} = Alan(A) - Alan(B) \quad (10)$$

Hesaplamalar Alan (A)'ya göre yapılacaktır. Yani indike iş hesaplanırken ateşleme zamanından egzoz supabı açılma zamanına kadar diferansiyel alınacaktır.



Şekil 2.2. Silindir içerisinde üretilen indike iş

### 2.1.2. İndike güç

Silindir başına bir çevrimde üretilen güçtür ve şu ifade ile hesaplanır,

$$P_i = W_i n \quad (11)$$

Burada,  $n$ ; devir sayısı,  $P_i$ ; indike güç'tür.

## 2.2. Termodinamik Çevrim Modeli

İdeal gaz hal eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$PV = mRT \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de her iki tarafın logaritması alınır ve ardından krank mili açısına ( $\theta$ ) göre diferansiyeli alınırsa Eşitlik (13) elde edilir.

$$\left(\frac{1}{P}\right) \left(\frac{dP}{d\theta}\right) + \left(\frac{1}{V}\right) \left(\frac{dV}{d\theta}\right) = \left(\frac{1}{T}\right) \left(\frac{dT}{d\theta}\right) \quad (13)$$

Sabit özgül ısı şartıyla ideal gazlar için diferansiyel formda termodinamiğin birinci kanunu,

$$mc_v \left(\frac{dT}{d\theta}\right) = \left(\frac{dQ_g}{d\theta}\right) - P \left(\frac{dV}{d\theta}\right) \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik (14)'ün sol tarafı  $mRT$ 'ye sağ tarafı ise  $PV$ 'ye bölüp yeniden düzenlediğinde Eşitlik (15) elde edilir.

$$\left(\frac{1}{T}\right) \left(\frac{dT}{d\theta}\right) = (\gamma - 1) \left\{ \left[ \left(\frac{1}{PV}\right) \left(\frac{dQ_g}{d\theta}\right) \right] - \left[ \left(\frac{1}{V}\right) \left(\frac{dV}{d\theta}\right) \right] \right\} \quad (15)$$

Eşitlik (15)'te  $\gamma$ , özgül ısılar oranını göstermektedir. Eş.(14) ile Eş.(15) birleştirilip  $dQ_g = Q_g dx$  dönüşümü yapılırsa Eşitlik (16) elde edilir.

$$\left(\frac{dP}{d\theta}\right) = - \left(\frac{\gamma P}{V}\right) \left(\frac{dV}{d\theta}\right) + (\gamma - 1) \left(\frac{Q_g}{V}\right) \left(\frac{dx}{d\theta}\right) \quad (16)$$

Eşitlik (16)'da  $x$ , krank miline bağlı olarak kütleli yanma oranını göstermektedir ve literatürde çoğunlukla Wiebe fonksiyonu (Eşitlik (17)) ile ifade edilmektedir.



$$x(\theta) = 1 - \exp\{-a[(\theta - \theta_0)/\Delta\theta]^{m+1}\} \quad (17)$$

Eşitlik (17)'de  $\theta_0$ , yanma başlangıcını (ateşleme avansını),  $\Delta\theta$ , ise toplam yanma sürtesini göstermektedir.  $a$  ve  $m$  parametreleri ise çoğunlukla sırayla 5 ve 2 olarak alınmaktadır (Heywood 1988).

Sistem tarafından yapılan iş Eşitlik (18) ile hesaplanabilir.

$$dW = PdV \quad (18)$$

Eşitlik (18)'de krank mili açısı ve silindir hacmi Eşitlik (19)'daki ifade ile hesaplanabilir.

$$V = \frac{1}{2}S \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \left[ \frac{2}{C-1} + 1 - \cos\theta + \frac{R}{4L}(1 - \cos 2\theta) \right] \quad (19)$$

Eşitlik (19)'da  $D$  silindir çapını,  $S$  stroğu,  $C$  sıkıştırma oranını,  $R$  krank yarıçapını,  $L$  biyel kolu uzunluğunu göstermektedir (Abd Alla 2002).

Silindir içi basıncın farklı motor parametreleri ile değişimini görebilmek ve ardından işi hesaplayabilmek için Eşitlik (16) ve Eşitlik (18), MATLAB'in `ode23` fonksiyonu kullanılarak krank mili açısına göre çözdürülmüştür.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. MATLAB**

MATLAB, sayısal analiz ve lineer cebir ile ilgilenenler için hazırlanmış yüksek performanslı bir programlama dilidir. Bu programda matematiğin tanıdık belirtileri ve sembolleri kullanılmıştır. Matematik ve analiz, ileri sayısal analiz, modelleme, mühendislik diyagramları, grafiksel kullanıcı ara yüzü, bu programın bazı uygulamalarındandır.

MATLAB kelimesi MATrix LABoratory kelimelerinin kısaltılmasından oluşmuştur. Yani MATLAB bir matris laboratuvarı olup bütün girdiler ve çıktılar bir matris tanımlar. MATLAB ilk olarak Cleve Moler tarafından Fortran dili ile yazılmıştır, Fortran ve C den daha rahat, program yazmaksızın, matrislere dayanarak problemleri çözmektedir. Sonuçlar daha çok el tipi hesap makineleri gibi ekrana yazılır ve derlemeye ihtiyaç yoktur.

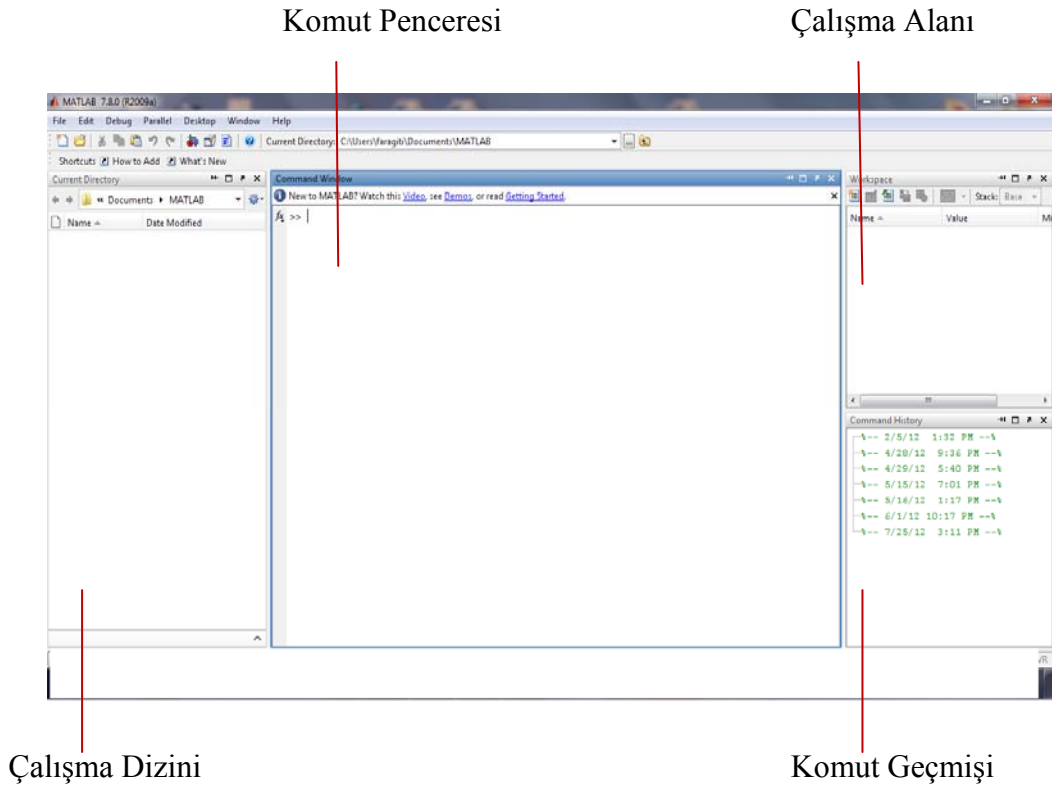
MATLAB uzun bir sürede farklı sahalardan kullanıcı toplayarak kendini de geliştirmiştir. MATLAB, geliştirilmesi sonucu basit hesaplamalardan karmaşık analizlere kadar bir çok alanda kullanılabilir hale gelmiştir. MATLAB “araç kutusu” (Toolbox), hazır fonksiyonlar, M-Dosya işleme, ölçme, Excel bağlantısı kurma, finansal zaman serileri kullanma, robot kontrolü vb. içerikleri ile kullanıcının çok dikkatini çeken bir özelliktir.

MATLAB’da dört temel işlem ve matematiksel bazı işlemler yapılabilir. Bunun için ya komut penceresine komutları teker teker girer ya da hepsini bir dosyaya yazıp, dosyayı çağırılır.

MATLAB'ın hazır fonsiyonlar dışında başka avantajları da vardır, işletim sistemi uyumluluğu, donanım kısıtlamasız görüntüleme, MATLAB derleyicisi, grafiksel kullanıcı arayüzü gibi.

MATLAB'ın bazı dezavantajları da vardır, uygulamaları başlatma süresi diğer programlama dillerine göre daha çok, bu sorunda yeni JIT hızlandırma teknolojisi ile en az seviyeye indirilmiştir. Diğer dezavantaj ise MATLAB'ın fiyat yüksekliği, bu problemde farklı MATLAB paketlerini çıkararak çözülmüştür.

Windows ortamında MATLAB programını başlatmak için başlat menüsünden veya masaüstünde MATLAB ikonuna tıklamak yeterlidir. MATLAB açıldığında Şekil 3.1 gibi bir pencere açılır.



Şekil 3.1. MATLAB başlarken açılan pencere

Komut penceresi, adından da anlaşıldığı gibi, ilgili komutların girdiği penceredir. Girilen komutları çalıştırmak için enter düğmesine basılır.

Komut geçmişinde o ana kadar girilen komutlar gösterilir. Silinmek istenen bir komut varsa fare ile seçilip DELETE yapılır.

Çalışma alanı komut satırından veya çalıştırılan bir dosya ile bir hafızada oluşturulan değişkenlerin adlarını, özelliklerini ve tiplerini gösteren bir penceredir.

Çalışma dizini MATLAB dosyalarının kaydedildiği, yüklendiği dosyaların bulunduğu klasörü belirlemeye yarar.

### **3.1. MATLAB GUI**

Günümüzde kullanılan programların çoğu grafiksel tabanlı programlardır. Bu nedenle MATLAB'da sürümlerinde grafik arayüz (GUI) ile programlamayı kullanıcıya sunmuştur (6 ve daha sonrası).

GUI programları son kullanıcıya fare ve klavye ile rahatça kullanım sunmaktadır.

GUI, program için tipik bir grafiksel arayüzdür. İyi bir GUI programı, pushbuttons, list boxes, slider ve menus gibi tanıdık kontrollerlerle programın kullanımını daha rahat yapar.

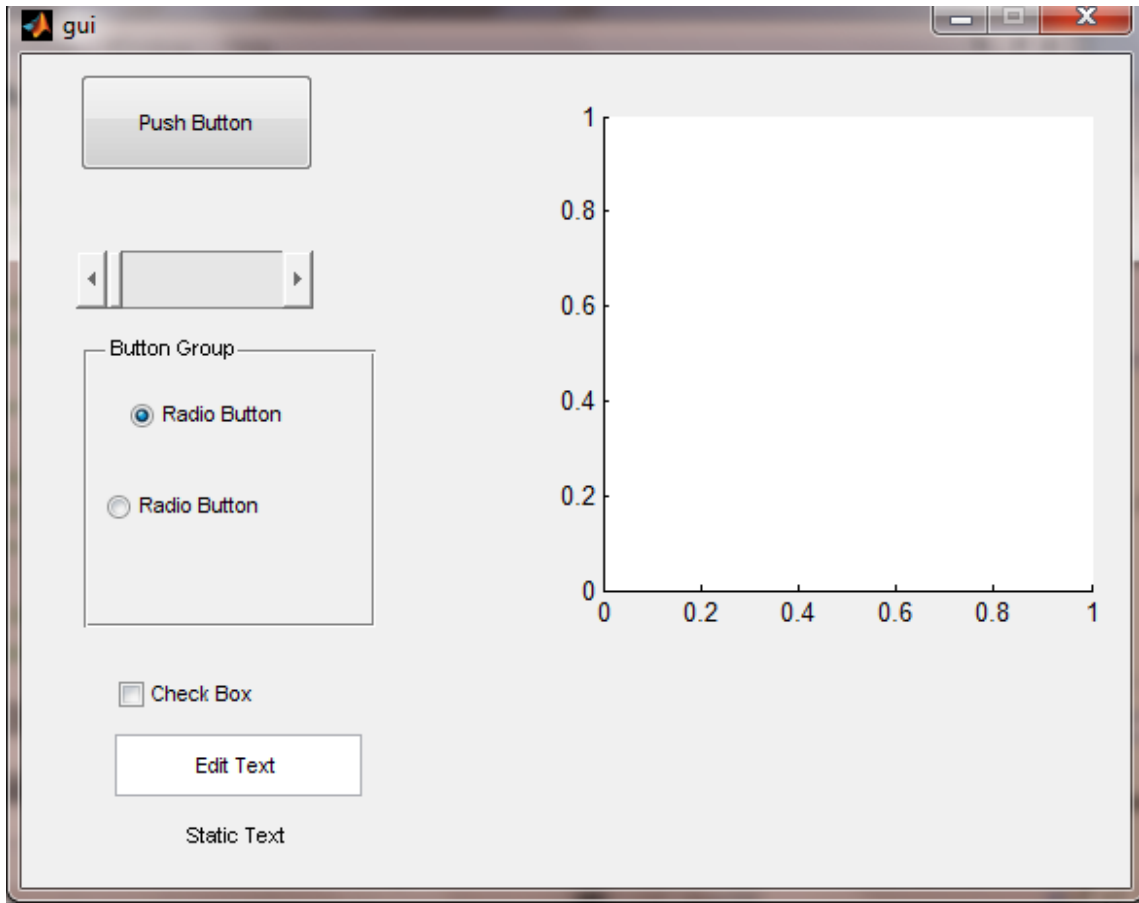
GUI kullanıcı için tanıdık bir ortam hazırlar. Bu ortam pushbutton, toggle button, list, menu, text box vb. tanıdık elemanlardan oluştuğundan kullanıcının programın nasıl yazılması yerine sadece kullanmasına odaklanmasını sağlar.

Her bir nesne kullanıldığında MATLAB'da bir M-File oluşur ve istenen farklı işlemler için bu M-File da değişiklikler yapılabilir. M-File yazmak ve kodları bilmek çok karmaşık

bir işdir, ama MATLAB GUI bu kodlardan kurtulmak ve sadece objelerle bir grafiksel arayüz oluşturmak için çok rahat kullanılabilen bir programdır.

MATLAB GUI'nin çalışmasında üç temel özellik vardır: GUI yüzeyi, GUI objeleri ve işlevler. GUI yüzeyi, elemanların yerleştirildiği kısımdır. GUI objeleri, programı oluştururken kullanılan buton, axes, slider gibi elemanlardır. Bir nesnenin ne yapması gerektiğini belirten en önemli kısmı işlevler (CALLBACK) kısmıdır.

Bir GUI oluşturmak için gereken elemanlar Şekil 3.2 de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** GUI oluşturmak için gereken elemanlar

Pushbutton bir düğme gibidir ve fareyle üzerine basıldığında ilgili işlev (CALLBACK) çalışır.

Toggle button iki farklı durumu incelemek için kullanılır, Örneğin “ON” , “OFF”.

Radio button birkaç seçenektan sadece birini seçmek için kullanılır.

Edit text son kullanıcının bilgi girişi yapabileceği giriş kutusudur. Fakat edit textte girilen bütün girişlerin karakter tipi olarak algılanacağı bilinmelidir.

Slider 0 dan başlayıp en son 1 değerini alan değişken değer giriş bandı olarak düşünülebilir.

Listbox birçok seçeneği içeren bir elemandır ve kullanıcının istediği seçeneğe göre işlem yapmasına yardımcı olur.

Popup menu’de aynı Listbox gibidir ve açılan menüsü vardır.

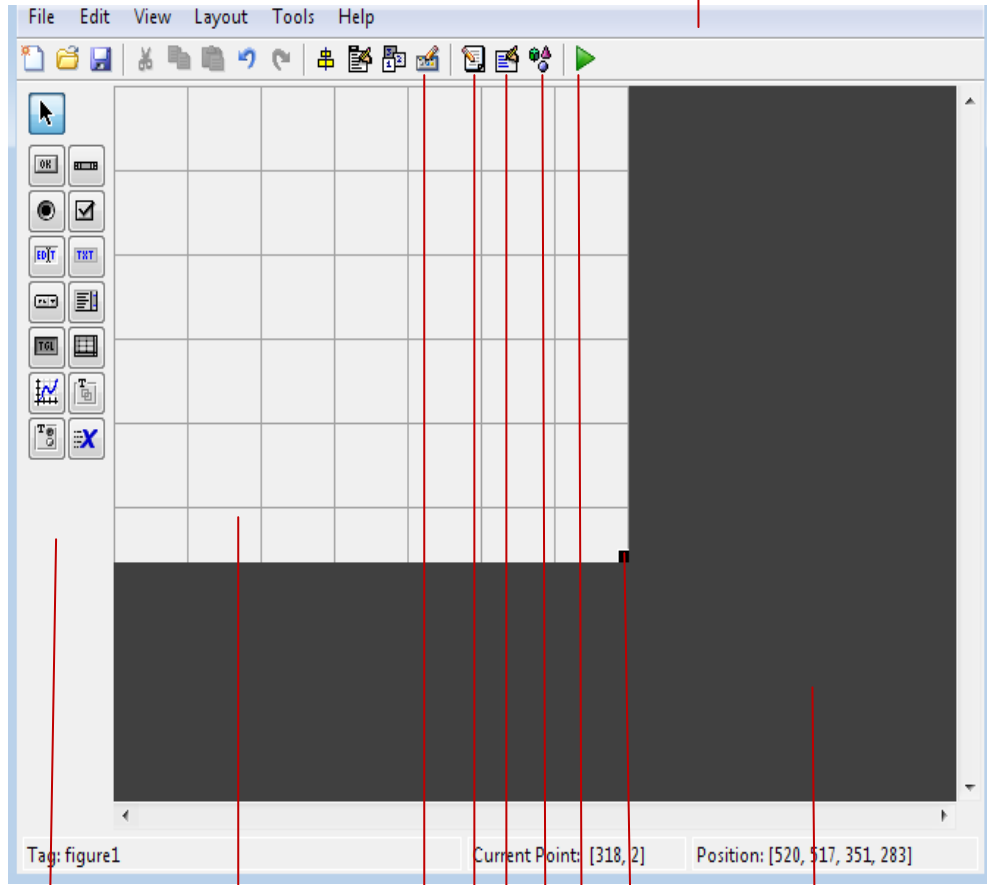
Axes, eğer programda bir çizim oluşturulacak ve görüntülenecek ise kullanılır.

Static text program çıktılarını ve programa yazılan yazıları göstermek içindir.

Frame ise çerçevedir ve belli bir grup nesneyi bir arada göstermek için kullanılır.

GUI penceresi iki şekilde açılır, komut satırına guide yazarak veya file  $\rightarrow$ new  $\rightarrow$ gui tıklayarak. GUI çağırıldıktan sonra ilk olarak Şekil 3.3 gibi bir pencere açılır.

## Standart Çubuk



- GUI Obje Kutusu
- Figür Yüzey
- Standart Çubuk
- Çalışma Penceresi
- Yüzey
- Boyutlandırma
- Kukakcığı
- Program Başlatma
- Düğmesi
- Obje Listesi
- Obje Özellikleri
- Menü Editörü
- Obje Hizalama
- Düğmesi

Şekil 3.3. GUI çalıştığında açılan pencere

Figür yüzey (layout) programcının düzenleme yaptığı bölgedir. Sol tarafda GUI elemanları yer alır. Programcı herbirinin üzerine tıklıyıp, figür yüzeye çekerek her nesneyi kullanabilir. Bu pencerenin üst kısmında araç çubuğu yer alır ve kullanıcıya GUI nesnelerini düzenleme, yüzeyde dağıtma, özelliklerini değiştirme gibi imkanlar sağlar.

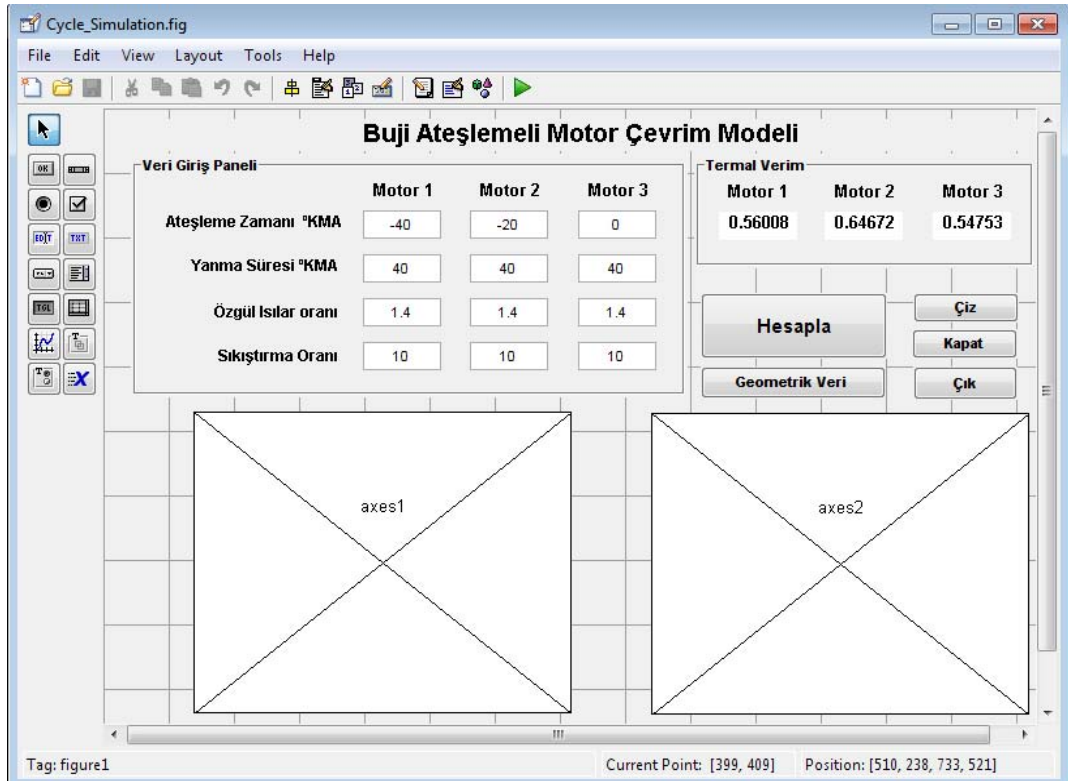


#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde oluşturulan grafik kullanıcı arayüz tanıtılacaktır. Ardından belirli parametrelerin değişimi ile ortaya çıkan sonuçlar üzerinden modelin sonuçları tartışılacaktır.

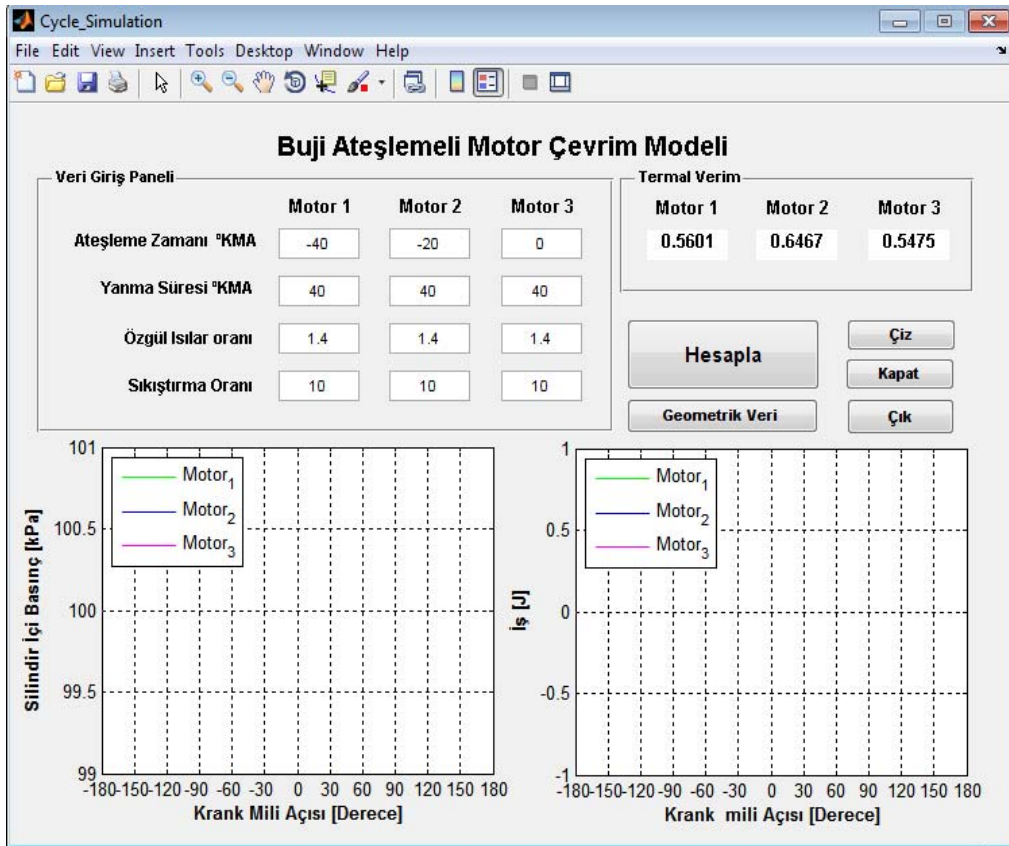
##### 4.1. Oluşturulan Grafik Kullanıcı Arayüz

Şekil 4.1'de MATLAB GUI'de oluşturulan GUI figür yüzeyi görülmektedir. Oluşturulan figür, üç farklı motor konfigürasyonu için girdi parametrelerinin yazılacağı statik ve edit text'ler, iki adet grafiğin çizdirileceği axes'ler ve hesaplama yaptırabilmek için gerekli olan bir adet pushbutton'dan oluşmaktadır.



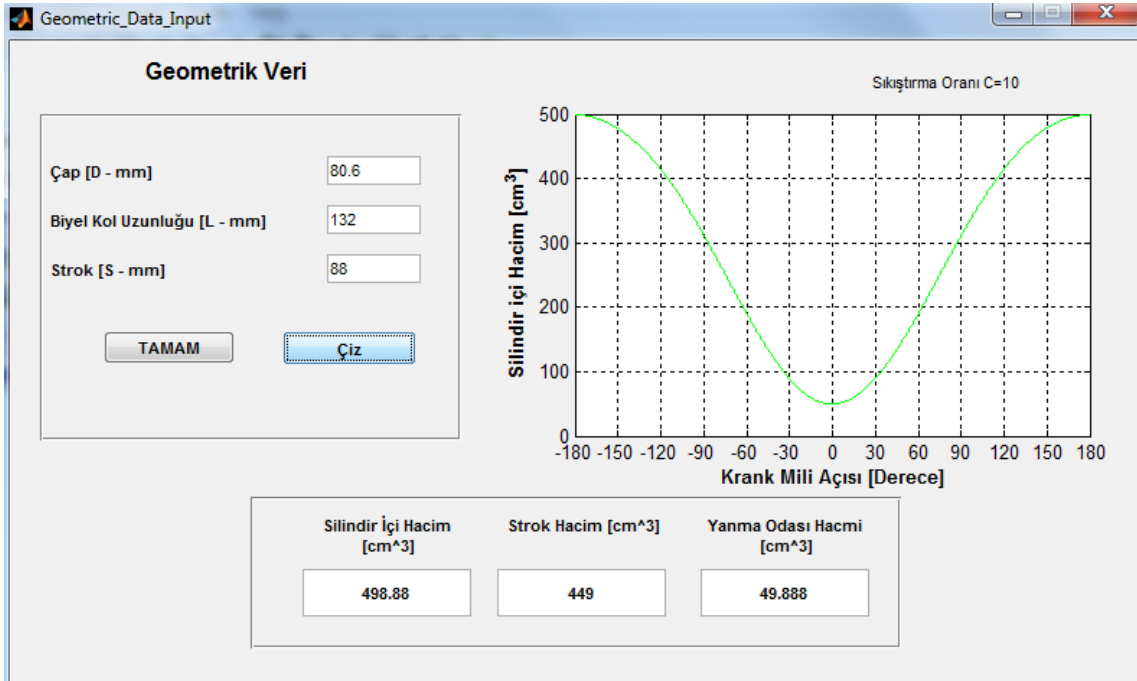
Şekil 4.1. MATLAB GUI figür yüzeyi

Şekil 4.1'deki arayüz oluşturulup, arayüzde yar alan her bir gui objesine işlevsellik kazandırmak için gerekli kodlar yazılıp arayüz çalıştırıldıktan sonra Şekil 4.2'de görülen pencere açılmaktadır. Girdi parametreleri olarak; ateşleme avansı, yanma süresi, özgül ısılar oranı ve sıkıştırma oranı parametreleri bu ekrandan, üç farklı motor için girilebilmektedir. İstenen değerler karşılık gelen boşluklara yazıldıktan sonra "Calculate" butonu tıklandığında MATLAB ilgili fonksiyonlar ile diferansiyel denklem takımlarını çözmekte ve her bir motora ait indike verim değerlerini karşılık gelen boşluklara yazmaktadır. Ardından arayüzün en altına bulunan iki adet grafik çizdirilmektedir. Bu grafiklerden birincisi silindir içi basınç-krank mili açısı değişimini, ikincisi ise indike iş-krank mili açısı değişimini göstermektedir. Bu iki grafik sayesinde girdi parametrelerinin tüm zamanlar boyunca silindir içinde nasıl değişikliklere neden olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Ayrıca her bir motora ait veriler üst üste çizdirildiği için motorlar arasında rahatlıkla karşılaştırma yapılabilmektedir.



Şekil 4.2. MATLAB GUI kullanıcı arayüzü

Şekil 4.2’te bulunan “Geometric Data” ikonuna tıkladığında ise motorun geometrik özelliklerinin değiştirilebileceği bir yeni panel açılmaktadır (Şekil 4.3). Bu panel ile motora ait çap, biyel kol uzunluğu ve strok değerleri girilerek toplam silindir hacmi, strok hacmi, yama odası hacmi değerleri hesaplanabilir ve krank mili açısına bağlı olarak silindir hacmi değişimi grafik üzerinden görülebilir.



Şekil 4.3. Geometrik veri giriş paneli

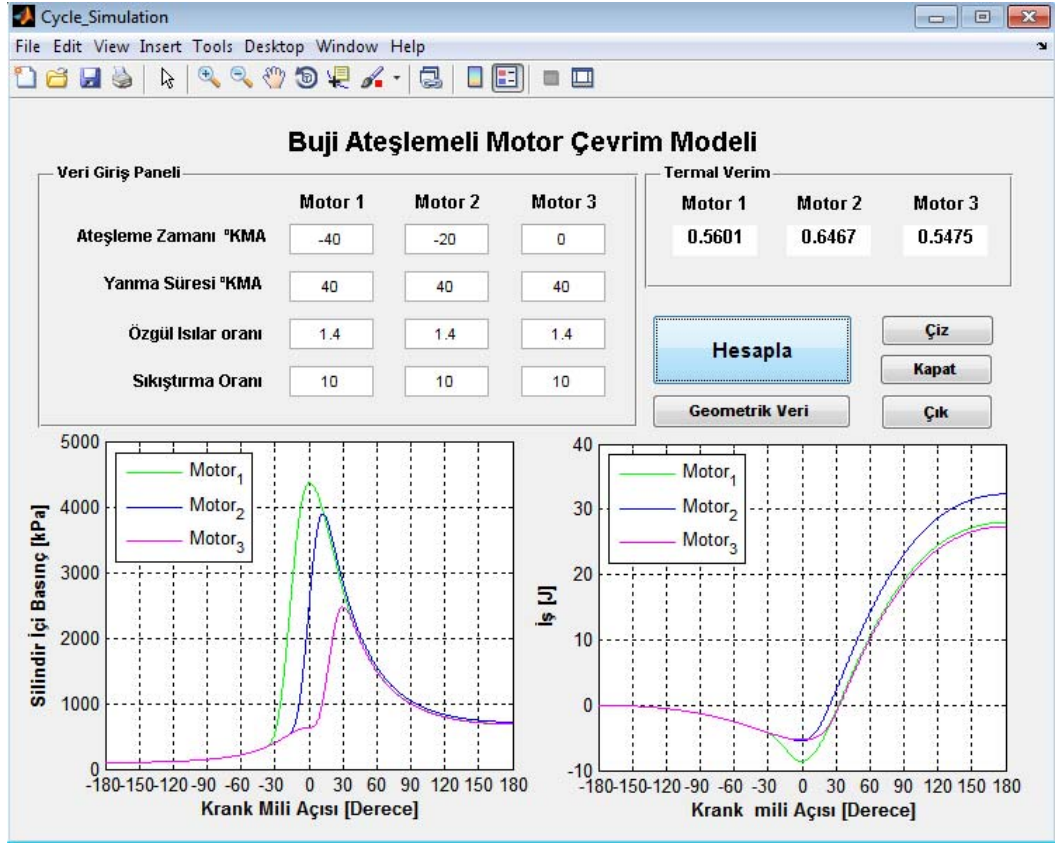
#### 4.2. Farklı Ateşleme Avansı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar

Buji ateşlemeli motorlarda maksimum güç ve tork üretebilmek için yanmanın üst ölü noktaya göre doğru yerde gerçekleşmesi gerekmektedir. Sıkıştırma zamanını bitmeden önce yanma başlar (üst ölü noktadan önce), genişleme zamanının başlangıç süresi boyunca devam eder ve maksimum silindir basıncı görüldükten bir süre sonra sona erer. (Heywood 1988). Şayet ateşleme çok gecikirse çevrimin tamamında basınç azalacaktır ve beraberinde genişleme zamanında piston üzerinde yapılan iş de azalacaktır. Her ne kadar sıkıştırma zamanında piston üzerinde yapılan iş azalsa dahi genişleme zamanında üretilen iş azalacağı için net çıkış işi de azalmış olacaktır. Aksi durum olan ateşleme

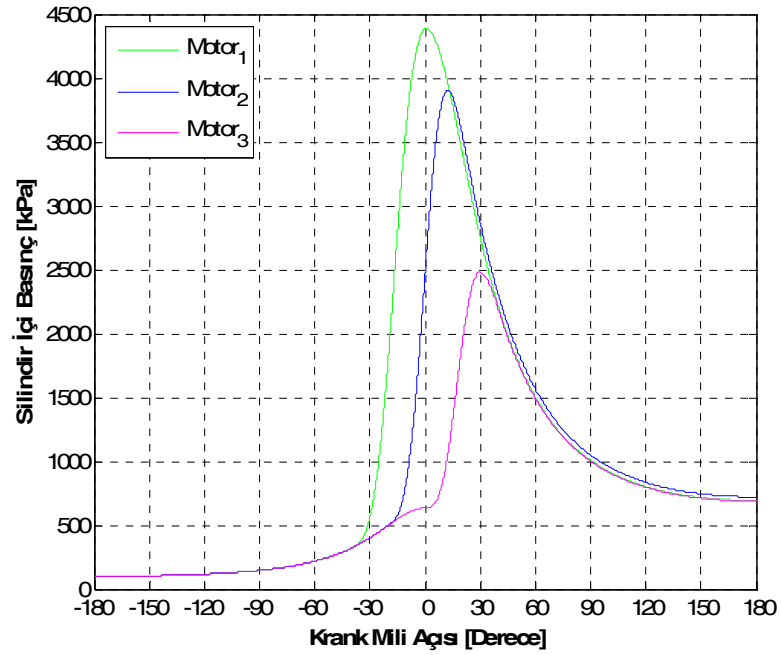
noktasının erkene alınması durumunda ise sıkıştırma zamanı boyunca piston üst ölü noktaya gelirken basınç çok yüksek değerlere çıkacaktır ve bu durum da gücün azalmasına neden olmaktadır. Sıkıştırma zamanında işin artması genişleme zamanında üretilen işin artmasına nazaran daha büyük seviyede gerçekleşeceği için motor performansı azalmaktadır (Stone 1999). “Maksimum fren torkunu veren ateşleme zamanı” olarak adlandırılan MBT bu iki zıt etkinin kesiştiği noktadadır.

Üretilen program belirli ateşleme avansı değerleri için çalıştırılarak ateşleme avansının buji ateşlemeli motor basınç çevrimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 4.4, 40 °ÜÖNÖ, 20 °ÜÖNÖ ve 0 °ÜÖNÖ ateşleme avansı değerleri için sonuçları göstermektedir. Şekil 4.5’te ise silindir içi basıncın krank mili açısı ve silindir hacmi ile ayrı ayrı değişimleri görülmektedir. (Yanma süresi °KMA, Özgül ısılar oranı 1.4 ve Sıkıştırma oranı 10 olarak sabit tutulmuştur)

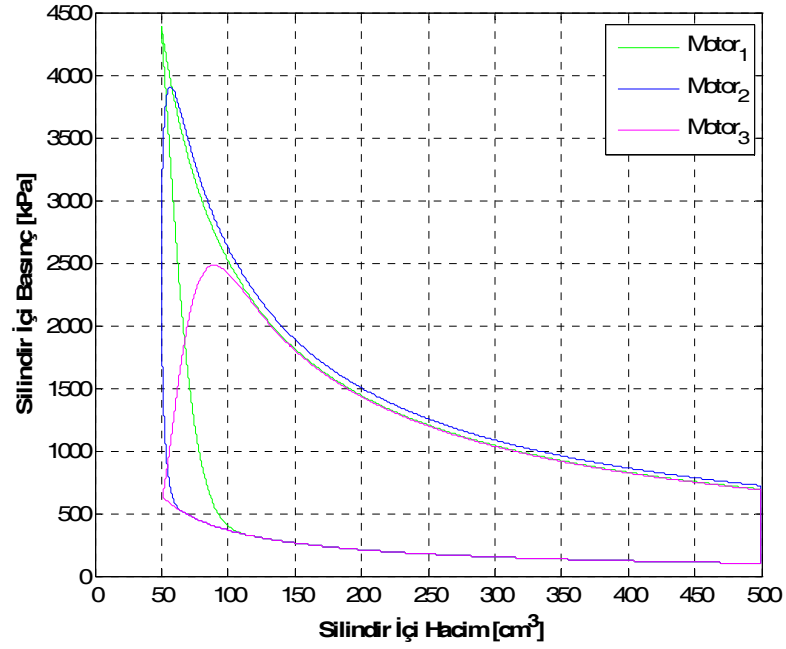
Ayrıca 35 °ÜÖNÖ’den başlayarak 0 °ÜÖNÖ’ye kadar 5 °’lik adımlarla üretilen sonuçlar ise Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu sırada diğer parametreler sabit tutularak yalnızca ateşleme avansının etkileri araştırılmıştır. Bu tabloda, motor çıkış işi, termal verim, silindir içi maksimum basınç (Pmax) ve maksimum basıncın meydana geldiği krank mili açısı (θPmax) değerleri bulunmaktadır. Bu değerler için optimum ateşleme avansının 20 °ÜÖNÖ olduğu görülmektedir. Bu ateşleme avansı için termal verim maksimum değerdedir. Tablodan ayrıca MBT’den daha büyük ateşleme avansı değerlerinde maksimum silindir içi basıncın arttığını ve ÜÖN’ya yaklaştığını görmekteyiz. Ayrıca sıkıştırma stroğunda piston üzerinde yapılan işin yani negatif işin arttığı anlaşılmaktadır. MBT’den daha sonar yapılan ateşleme durumlarında ise silindir içerisinde basınç tüm zamanlarda azalmakta ve bu durum net işin azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.4. Farklı ateşleme avansları için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü



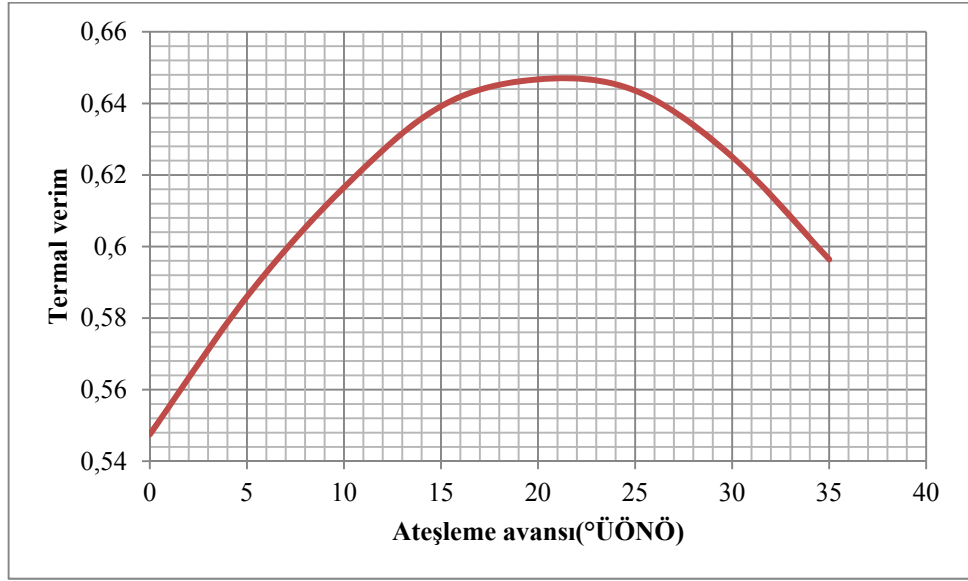
Şekil 4.5. Farklı ateşleme avansları için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.6. Farklı ateşleme avansları için silindir içi basınç silindir içi hacmi ile değişimi

Çizelge 4.1. Ateşleme avansının motor karakteristiklerine etkisi

Ateşleme avansı (°ÜÖNÖ)	İş çıkışı (J)	Termal verim (-)	$P_{max}$ (kPa)	$\theta_{pmax}$ (°BTDC)
35	29.82	0.59641	4408	3.2
30	31.25	0.62510	4339	5.6
25	32.18	0.64357	4168	8.8
20	32.34	0.64672	3902	12.2
15	31.96	0.63921	3568	16.2
10	30.83	0.61653	3199	20.5
5	29.30	0.58599	2828	25.1
0	27.38	0.54753	2480	29.8

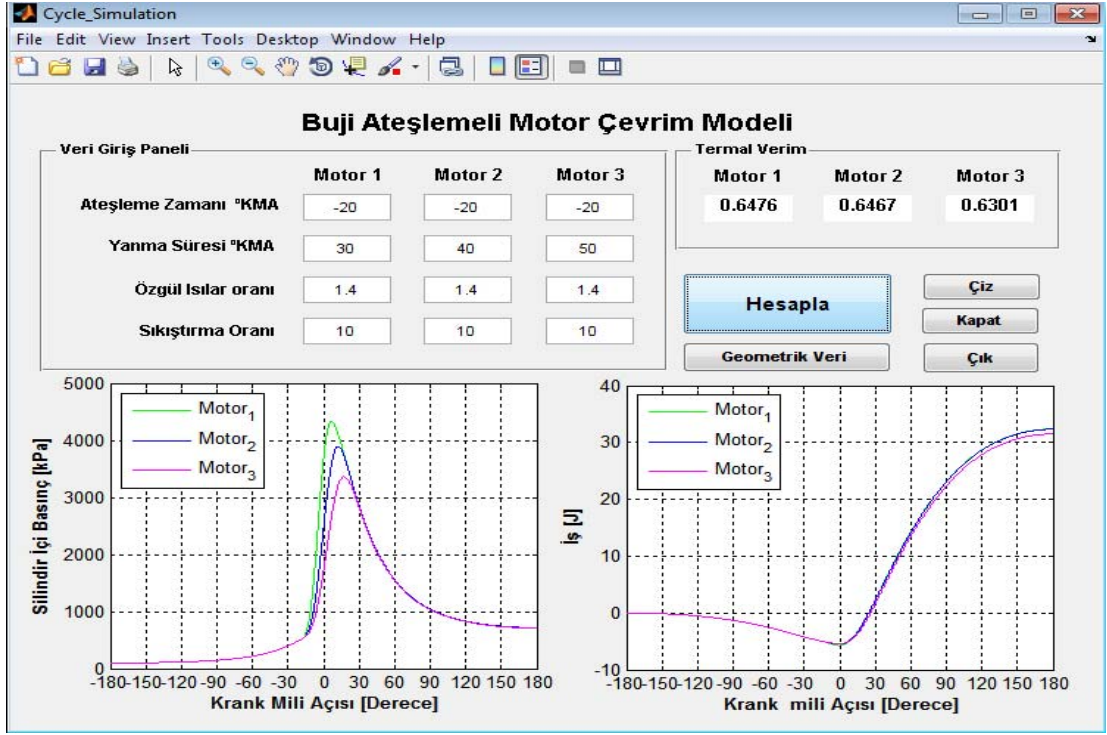


**Şekil 4.7.** Ateşleme avansı-Termal verim diyagramı

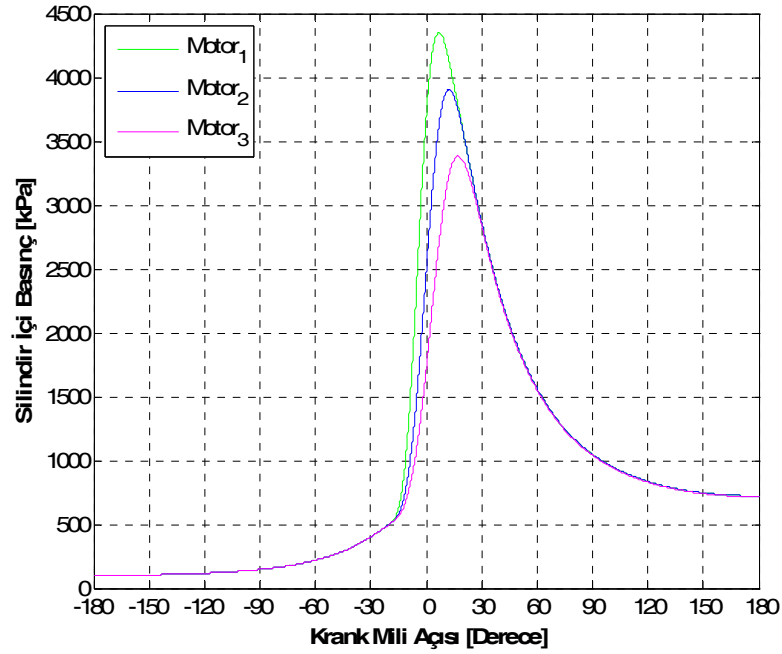
### 4.3. Farklı Yanma Süresi Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar

Buji ateşlemeli motorlarda yanma süresini kısaltacak her türlü dizayn, basınç çevrimini ideal otto çevrimine yaklaştırmakta ve bu durum motor çıkış gücünü ve performansını artırmaktadır. Bu parametreler arasında buji sayısı, yanma odası dizaynı, silindir çapı, yakıtın cinsi ve yakıt püskürtme stratejisi gibi parametreler sayılabilir. Yanmanın buji ile başlatılmasından sonra alevin silindir içini tamamen taraması ve sönmesi durumu silindir içerisinde hem kimyasal hem de fiziksel şartlardan etkilenerek belirli sürede olmaktadır.

Şekil 4.7'da 30 °KMA, 40 °KMA ve 50 °KMA olmak üzere üç farklı yanma zamanı için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü verilmiştir. Bu hesaplamalar esnasında ateşleme avansı optimum değer olan 20 °ÜÖNÖ, özgül ısılar oranı 1.4 ve sıkıştırma oranı 10 olarak girilmiştir. Ayrıca Şekil 4.8'de ise bu durumlar için silindir içi basıncın krank mili açısı ve silindir hacmi ile değişimleri gösterilmiştir. Her iki şekilden de yanma süresi azaldıkça motor çıkış gücünün, termal verimin, maksimum silindir basıncının arttığı görülmektedir.

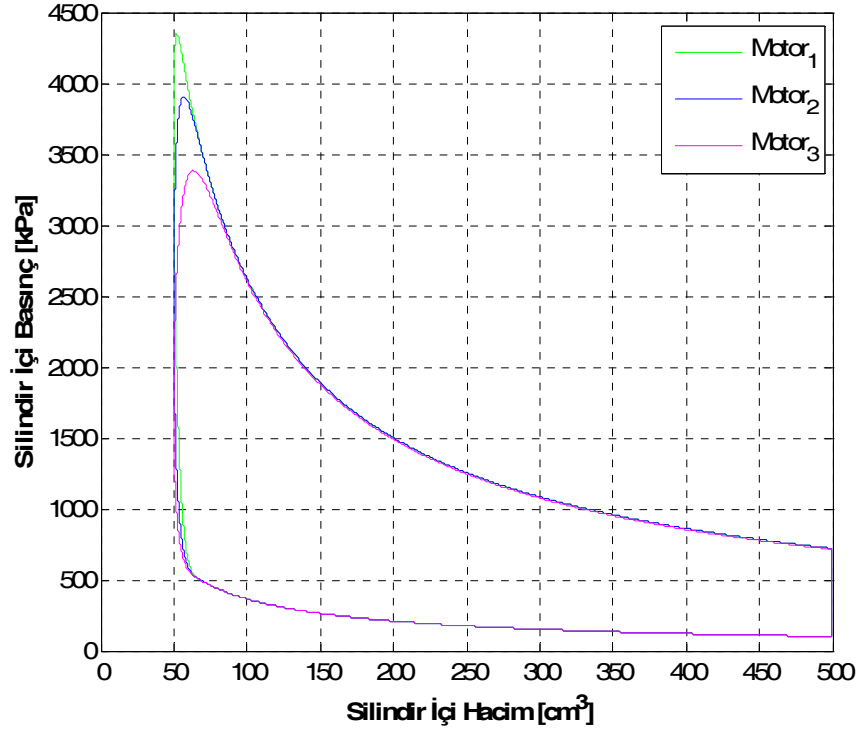


Şekil 4.8. Farklı yanma süresi değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü



Şekil 4.9. Farklı yanma süresi değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi

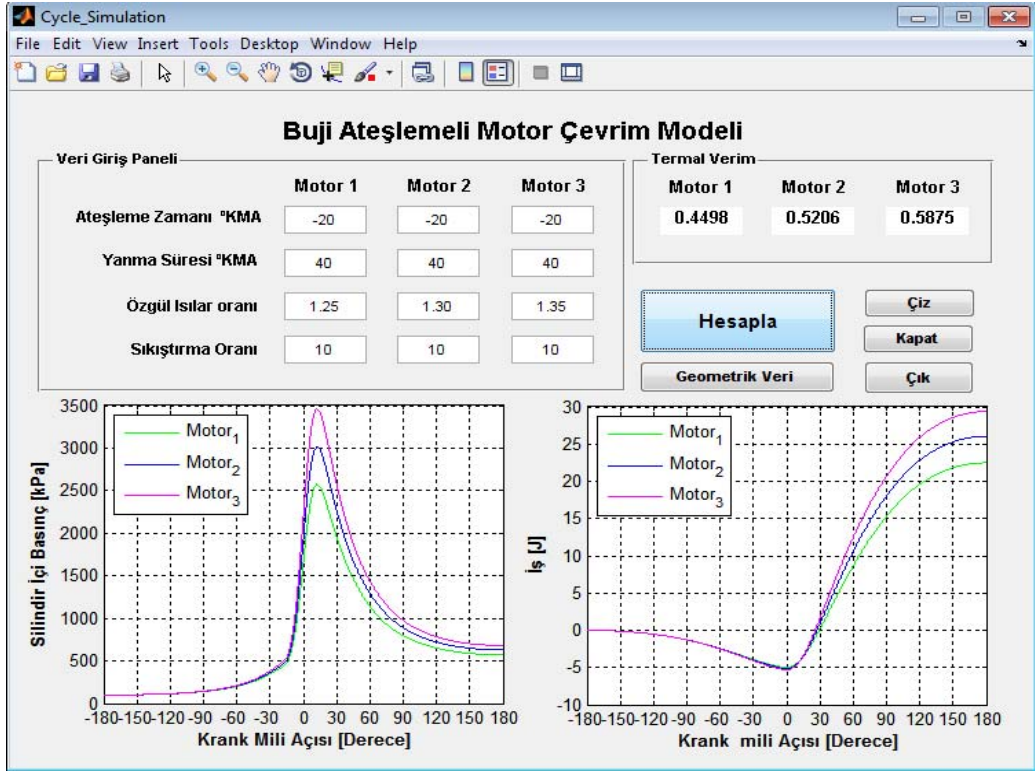




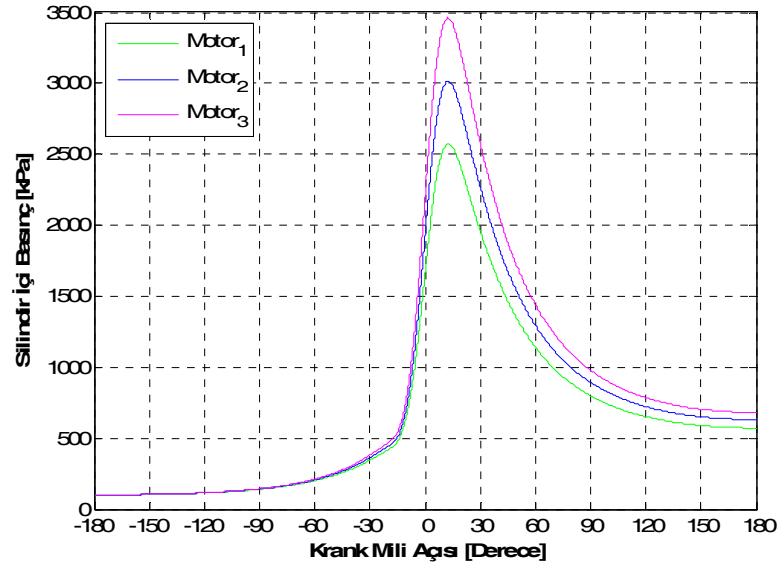
**Şekil 4.10.** Farklı yanma süresi değerleri için silindir içi basınç silindir içi hacmi ile değişimi.

#### 4.4. Farklı Özgül Isılar Oranı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar

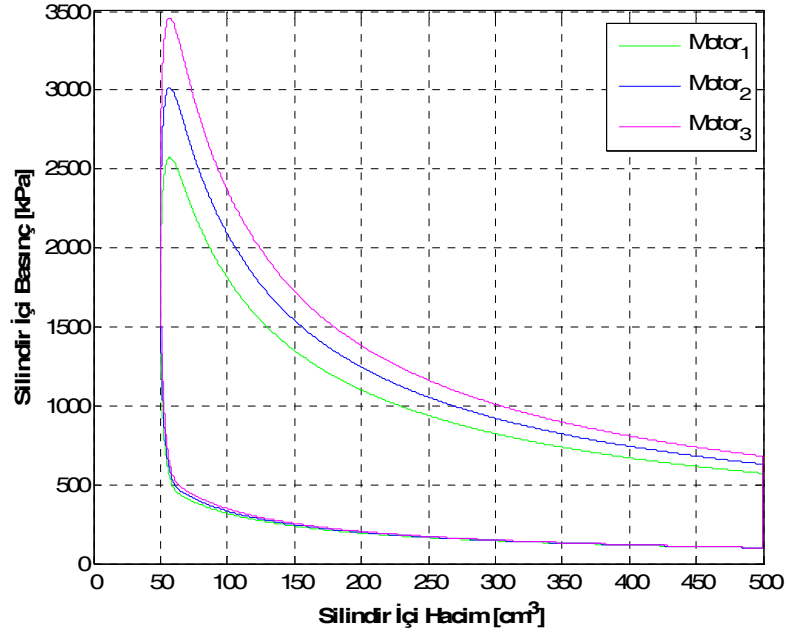
Özgül ısılar oranı diğer adıyla adyabatik üs değeri arttıkça motor termal veriminin arttığı bilinmektedir. Şekil 4.9'da 1.25, 1.30 ve 1.35 olmak üzere üç özgül ısılar oranı değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü verilmiştir. Bu hesaplamalar esnasında ateşleme avansı optimum değer olan  $20^{\circ}$ ÜÖNÖ, yanma süresi  $40$ KMA ve sıkıştırma oranı ise 10 olarak girilmiştir. Ayrıca Şekil 4.10'de ise bu durumlar için silindir içi basıncın krank mili açısı ve silindir hacmi ile değişimleri gösterilmiştir. Her iki şekilden de özgül ısılar oranının artması durumunda çıkış gücünün, termal verimin, maksimum silindir basıncının arttığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Farklı özgül ısılar oranı değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü



Şekil 4.12. Farklı özgül ısılar oranı değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi



**Şekil 4.13.** Farklı özgül ısılar oranı değerleri için silindir içi basınç silindir içi hacim ile değişimi

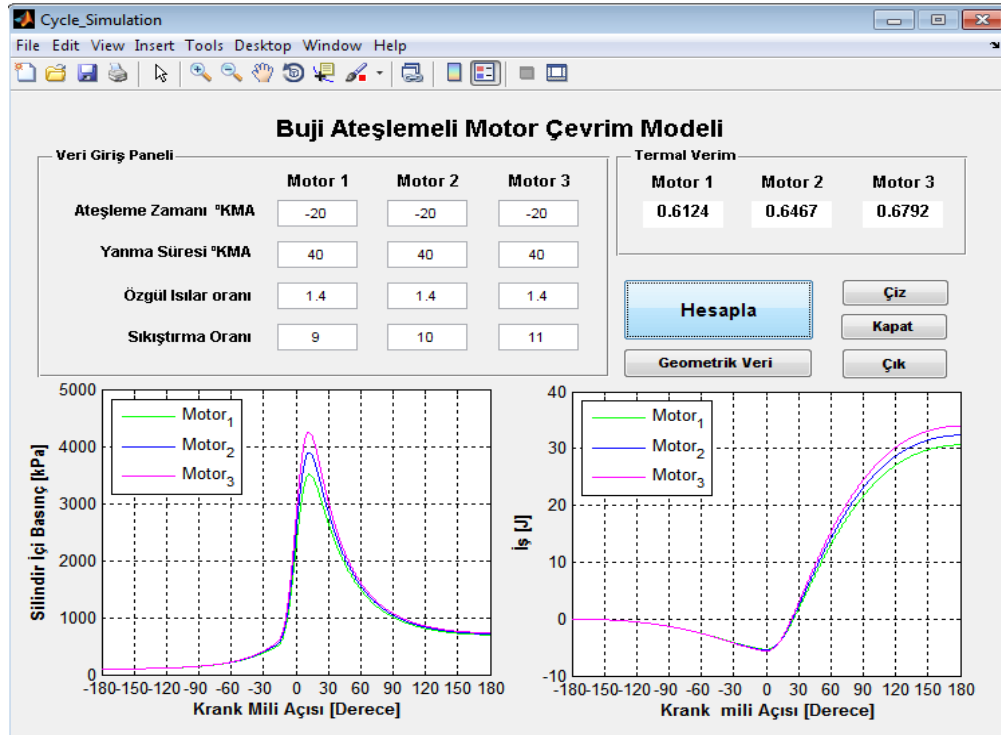
#### 4.5. Farklı Sıkıştırma Oranı Değerleri İçin Programın Çalıştırılması ve Sonuçlar

1930’larda buji ateşlemeli motorlarda 5:1 veya 6:1 değerinde sıkıştırma oranı kullanılırken günümüz konvansiyonel motorlarında bu değer 10:1’e kadar çıkarılmıştır (Abd Alla, 2002). Gerçek motor çevrimlerinde motor performansı ve veriminin sıkıştırma oranı ile arttığı bilinmektedir. Ancak, geometrik sıkıştırma oranı (maksimum silindir hacminin minimum silindir hacmine oranı) rahatlıkla tanımlanırken gerçek sıkıştırma ve genişleme prosesleri, supap zamanlamasına ve supapların açılma ve kapanması esnasındaki akış proseslerine bağlıdır. Ayrıca, sıkıştırma oranı artışı yakıtın oktan kalitesi ve vuruntu ile de sınırlanmaktadır (Heywood, 1988).

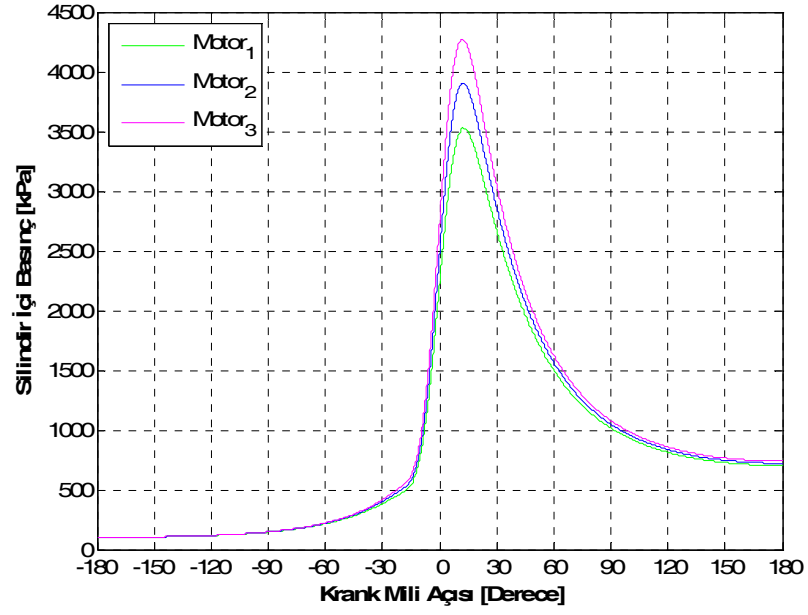
Sıkıştırma oranının motor karakteristiklerine etkisini incelemek için üç farklı sıkıştırma oranı değeri (9, 10, 11) program çalıştırılarak sonuçlar gözlenmiştir. Şekil 4.11’de bu değerler için çalıştırıldığında oluşan arayüz, Şekil 4.12’de ise farklı sıkıştırma oranı değerleri için basınç-krank mili açısı ve indike iş-krank mili açısı değişimleri

görülmektedir. Bu hesaplamalar için ateşleme avansı  $20^{\circ}\text{KMA}$  (ÜÖN'dan önce), yanma süresi  $40^{\circ}\text{KMA}$  ve özgül ısılar oranı 1.4 olarak alınmıştır.

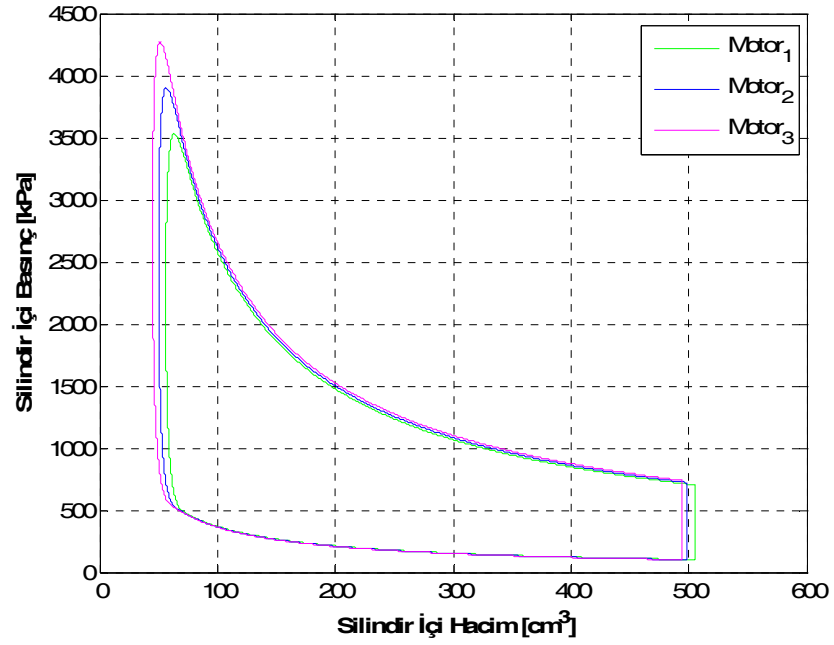
Sıkıştırma oranının 9, 10 ve 11 olması durumları için indike motor verimi sırayla 0.61245, 0.64672 ve 0.6792 olarak hesaplanmıştır. Bu durum artan sıkıştırma oranının motor termal verimini de artıracaklarını göstermektedir. Ayrıca silindir içi basıncı ve indike iş değişimlerinin verildiği grafikler incelendiğinde sıkıştırma oranı arttıkça silindir içi basıncın ve yanma zamanının sonunda indike işin arttığı görülmektedir. Ancak ilgili grafik detaylıca incelendiğinde sıkıştırma oranının artması durumunda sıkıştırma işinin de arttığı görülebilir. Sıkıştırma oranının en fazla 11 alınma nedeni ise gerçeğe daha yakın olmasıdır. Günümüzdeki otomobillerde sıkıştırma oranı 10 değerine yakındır, yalnızca bazı yüksek oktan sayılı yakıtların kullanıldığı motorlarda daha yüksek değerlere çıkılabilmektedir. Belirttiğimiz gibi sıkıştırma oranı fazla arttığında, sıkıştırma zamanında sıcaklık daha da artar ve yakıt kendiliğinden tutuşur ve erken yanma meydana gelir. Bu durumda vuruntu olur ve motor performansı azalır.



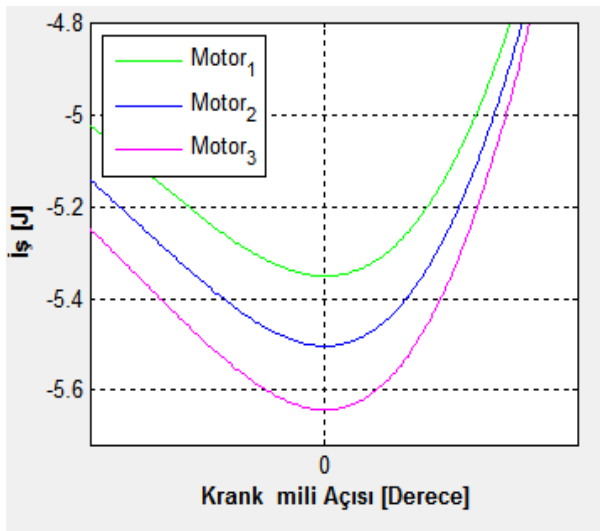
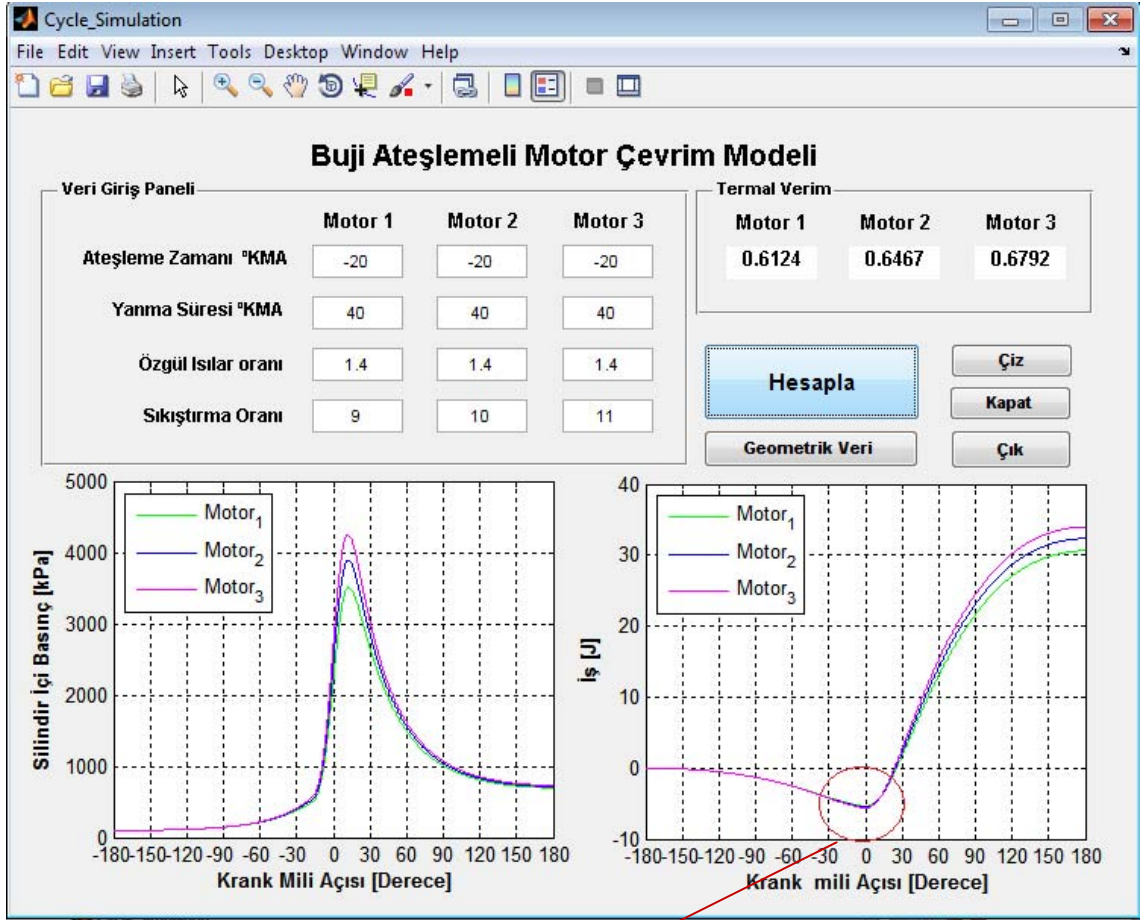
Şekil 4.14. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için çalıştırıldığında arayüz görüntüsü



Şekil 4.15. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için silindir içi basınç krank mili açısı ile değişimi



Şekil 4.16. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için silindir içi basınç ile silindir içi hacim değişimi



Şekil 4.17. Sıkıştırma oranı yükseldiğinde negatif işinde çoğalması görüntüsü

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar ve Öneriler

İçten yanmalı motorların performans karakteristikleri çok sayıda parametreye bağlıdır. Bu yüzden motorlar üzerinde yapılan tasarım çalışmaları, matematiksel modeller ve deney düzenekleri üzerinde uzun süreli çalışmalar gerektirmektedir. Ancak silindir içi basınç verilerini üretebilen matematiksel modeller kullanılarak sonuçların irdelenmesi, eğitim çalışmalarında faydalı olmaktadır. Bu çalışmada silindir içi basınç verilerinin farklı motor parametreleri durumunda üretilebildiği bir model MATLAB GUI ile bir arayüze taşınmış ve sonuçların daha anlaşılır bir biçimde sunulma imkanı sağlanmıştır.

Aşağıda çalışma sonuçları ve öneriler sunulmuştur;

- 1- Oluşturulan kullanıcı arayüzü, lisans ve lisansüstü seviyede içten yanmalı motorlar derslerinde, farklı motor parametrelerinin etkilerinin anlatılmasında rahatlıkla kullanılabilir.
- 2- Ancak, silindir çapı, strok, biyel kolu uzunluğu gibi birçok konstrüktif parametre ve devir sayısı, hava fazlalık katsayısı gibi birçok çalışma parametresi de eklenerek program geliştirilebilir.
- 3- Kullanılan matematiksel model çok alanlı hale getirilerek yanmış-yanmamış bölgelerdeki değişimler incelenebilir.
- 4- İş gazı olarak sadece hava değil, ilgili yanma denklemleri de çözdürülerek yakıt hava karışımı kullanılabilir.
- 5- Bu çalışmada buji ateşlemeli motor çevrimi kullanılmıştır. Benzer şekilde dizel motorları için de matematiksel modeller kurularak çalışmalar yapılabilir.

**KAYNAKLAR**

- Bilgin, A., Durgun, O., Taşıt Motorlarında Kirletici Oluşum Mekanizmaları ve Önlenmesi, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.]
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1994. İçten Yanmalı Motorlar. Cilt 1. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara.
- Belmont, M.R., Hancock, M.S. and Bukingham, D.J, 1986. Statistical Aspects of Cyclic Variability. SAE Paper No: 860324.
- Ceviz, M.A. ve Yüksel F., 2004. Buji ateşlemeli motorlarda çevrimsel farklar üzerinde hava fazlalık katsayısının etkileri. 8. Uluslar arası yanma sempozyumu, Ankara.
- Ceviz, M.A. and Yüksel F., 2005. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI Engine. *Applied Thermal Engineering* 25, 917-925.
- Çelik, M.B., Şubat 1999, Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
- Cho, Y.S., Santavicca, D.A.. and Sonntag, R.M., 1992. The Effect of Spark Power on Spark-Ignited Flame kernel Growth. SAE Paper No: 922168.
- Dai, W., Trigui N., and Lu Y., Modelling of cyclic variations in spark-ignition engines, *International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition*, Paris, France, SAE Paper No: 2000-01-2036, 2000.
- Hamai, K., Kawajiri, H., Ishizuka, T. and Nakai, M., 1986. Combustion Fluctuation Mechanism Involving Cycle-to- Cycle Spark Ignition Variation Due to Flow Motion in S.I. Engines. 21st Symposium (International) on Combustion
- Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 1988. McGraw-Hill Book Co.,
- Hill, P.G., 1988. Cyclic Variation and Turbulence Structure in Spark-Ignition Engines. *Combustion and Flame*, 72, 73-89.
- Hill, P.G. and Kapil, A., 1989. The Relationship Between Cyclic Variation in Spark-Ignition Engines and the Small Structure of Turbulence. *Combustion and Flame*, 78, 237-247.
- Ho, C.M. and Santavicca D.A., 1987. Turbulence Effects on Early Flame Kernel Growth. SAE Paper No: 872100.
- Kalghatgi, G.T., 1985. Early Flame Development in a Spark-Ignition Engine. *Combustion and Flame*, 60, 299-308.
- Kirkpatrick, C.R. and Kirkpatrick A.T, 2001. *Internal Combustion Engines*, John Wiley & Sons, Inc.
- Kuroda, H., Nakajima, Y., Sugihara, K., Takagi, Y., and Muranaka, S., 1978. The Fast Burn with Heavy EGR, New Approach for Low NOx and Improved Fuel Economy. SAE Paper No:780006.
- Matekunas, F.A., 1983. Modes and Measures of Cyclic Combustion Variability. SAE Paper No: 830337.
- Matsui, K., Tanaka, T. and Ohigashi, S., 1979. Measurement of Local Mixture Strength at Spark Gap of S. I. Engines. SAE Paper No:790483.



- Ozdor, N., Dulger M., and Sher E., 1994. Cyclic Variability in Spark Ignition Engines A Literature Survey. SAE Paper No:940987.
- Patterson, D.J., 1966. Pressure Variations, A Fundamental Combustion Problem. SAE Paper No:660129.
- Peters, N. , 1986. Flamelet Concepts in Turbulent Combustion. Twenty-First Symposium (International) on Combustion, Combustion Institute, 1231
- Pundir, B.P., Zvonow, V.A. and Gupta, C.P., 1981. Effect of Charge Non Homogeneity on Cycle-by-Cycle Variation in Combustion in SI Engine. SAE Paper No: 810774.
- Scholl, D. and Russ S., 1999. Air-Fuel Ratio Dependence of Random and Deterministic Cyclic Variability in a Spark-Ignited Engine. SAE Paper No: 1999-01-3513.
- Sher, E. and Keck, J.C., 1986. Spark Ignition of Combustible Gas Mixture. Combustion and Flame, 66, 17-25.
- Sürmen, A., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HC emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçiş Sonrası Davranımının Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.]
- Stone, R.,1989, Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd.,Houndsmills.
- Stone, C.R., Brown, A.G. and Beckwith, P., 1992. A turbulent Combustion Model Used To Give Insight Into Cycle-by-Cycle Variation in Spark Ignition Engine Combustion. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Combustion in Engines, International Conference, IMechE.
- Weaver, C.E. and Santavicca, D.A., 1992. Correlation of Cycle-Resolved Flame Kernel Growth and Cylinder Pressure in an Optically Accessible Engine. SAE Paper No:922171.
- Yüksel, F., Ceviz, M.A., Yüksel, B. Ve Çetin, M., 2001. Alternatif yakıtların motor emisyonlarına etkisi. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 25-27 Nisan, Ankara.
- Yıldırım, M. ve Gül, Z., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Segman Boşluğu Hidrokarbonlarının Çok Boyutlu Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.
- Young, M.B., 1981. Cyclic dispersion in the homogeneous-charge spark ignition- A Literature Survey. SAE Paper No:810020.

## ÖZGEÇMİŞ

1980'da İran, Orumiye'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Orumiye'daki farklı okullarda tamamladı. 2003 yılında girdiği Orumiye Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Ocak 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

2004-2005 yılları arasında askerliğini Öğretmen olarak tamamladı. 2005 yılından beri teknik lise Öğretmeni ve Mak. Müh. olarak görev yapmaktadır.

Evli ve bir çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.