

**YAKIT OLARAK CH<sub>4</sub> KULLANAN DEĞİŞKEN SIKIŞTIRMA ORANLI BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN İDEAL HAVA-YAKIT ÇEVİRİM ANALİZİ İLE TEORİK SİMÜLASYONU****Perihan SEKMEN\* Yakup SEKMEN\*\* Can ÇINAR\*\*\***

\*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, 78100, Karabük

\*\*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi, 20100 Kınıklı, Denizli

\*\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi, 06500 Beşevler, Ankara

**ÖZET**

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak içten yanmalı motorların tasarımında teorik modellerin kullanılması ile farklı çalışma ve tasarım parametrelerinin motor performansına etkileri ve gerçek bir motorun performans karakteristikleri daha az maliyetle ve daha kısa sürede tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada, tek silindirli, 4-zamanlı, doğal emişli, ideal hava-yakıt çevrimi üzerinde çalıştığı kabul edilen buji ile ateşlemeli bir motor için matematiksel bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. FORTRAN programlama dilinde yazılmış bir bilgisayar programı yardımıyla sıkıştırma oranı ve motor hızı değişimleri için krank mili açısına (KMA) bağlı olarak silindir basınç ve sıcaklık değişimleri elde edilerek ortalama indike basınç, yakıt ve hava tüketimleri, indike güç, termik verim gibi bazı motor performans parametreleri hesaplanmıştır. Nümerik hesap metodunda yakıt olarak metan (CH<sub>4</sub>) kullanılmış olup, CH<sub>4</sub> ve türlere ait iç enerji ve özgül ısılar ile iki temel ayrışma denge sabitlerinin hesabı sıcaklığa bağlı amprik fonksiyonlarla gerçekleştirilmiştir. Yanma ve egzoz proseslerinin sabit hacimde; sıkıştırma, yanma ve genişleme proseslerinin ise adyabatik olarak gerçekleştiği kabul edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Buji ile ateşlemeli motor; Metan; Hava-yakıt oranı; İdeal hava-yakıt çevrimi**THEORETICAL SIMULATION OF A METHANE FUELED SPARK IGNITION ENGINE WITH VARIABLE COMPRESSION RATIO ACCORDING TO THE IDEAL AIR-FUEL CYCLE ANALYSIS****ABSTRACT**

By the using of theoretical model to internal combustion engine design, the effects of different operating and design parameters on engine performance, and performance characteristics of a real engine can be estimated less cost and time relating to improvement of computer technologies. In this study, a mathematical simulation model is developed to a single cylinder, four-stroke and natural aspirated spark ignition engine to be considered of operating on ideal air-fuel cycle. Obtaining the variations of cylinder temperature and pressure with crank angle depend on compression ratio and engine revolution, engine performance parameters such as indicated mean effective pressure, fuel and air consumptions, indicated power, thermal efficiency were calculated using computer program written with FORTRAN. Methane (CH<sub>4</sub>) is used as a fuel in numerical calculation method, and calculation of internal energy and specific heats belong to CH<sub>4</sub> and specifies and calculation of considered two basic dissociation equilibrium constants were achieved as the empiric functions of temperature. It is assumed that combustion and exhaust processes are accrued at constant volume and compression, combustion and expansion processes are adiabatic.

**KeyWords:** Spark ignition engine; Methane; Air-fuel ratio; Ideal fuel-air cycle

## 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar, icatlarından bu yana insanların hayatında çok büyük kolaylık sağlamış, diğer bilim alanlarında da önemli gelişmelerin öncüsü olmuştur. Gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak, bir motorun çalışması sırasında gerçekleşen olayların sayısal modellenmesi gerçeğe uygun şekilde yapılabilmekte ve imalatçıların kullanımına sunulurken uzun sürecek deneysel işlemlerin daha kısa sürede ve daha az maliyetle yapılması sağlanmaktadır.

Motorların matematiksel olarak modellenmesi sayesinde;

1. Farklı çalışma koşullarında motordan beklenen davranışı gerçekleştirme kabiliyeti ve kontrol değişkenleri belirlenmekte,
2. Maliyet daha kısa sürede daha etkin bir şekilde çıkarılmakta,
3. Artan bilgisayar hızı ile ilgili termodinamik ve gaz dinamiği olaylarının simülasyonuna uygulanan sayısal metotlarda yüksek bir iyileşme sağlanmakta,
4. Matematiksel modelin çözümü ile performans değişimi araştırılmakta,
5. Motor parametrelerinden her biri istenildiği gibi değiştirilerek motor karakteristiklerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır [1,2].

Bu çalışmada, yakıt olarak metan kullanan, tek silindirli, dört-zamanlı, normal emişli buji ile ateşlemeli bir motorun çalışma karakteristikleri ideal hava-yakıt çevrimine göre teorik olarak analiz edilmiştir. Bunun için  $HFK=1,0$  şartlarında sıkıştırma oranı ve motor hızı parametrelerinin motor performansına etkilerinin sayısal olarak incelendiği bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Kurulan modelin hesabında, basınç ve sıcaklık değerleri, ideal çevrimin meydana geldiği  $360^\circ KMA$  için  $1^\circ$ er derece aralıklarla hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ile literatürün uyuştugu görülmüştür.

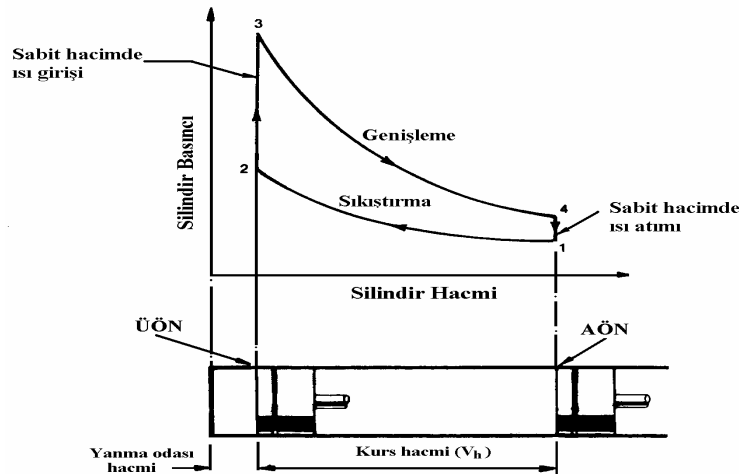
## 2. HAVA-YAKIT ÇEVİRİMİ ANALİZİ

İçten yanmalı motorlara, hava-standart çevrim analizi, ideal hava-yakıt çevrim analizi ve gerçek hava-yakıt çevrimi analizi olmak üzere üç farklı çevrim analizi uygulanmaktadır.

Hava-standart çevrim analizi motor verimi üzerindeki genel etkinin sadece sıkıştırma oranı olduğunu ifade ederken, ideal hava-yakıt çevrim analizi motor performansı üzerinde hava-yakıt oranı, emme basıncı ve sıcaklığının değişiminin de etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunlardan sıkıştırma oranı ve hava-yakıt oranı en önemli motor parametrelerini oluşturmaktadır.

Bir motorun gerçek verimi, ideal hava-yakıt çevrim veriminin yaklaşık %85'i kadar olup gerçek bir motordan beklenen gücün iyi bir şekilde tahmini hava-yakıt çevrim analizinden yapılabilmektedir. Bu sayede gerçeğe yakın bir şekilde maksimum silindir basınçlarının ve egzoz sıcaklıklarının tahmin edilebilmesi sağlanmaktadır [3,4].

İdeal hava-yakıt çevrimi basınç-hacim diyagramı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. İdeal hava-yakıt Otto çevrimi için basınç-hacim diyagramı (5,24)

### İdeal Hava-Yakıt Çevrimi Analiz Edilirken;

1. Silindir içi gazlarının gerçek kompozisyonu,
2. Sıcaklığa bağlı olarak özgül ısıda değişme,
3. Ayrışmanın etkisi ve
4. Mol sayısındaki değişme gibi faktörler ve aşağıdaki kabuller dikkate alınmaktadır.
5. Yanmadan önce hava ve yakıtta kimyasal değişmeler yoktur,
6. Her işlemde gazlar ile silindir duvarları arasında ısı alış-verişi yoktur,
7. Sistem kapalı bir sistemdir,
8. Yakıt tam olarak buharlaşmış ve hava ile tam olarak karışmıştır,
9. Her motor hızında silindir tam olarak doldurulmaktadır; sürtünme, pompalama, soğutma vb. kayıplar yoktur ve
10. Yanma ve egzoz işlemleri ani olarak, sabit hacimde, gerçekleşmektedir [4,21,23].

### 3. MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada, yakıt olarak metan kullanan, tek silindirli, dört-zamanlı, normal emişli buji ile ateşlemeli bir motorun çalışma karakteristikleri ideal hava-yakıt çevrimine göre teorik olarak analiz edilmiştir. Bunun için  $HFK=1,0$  şartlarında sıkıştırma oranı ve motor hızı parametrelerinin motor performansına etkilerinin sayısal olarak incelendiği bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Kurulan matematik modelde; yanma ve egzoz işlemlerinin sabit hacimde; sıkıştırma, yanma ve genişleme işlemlerinin adyabatik olarak gerçekleştiği kabul edilerek ve ayrışmadan başka kayıplar dikkate alınmayarak basınç ve sıcaklık değerleri, ideal çevrimin meydana geldiği  $360 \text{ }^\circ\text{KMA}$  için  $1^\circ$ er derece aralıklarla Newton-Raphson metoduna göre iteratif olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile literatürün uyduğu görülmüştür.

Silindire alınan karışımının atmosferik basınç ve sıcaklıkta hava-yakıt karışımı olduğu ve tüm motor hızlarında silindirin tam olarak doldurulduğu kabul edilerek bu karışımın termodinamik özellikleri belirlenmiştir. Karışımın fakir ve zengin olması durumları için verilen iki ayrı amirik ifade [11,15] kullanılarak yanma işleminin piston ÜÖN'de iken ani olarak meydana geldiği kabul edilmiştir. Sıkıştırma, yanma ve genişleme işlemlerine ait termodinamik özellikler temel termodinamik ilişkiler yardımıyla hesaplanmıştır. Gaz basıncı ve sıcaklığı ile yanma ürünlerinin kompozisyonu çeşitli amirik ifadelerin yardımıyla adım adım hesaplanarak elde edilmiştir. Bu eşitlikler sıkıştırma ve genişleme işlemleri için hesaplama adımının sonundaki sıcaklık değerleri  $1 \text{ K}$  tolerans içinde birbirine yaklaşıncaya kadar iteratif yöntemle çözülmüş ve daha sonra bulunan sıcaklık değerlerinden basınçlar hesaplanmıştır [2,6,8,11,14,15,22].

Matematiksel çevrim modelinin çözümü için FORTRAN programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirilerek sıkıştırma oranı ve motor hızı, hava fazlalık katsayısı (HFK), ortam basınç ve sıcaklığı ve motor yapısal özellikleri gibi sabitler programın başlangıcında tanıtılmış; yakıt ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 'un özellikleri ise iki ayrı sıcaklık aralığı ( $300\text{-}1000\text{K}$  ve  $1000\text{-}5000\text{K}$ ) için üç ayrı polinom dosyasından okutulmuştur [2,22].

$T_2$ : Sıkıştırma sonu sıcaklığı;  $T_3$ : Yanma sonu sıcaklığı;  $\phi$ : Eşdeğerlik oranını temsil etmek üzere yanma işlemi için yanma sonu sıcaklığı ( $T_3$ ) nın ilk tahmini, Eşitlik 1 ile amirik olarak verilen Annand ifadeleri kullanılarak belirlenmiştir [11,15].

$$\begin{aligned} \phi \leq 1.0 &\Rightarrow T_3 = T_2 + 2500 \phi \\ \phi > 1.0 &\Rightarrow T_3 = T_2 + 2500 \phi - 700 (\phi - 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Yanma ürünlerinin  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  ve  $\text{N}_2$ 'den oluştuğu ve yanma ve genişleme işlemleri süresince yüksek sıcaklık seviyeleri yüzünden ( $1000 \text{ K}$ 'den yüksek) iki temel ayrışma reaksiyonunun meydana geldiği kabul edilmiştir [11,15]. Sıcaklığın fonksiyonu olan denge sabitleri, hesaplarda kullanılabilme kolaylığı sağlamak amacıyla amirik olarak beşinci dereceden polinomlar haline dönüştürülmüş olup bu çalışmada  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  için aşağıdaki iki polinom (Eşitlik 2 ve 3) kullanılmıştır [11,15]. Bu eşitlikler yardımıyla hesaplanan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'nun ayrışma reaksiyon sabitleri kullanılarak yukarıda bahsedilen ürünlerin mol sayıları hesaplanmıştır.

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  eşitliğine ait denge sabiti;

$$\begin{aligned} \text{Log}_{K_{p1}} = & 4.275 - 7.776591\text{E}^{-3} \cdot T_2 + 5.18659\text{E}^{-6} \cdot T_2^2 - 1.83203\text{E}^{-9} \cdot T_2^3 \\ & + 3.31748\text{E}^{-13} \cdot T_2^4 - 2.42387\text{E}^{-17} \cdot T_2^5 \end{aligned} \quad (2)$$

$\text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  eşitliğine ait denge sabiti

$$\begin{aligned} \text{Log}_{K_{p2}} = & 41.75367 - 5.78096\text{E}^{-2} \cdot T_2 + 3.69976\text{E}^{-5} \cdot T_2^2 - 1.28456\text{E}^{-8} \cdot T_2^3 \\ & + 2.30571\text{E}^{-12} \cdot T_2^4 - 1.67704\text{E}^{-16} \cdot T_2^5 \end{aligned} \quad (3)$$

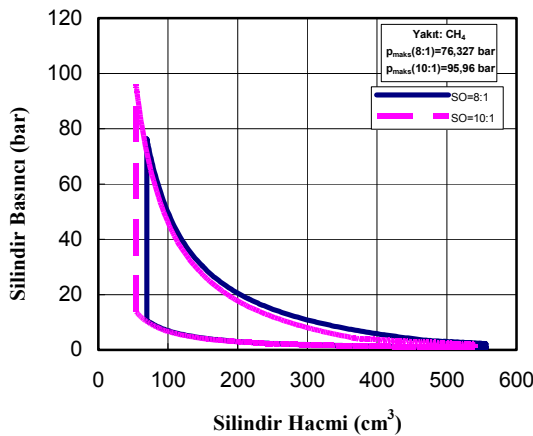
#### 4. SONUÇLAR

İdeal Otto çevrimine göre çalışan, dört zamanlı, tek silindri, silindir çapı 88 mm, kurs boyu 80 mm olan normal emişli buji ile ateşlemeli bir motor yakıt olarak metan (CH<sub>4</sub>) kullandığı kabul edilerek modellenmiştir. Bu çalışmada, yanma işlemi; karışımın stokiyometrik ( $\phi = 1,0$ ) oluşuna bağlı olarak verilen amprik ifadeye göre (Eşitlik 1) ve ani olarak gerçekleştiği kabul edilerek modellenmiştir. Bu matematiksel modelin gerçekleştirildiği bilgisayar programında sıkıştırma oranı 6:1'den 11:1'e kadar 1'er birimlik adımlarla, motor hızı 1800 1/min'den 3600 1/min'e kadar 300 1/min'lik adımlarla değiştirilerek elde edilen verilerle performans parametreleri grafikler halinde sunulmuştur.

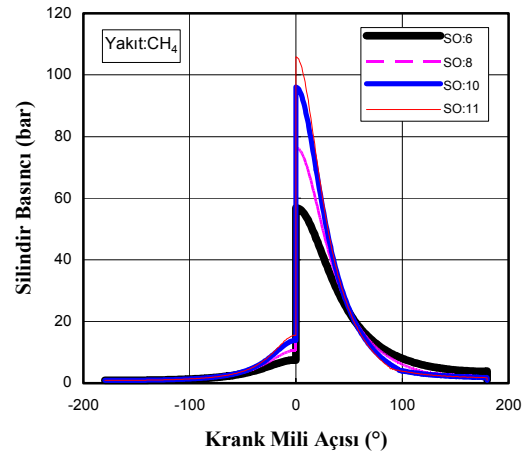
##### 4.1. Silindir Basınç ve Gaz Sıcaklıkları

Sıkıştırma oranı arttıkça silindir basınç ve gaz sıcaklığı da yükseldiğinden maksimum silindir basınç ve gaz sıcaklık değerleri yüksek olmaktadır [6,16].

Sıkıştırma oranı artışı ile silindir basıncının ve çevrimin kapalı alanının arttığı, çevrim net işinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 2'de 8:1 ve 10:1 sıkıştırma oranları için basınç-hacim değişimleri verilmektedir. Sıkıştırma oranı 8:1'den 10:1'e artırıldığı zaman maksimum silindir basıncında ( $p_{\text{maks}}$ ) 76 bar'dan 96 bar'a, yaklaşık %21'lik artış belirlenmiştir.

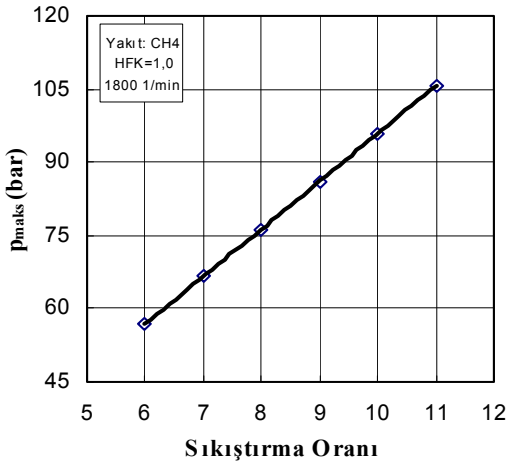


Şekil 2. Sıkıştırma oranının silindir basınç-hacim değişimine etkisi

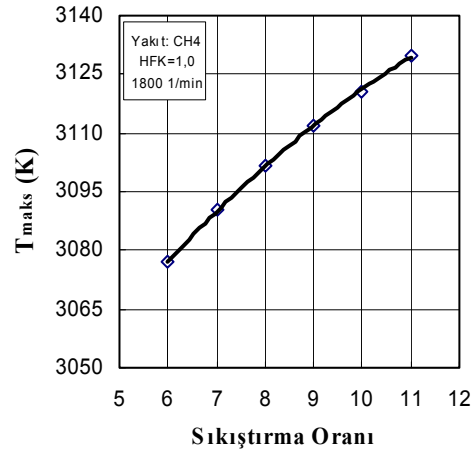


Şekil 3. Farklı sıkıştırma oranları için krank mili açısı-silindir basıncı değişimi

Şekil 3'te dört farklı sıkıştırma oranı değeri için krank mili açısı ile silindir basıncı değişimleri verilmektedir. Sıkıştırma oranı 6:1'den 11:1'e artırıldığında maksimum silindir basınç değerlerinde 55 bar'dan 105 bar'a artış belirlenmiştir.



Şekil 4. Sıkıştırma oranının maksimum silindir basıncına etkisi, HFK:1,0, SO:8



Şekil 5. Sıkıştırma oranının maksimum silindir gaz sıcaklığına etkisi, HFK:1,0, SO:8

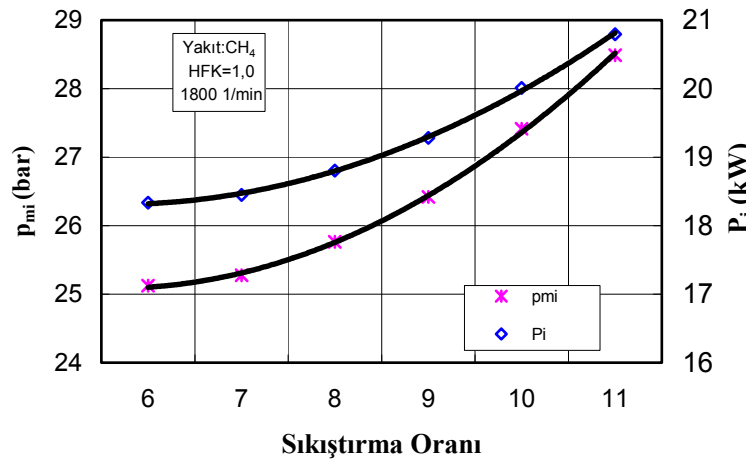
Şekil 4'te maksimum silindir basıncının ( $p_{maks}$ ); Şekil 5'te ise maksimum silindir gaz sıcaklığının ( $T_{maks}$ ) sıkıştırma oranı ile değişimleri verilmekte; sıkıştırma oranı artışı ile hem maksimum silindir basınçlarının hem de maksimum silindir gaz sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Sıkıştırma oranı 6:1'den 11:1'e artırıldığında maksimum silindir basıncında yaklaşık olarak 55 bar'dan 105 bar'a; maksimum gaz sıcaklığında ise yaklaşık olarak 3078 K'den 3130 K'e artışlar belirlenmiştir

Ayrıca sıkıştırma oranı artarken, güç zamanı süresince yapılan iş artacak ve buna bağlı olarak ta egzoz gaz sıcaklıkları azalacağından silindir gaz sıcaklıkları ve basınçları ile bunların maksimum değerleri sıkıştırma oranı ile artmaktadır [6,7,10,12,16,17,22].

#### 4.2. Ortalama İndike Basınç ve İndike Güç

Sıkıştırma oranı artışıyla sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte ve buna bağlı olarak da ortalama indike basınç ve indike güç değerleri artmaktadır [10,16,21,22].

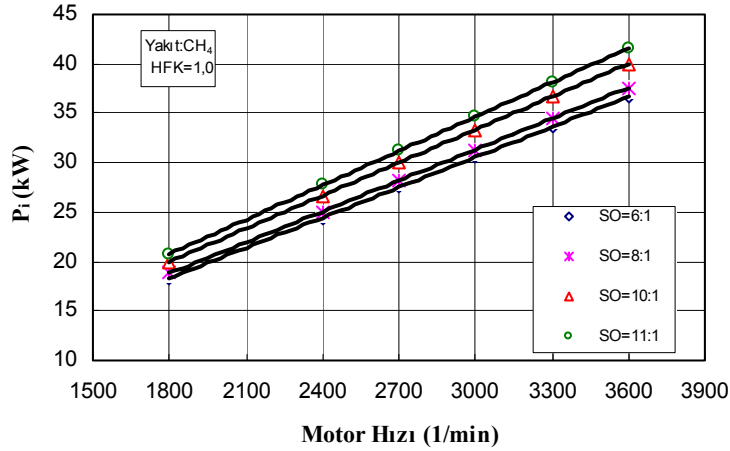
Şekil 6'da, sıkıştırma oranı ile ortalama indike basınç ( $p_{mi}$ ) ve indike gücün ( $P_i$ ) değişimi bir arada verilmektedir. HFK=1,0 ve 1800 1/min motor hızı şartlarında sıkıştırma oranının 6:1'den 11:1'e artırılması ile ortalama indike basınçta yaklaşık 25 bar'dan 28,5 bar'a, indike güçte ise yaklaşık 18,5 kW'tan 20,8 kW'a artışlar belirlenmiştir.



Şekil 6. Sıkıştırma oranının ortalama indike basınç ve indike güce etkisi, HFK=1,0, 1800 1/min

Şekil 7'de, dört farklı sıkıştırma oranı (SO) için motor hızı ile indike gücün değişimi verilmektedir. İndike gücün hem motor hızındaki hem de sıkıştırma oranındaki artışlarla artma eğilimine sahip olduğu

görülmektedir. Sıkıştırma oranı 6:1 için motor hızı 1800 1/min'den 3600 1/min'e artırıldığında indike güçte yaklaşık 18,5 kW'tan 35 kW'a; aynı motor hız aralığı için sıkıştırma oranı 11:1'e yükseltildiğinde ise 20,8 kW'tan 42 kW'a artışlar belirlenmiştir.



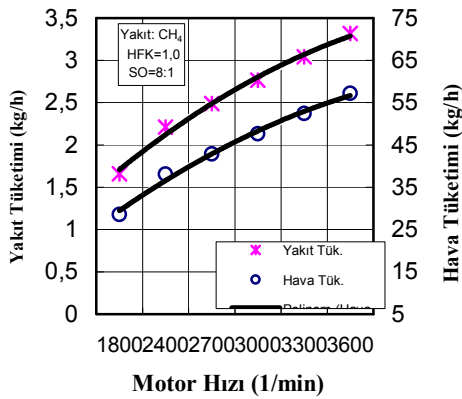
Şekil 7. Motor hızı ile indike güç ( $P_i$ ) değişimine sıkıştırma oranının etkisi, HFK=1,0

Sonuç olarak, matematiksel modelde, her motor hızı için silindirin tam doldurulduğu, sürtünme ve ısı transferi gibi kayıpların olmadığı kabul edildiğinden motor hızındaki artışa bağlı olarak ortalama indike basınç ve indike güçlerde sürekli artışlar meydana gelmiştir.

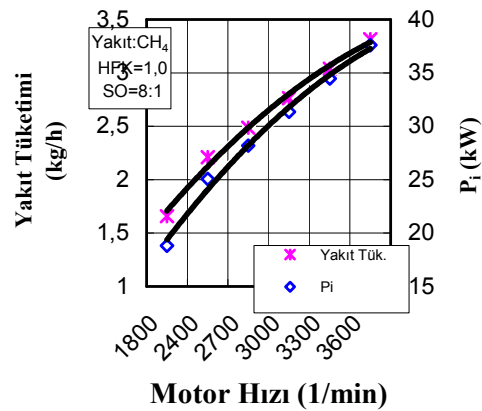
#### 4.3. Yakıt ve Hava Tüketimleri

Şekil 8, motor hızı ile hava ve yakıt tüketimlerinin değişimlerini göstermektedir. Matematiksel model, her motor hızında silindirin tam olarak doldurulduğu, sürtünme ve ısı transfer kayıplarının olmadığı kabul edilerek gerçekleştirildiğinden hem yakıt hem de hava tüketimlerinde artan motor hızı ile sürekli artışlar belirlenmiştir. Motor hızının 1800 1/min'den 3600 1/min'e değiştirilmesi durumunda yakıt tüketiminde yaklaşık 1,7 kg/h'ten 3,45 kg/h'e; hava tüketiminde ise yaklaşık olarak 28 kg/h'ten 57 kg/h'e artışlar elde edilmiştir.

Şekil 9'da, motor hızının yakıt tüketimi ve indike güce etkisi verilmektedir. Motor hızı 1800 1/min'den 3600 1/min'e artırıldığında yakıt tüketiminde Şekil 8'den de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 1,7 kg/h'ten 3,45 kg/h'e indike güçte ise 20,8 kW'tan 38 kW'a artışlar elde edilmiştir.



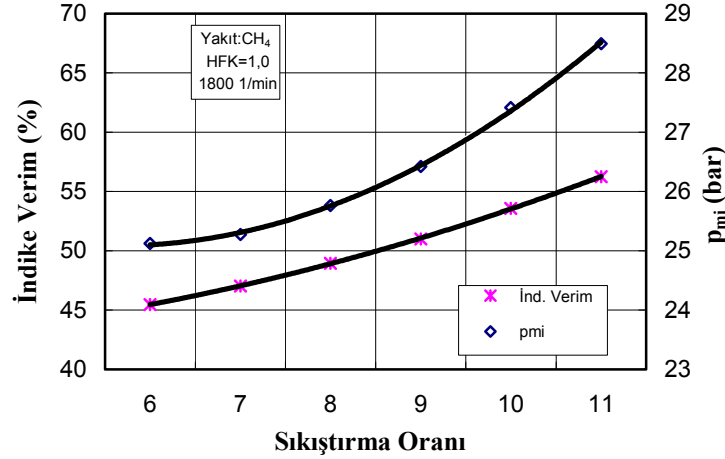
Şekil 8. Hava ve yakıt tüketimlerinin motor hızı ile değişimi, HFK=1,0, SO=8:1



Şekil 9. Yakıt tüketimi ve indike gücün motor hızı ile değişimi, HFK=1,0, SO=8:1

#### 4.4. İndike Verim

Şekil 10'da, indike verim ve ortalama indike basınca ( $p_{mi}$ ) sıkıştırma oranının etkisi verilmektedir. Hem indike verim hem de ortalama indike basınç artan sıkıştırma oranı ile artış göstermiştir. Sıkıştırma oranı 6:1'den 11:1'e artırıldığında indike verimde yaklaşık olarak %45'den %56'ya; indike güçte ise 25,2 bar'dan 28,5 bar'a artışlar belirlenmiştir. Sonuç olarak, genel Otto çevrim verimi ifadesine göre sıkıştırma oranı artışı ile termik verim artış göstermektedir [2,5,10,11,13,15,17,20-23,24].



Şekil 10. Sıkıştırma oranının indike verim ve ortalama indike basınca etkisi, HFK=1,0, 1800 1/min

#### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek silindirli, 4-zamanlı, doğal emişli buji ile ateşlemeli bir motorun ideal hava-yakıt çevrim analizini incelemek üzere matematiksel bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. FORTRAN programlama dilinde yazılmış bir bilgisayar programı yardımıyla sıkıştırma oranı ve motor hızı için motorun KMA'ya bağlı olarak silindir basınç ve sıcaklık değişimleri elde edilerek ortalama indike basınç, yakıt ve hava tüketimleri, indike güç, termik verim gibi motor performans parametreleri hesaplanmıştır.

Silindir içindeki karışımın termodinamik özellikleri belirlendikten sonra sıkıştırma, yanma ve genişleme işlemleri için enerji denklemleri ve ilgili termodinamik bağıntılar yardımıyla Newton-Raphson iterasyon yöntemi kullanılarak her 1°'lik KMA adımına karşılık basınç ve sıcaklık değerleri ve yanma ürünleri belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen performans sonuçlarının sıkıştırma oranı ve motor hızı ile değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Yanma ve egzoz işlemlerinin ani olarak ölü noktalarda gerçekleştiği kabul edilerek hesaplamalar yapılmış; yanma ve genişleme işlemleri süresince ayrışma olayı dikkate alınarak her krank açısı için silindir içindeki ürünlerin mol sayıları program içinde yazılan alt programlar ile belirlenmiştir [18,19].

Hazırlanan bilgisayar programı farklı motor hızları ve sıkıştırma oranları için çalıştırıldığında;

- Maksimum silindir basınç ve sıcaklıkları, ortalama indike basınç, indike güç, indike verim gibi parametrelerin sıkıştırma oranı artışıyla (6:1-11:1) arttığı,
- Artan motor hızı (1800-3600 1/min aralığında 300 1/min'lik adımlar halinde) ile indike güç ve ortalama indike basınç, hava ve yakıt tüketimleri gibi parametrelerin arttığı görülmüştür.

Bunların sonucunda;

- Program genel hali ile metan ( $CH_4$ ) için sıkıştırma oranının performansa etkilerini değişik motor hızları için incelemektedir. Motor performansını etkileyen en önemli parametreler hava-yakıt oranı ve sıkıştırma oranıdır. Bu nedenle programa HFK'nın da ilave edilmesi ile hava-yakıt karışımının etkileri de belirlenebilir.

2. Matematiksel modelin simüle edildiği programa, grafik editörü ilave edilmesiyle sonuçlara hem daha kısa zamanda ulaşılabilir hem de programdan çıkmadan daha kolay bir şekilde mevcut verilerle eğriler çizilebilir.
3. Hazırlanan programdan literatürü destekleyen sonuçlar elde edildiğinden ideal hava-yakıt çevrimi analizi ile motor tasarım olayı için hazırlanan program uygun bir programdır. Ayrıca, program silindir boyutları ve sayısı, silindir giriş şartları gibi parametreler değiştirilmek suretiyle farklı motorlar ve şartlar içinde performans karşılaştırması yapmaya elverişlidir.
4. Program; gelişmiş bir yanma modeli ve ısı transfer katsayısı kullanılarak, supap zamanlaması dikkate alınarak, değişik gaz kelebek açıklıkları ve volümetrik verim dikkate alınarak daha gerçekçi bir çalışma yapmaya elverişlidir.

## KAYNAKLAR

1. Ögüçlü, Ö., "Thermodynamics Model Of The Cycle Of Spark Ignition Engine", Msc. Thesis, **Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Dokuz Eylül University**, İzmir, 1998.
2. Heywood, John B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", **Mc Graw Hill Book Co.**, USA., 1988.
3. Stone, R., "Introduction To Internal Combustion Engines", **Macmillan Press Ltd.**, London, UK, 1999.
4. Ganesan, V., "Internal Combustion Engines", **Mcgraw-Hill Inc.**, USA, 1996.
5. Zammit, S.J., "Motor Vehicle Engineering Science For Technicians", **Longman Group Ltd.**, UK, 1987.
6. Balcı, M., "Dört Zamanlı Türboşarjlı Direk Püskürtmeli Bir Dizel Motorunun Bilgisayar İle Simülasyonu", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.**, Ankara, 1986.
7. Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M., "İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1, **Uludağ Üniv. Vakfı Yayınları**, İstanbul, Bursa, Ankara, 2000.
8. Çetinkaya, S., "Dört Zamanlı Buji İle Ateşlemeli Bir Motor Performansının Bilgisayar Yardımıyla Simülasyonu", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1987.
9. Abd Alla, G.H., "Computer Simulation Of A Four-Stroke Spark Ignition Engine", **Energy Conversion & Management**, Vol 43: 2002.
10. Blair, P.G., 1999, "Design And Simulation Four Stroke Engines", **SAE Inc.**, USA, 1999.
11. Benson, R.S., Whitehouse N.D., "Internal Combustion Engines, Volume 2", **Pergamon Press**, UK, 1979.
12. Ferguson, C.R., "Internal Combustion Engines", **John Wiley And Sons Inc.**, USA, 1986.
13. Pulkrabek, W.W., "Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine", **Prentice-Hall Inc.**, USA, 1997.
14. Benson, R.S., Annand, W.J.D., Baruah, P.C., "A Simulation Model Including Intake And Exhaust Systems For A Single Cylinder Four-Stroke Cycle Spark Ignition Engine", **Int. J. Mech. Sci.**, Volume 17, 1975.
15. Benson, R.S., Baruah, P.C., "A Generalized Calculation For An Ideal Otto Cycle With Hydrocarbon-Air Mixture Allowing For Dissociation And Variable Specific Heats", **IJMEE**, 4(1): 1975.
16. Sekmen, Y., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi Ve Performansa Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2003.
17. Heisler H., "Advanced Engine Technology", **Edward Arnold Press**, London, UK, 1995.
18. Altaç, Z., Gürkan, İ., "Mühendisler İçin Fortran Programlama", **Osmangazi Üniversitesi Yayını**, Eskişehir, 1995.
19. McCormick, J.H., Salvadori, M.G., "Numerical Methods In Fortran", **Prentice Hall**, UK, 1964.
20. Benson, R.S., Whitehouse N.D., "Advanced Engineering Thermodynamics 2<sup>nd</sup> Edition", **Pergamon Press**, UK, 1977.
21. Çelik, M.B., Şubat 1999, "Buji İle Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi Ve Performansa Etkisinin Araştırılması", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1999.
22. Erduranlı, P., "Buji İle Ateşlemeli Tek Silindirli Değişken Sıkıştırma Oranlı Bir Motorun Teorik Simülasyonu", Doktora Tezi, **Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 2003.
23. Parlak, A., "Bir Dizel Motorunda Sıkıştırma Oranı Artışının Performansa Etkisi", **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Denizli, 9(2), 2003.
24. Çengel, Y.A., Boles, M.A., "Thermodynamics-An Engineering Approach", **Mcgraw-Hill Book Co.**, USA, (1989).