

# Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Bilgisayar Destekli Enerji ve Ekserji Analizi

## Computer Aided Energy and Exergy Analysis in Compression Ignition Engines

İlker Turgut YILMAZ<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

### Öz

Kaynakları daha verimli kullanmanın en iyi yolu, enerji ve ekserji arasındaki ilişkiyi anlamaktır. Termodinamiğin birinci kanunu enerji analizi ile ilişkilidir. Bu kanun enerjinin niceliği ile alakalıdır. Enerji analizi sistemin enerji ve entalpi transferlerini açıklamaya yardımcı olur. Enerji yok edilemezken ekserji yok edilebilir. Ekserji bir sistemden elde edilebilecek maksimum teorik iş olarak tanımlanır. Diğer taraftan ekserji analizi termodinamiğin ikinci yasasına dayanır. Termodinamiğin ikinci kanunu enerjinin niteliği ile alakalıdır. Bir sistemin kullanılabilirliği ekserji analizi ile belirlenebilir. Bir sistemin termodinamik detaylarının belirlenmesi istenildiğinde hem enerji, hem de ekserji analizi yapılmalıdır.

Ekserji ve enerji analizleri çeşitli alanlara uygulanabilir. Ekserji analizi, içten yanmalı motorlar konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada enerji ve ekserji analizi yapabilen bir programın tanıtımı ve yapısı gösterilmiştir. Program sayesinde hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji analizi, Ekserji analizi, İçten yanmalı motor, Bilgisayar destekli analiz

### Abstract

The best way of using the resources more efficiently is understanding the relationship between energy and exergy. The first law of thermodynamics associates with the energy analysis. This law of thermodynamics is about quantity of energy. Energy analysis helps explaining the energy and enthalpy transfers of the system. Energy cannot be destroyed but exergy can be destroyed. Exergy is defined as the maximum theoretical work obtained from a system. On the other hand, the exergy analysis is based on the second law of thermodynamic. The second law of thermodynamics is about quality of energy. The availability of the system can be described by the exergy analysis. If the thermodynamic details of a system want to be known, both energy and exergy analysis have to be applied to system.

Energy and exergy analyses are applied in different fields. Exergy analysis has an important role in internal combustion engines. In this study, introduction and structure of an energy and exergy analysis program will be showed. This program will provide fast and reliable results.

**Keywords:** Energy analysis, Exergy analysis, Internal combustion engine, Computer aided analysis

## I. GİRİŞ

Ekserji, bir sistemin referans çevreyle denge haline gelene dek o sistemden alınabilecek maksimum teorik iş olarak tanımlanabilir. Enerji, ekserji ve entropi analizleri tüm bilimsel ve mühendislik alanlara uygulanabilir. Entropi üretimi, sürecin ve performansın optimize edilmesi için aşılması gereken engellerden bir tanesidir [1].

Bir enerji kaynağının ekserjisi, kaynağın ve çevrenin birbirleriyle olan potansiyel etkileşimlerinin sonucudur. Bu nedenle ekserji, enerji kaynağının hal değişimleri ve çevrenin sıcaklık, basınç, kimyasal bileşim gibi hal parametrelerinin bir fonksiyonudur [2].

İçten yanmalı motorda ekserji uygulamaları önemli bir yere sahiptir. İçten yanmalı motorlar kara ve deniz araçlarında kullanıldığı gibi sabit güç istasyonlarında da kullanılmaktadırlar. Farklı sistemlerde kullanılan içten yanmalı motora ekserji analizi uygulanabilir [1].

Bir içten yanmalı motorun birinci ve ikinci kanun verimliliklerini iyileştirebilmek için enerji ve ekserji yıkımı azaltılmalıdır. Bu nedenle, enerji ve ekserji analizinin temel amacı olan enerji ve ekserji yıkımlarını belirlemek önemlidir [3].

Motor performansının ve çeşitli süreçlere bağlı verimsizliklerin nicelik bakımından değerlendirilmesi söz konusu olduğunda, en iyi seçim ikinci kanun analizidir. İkinci kanun analizi ekserji ile ilgilidir. Ekserji, sistemin faydalı iş üretme potansiyeli olarak açıklanabilir. Enerjinin aksine ekserji yok edilebilir. Ekserji yıkımı, içten yanmalı bir motorda faydalı mekanik iş üretmek için yakıt ekserjisinin yetersiz kullanımından kaynaklanmaktadır. Ekserji yıkımının azaltılabilmesi için yakıtın daha verimli kullanılarak motor performansının iyileştirilmesi gereklidir [4].

Silindir içerisindeki dolgu kütlesine etkisinden ötürü volümetrik verim, motor performansı açısından önemli bir parametredir. Dolgu kütlesi, doğrudan motorun tork ve güç üretimini etkiler. Ayrıca yakıt özellikleri de volümetrik verimi etkileyebilir. Örneğin benzinin yüksek buharlaşma gizli ısı, yakıtın buharlaşması esnasında emme dolgusunu soğutucu bir etki gösterir. Bu nedenle hava/yakıt karışımının yoğunluğu ve volümetrik verimi artar [3]. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar farklılaştıkça, performans ve verimdeki değişiklikleri belirlemek için termodinamiğin ikinci kanununa bağlı olarak bir termodinamik analiz yapılmasına ihtiyaç duyulur [5].

Silindir içindeki yanma ve ısı transferi olaylarının temel parametreleri, kayıpların ve ekserji yıkımının dâhil edildiği termodinamiğin ikinci kanunu ile belirlenebilir. Bu yaklaşımda, yakıtın temel bileşenlerine dayanılarak, yakıtın ekserjisi belirlenir. İçten yanmalı motorlar çeşitli yakıt ve yakıt karışımları ile çalıştırılabilirler. Bununla birlikte, aynı alt ısı değere fakat farklı özelliklere sahip yakıtların kimyasal ekserjileri farklılık gösterebilir. Yakıtın viskozite ve yoğunluk gibi özellikleri, silindir içindeki hava/yakıt karışımını değiştirebilir. Bu durumda yanma verimi de değişecektir. Motorlarda kullanılan farklı yakıtlar uluslararası kalite standartlarını yakalamak zorundadır. Bu nedenle motora gönderilen yakıtın ekserjik değerlendirilmesi yapılmalıdır. Ekserji analizi, yakıtın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir [6].

Bir içten yanmalı motorda, yakıt ve havanın bir yanma odasına girdiği ve yanma sonucu oluşan ürünlerin egzoz

gazı olarak atmosfere atıldığı kabul edilir. Soğutma suyu sisteme girer ve çıkar. Yağlama yağı ise kontrol hacminin çevresindedir. Isı değişiminin motor ve çevre arasında olduğu varsayılmaktadır [7].

İçten yanmalı bir motorda, yanma işlemi ile yakıtın kimyasal enerjisi ısı enerjisine çevrilir. Termodinamiğin birinci kanununa göre enerjinin bir kısmı işe dönüştürülürken, bir kısmı egzoz gazı ve soğutma suyu ile çevreye bırakılır. Geri kalan kısmı ise motorda meydana gelen ısı yayılımı ve sürtünme kayıpları nedeni ile kaybolur. Termodinamiğin ikinci kanununa göre çevreye atılması gerekli atık ısı dışında, enerjinin geri kalanı içten yanmalı motorların verimliliğinin artırılması için değerlendirilmelidir [8].

Özkan [1] dört silindirli, dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorda farklı püskürtme basınçlarının enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Artan püskürtme basıncına bağlı olarak yanma verimi artarken, ısı verim azalmıştır. Yanma sıcaklıklarının artması ile soğutma kayıpları yükselmiş ve ekserjik verim azalmıştır. Ekserji yıkımının ise püskürtme basıncından bağımsız olduğu görülmüştür.

Doğal gaz-dizel çift yakıtlı 188 kW güç üretebilen bir motorda yapılan çalışmada ekserjik verim tek yakıtlı çalışmada %14,6 ile %35,4 arasında olurken, çift yakıtlı çalışmada %9,57 ile %52,38 arasında olmuştur. Tek yakıtlı çalışmada yıkılan ekserji 62 ile 206 kW arasında olurken egzoz gazı ekserjisi 8 ile 62 kW olmuştur. Çevreye atılan ısı ise 1,7 ile 4,8 kW arasında olmuştur. Çift yakıtlı çalışmada ise yıkılan ekserji 10,4 ile 98,6 kW arasında olurken egzoz gazı ekserjisi 15,1 ile 36,4 kW olmuştur. Çevreye atılan ısı ise 1,7 ile 2,9 kW arasında olmuştur [9].

Biyometanol katkılı dizel ve biyodizel yakıtlarıyla çalıştırılan bir sıkıştırma ateşlemeli motorda, yakıtların enerji ve ekserjik analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda dizel yakıtın ısı ve ekserjik verimlerinin karışım yakıtlara göre yüksek çıktığı, verimlerin karışımlardaki biyodizel miktarına bağlı olarak azaldığı görülmüştür [10].

Tek silindirli, homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli motorda yapılan çalışma sonucunda, emme havasının sıcaklığının artırılması durumunda maksimum basıncın, faydalı işin ve entropi üretiminin düşeceği, silindir içi sıcaklıkların, ısı transferiyle meydana gelen ekserji kaybının ve toplam ekserjinin artacağı görülmüştür. Motor hızına bağlı olarak toplam ekserjinin artacağı, ısı transferiyle meydana gelen ekserji kaybının ise azalacağı bildirilmiştir [11].

Dört silindirli dört zamanlı, su soğutmalı, direkt püskürtmeli, doğal emişli bir sıkıştırma ile ateşlemeli motorda, silindir içine hava jeti uygulanmasının sonuçlarının verildiği çalışmada, hava jeti uygulamasının yakıt ekserjisini, ısı transferiyle meydana gelen ekserji kaybını, egzoz gazının

kimyasal ve termomekanik ekserjilerini arttırdığı görülmüştür. Hava jeti uygulamaması tersinmezliği arttırırken, ekserjik verimi düşürmüştür [12].

Jafarmadar ve Nemati yaptıkları çalışmada Fortran temelli bir yazılım ile dizel/biyodizel karışımlarıyla çalıştırılan homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda enerji ve ekserji analizleri yapmışlardır. Karışımdaki biyodizel oranının artmasına bağlı olarak ekserjik verim artarken ısı transferiyle meydana gelen ekserji kaybının azaldığı bildirilmiştir [13].

Gümüş ve Atmaca [14] doğalgaz-dizel çift yakıtlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda yaptıkları çalışmada, yakıt karışımlarının, motor yüklerinin ve hızlarının motorun enerjilik ve ekserjilik verimleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaya göre, yüksek hızlarda çift yakıtlı çalışmalarda meydana gelen tersinmezlikler ile dizel yakıtlı çalışmada meydana gelen tersinmezlikler arasında önemli farklar oluşmadığı, düşük hızlarda ise çift yakıtlı çalışmalarda meydana gelen tersinmezliklerin dizel yakıtlı çalışmaya göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Dört silindirli, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli bir motorda farklı yük ve devir şartlarında kullanılan farklı oktan sayılı (91, 93 ve 95,3) yakıtların enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan deney motoru 91 oktan yakıtla çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmaya göre 91 oktanlı yakıtın enerjilik ve ekserjilik verimleri diğer yakıtlara göre daha yüksek çıkmıştır [15].

Khaliq [16] organik Rankine çevrimi ile kombine edilmiş homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli bir motoru hidrojen ve etanol ile çalıştırmıştır. Yazar, hidrojenin enerjilik ve ekserjilik verimlerinin etanolün enerjilik ve ekserjilik verimlerine göre daha yüksek olduklarını söylemiştir.

İçten yanmalı motora gönderilen yakıttan sağlanan ısının bir kısmı faydalı mekanik işe çevrilirken büyük bir kısmı ise egzoz gazı, soğutma suyu ve diğer kayıplar ile çevreye atılır. Atık ısının geri kazanılması hem motorun ısı verimini artırır hem de yakıt tüketimini ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltır. Bu nedenle farklı işletme koşullarında çalışan içten yanmalı motorlara uygulanacak enerji ve ekserji analizlerinin önemi açıktır [8].

Bu çalışmada biyodizel ve dizel yakıtlı dizel motorların ekserji analizine yardımcı olmak üzere Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu bilgisayar programı geliştirilirken matematiksel hesaplamalardan kaynaklanan hataların giderilmesi ve zaman tasarrufu göz önüne alınmıştır.

## II. ANALİZ YÖNTEMLERİ VE PROGRAM

### 2.1. Enerji Analizi

Birinci kanun hesaplamalarının basitleştirilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Motor kararlı durumda çalışmaktadır.
- Yanma havası ve egzoz gazının her biri ideal gaz karışımıdır.
- Analizlerde kullanılacak yakıt dizel ve biyodizeldir.
- Yanma sabit basınçta gerçekleşmektedir.
- Yanma ürünleri kimyasal dengededir.
- Yanma havasının, yakıt ve egzoz gazının potansiyel ve kinetik enerjileri ihmal edilecektir.

Motora yakıt sayesinde giren enerji **Eşitlik (1)** kullanılarak hesaplanabilir. Bu denklemde  $\dot{Q}_{giren}$ , yakıt enerjisini,  $LHV_y$ , yakıtın alt ısı değerini,  $\dot{m}_y$  ise yakıtın kütleli debisini tanımlamaktadır.

$$\dot{Q}_{giren} = LHV_y \times \dot{m}_y \quad (1)$$

Motor gücünün hesaplanması için **Eşitlik (2)** kullanılır. Denklemde  $P_e$ , motor gücünü (kW),  $M_e$ , motor torkunu (Nm),  $n_e$ , motor devrini (d/d) göstermektedir.

$$P_e = \frac{M_e \times n_e}{9549} \quad (2)$$

İçten yanmalı bir motorun birinci kanun verimi ya da bir başka değişle ısı verimi ( $\eta_{ısıl}$ ) **Eşitlik (3)** ile hesaplanır.

$$\eta_{ısıl} = \frac{P_e}{\dot{Q}_{giren}} \quad (3)$$

İçten yanmalı motorlarda yakıtın yanması sonucu oluşan enerjinin bir kısmı kayıplar nedeniyle kullanılamamaktadır. Bu enerji kayıpları ( $\dot{Q}_{kayıp}$ ) termodinamiğin birinci kanunundan yararlanılarak **Eşitlik (4)** yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{Q}_{kayıp} = \dot{Q}_{giren} - P_e \quad (4)$$

### 2.2. Ekserji Analizi

Ekserji, sistemin çevre ile mekanik, ısı ve kimyasal olarak dengeye ulaşana dek her motor çevriminde elde edilebilen yararlı iş olarak tanımlanabilir. İçten yanmalı motorlarda yakıt tarafından sağlanan ekserji, efektif güç ekserjisi (faydalı iş), egzoz ekserjisi, ısı transferi ile meydana gelen ekserji ve yanma sonucu yıkılan ekserji olarak farklı türlere ayrılır [17].

Yanma havasının ve yakıtın silindirlere referans halde girdiği kabul edildiğinden, yanma havasının hem kimyasal hem de termomekanik ekserjisi, yakıtın ise termomekanik ekserjisi ihmal edilmiştir. Yakıtın kimyasal ekserjisi ( $e_F^{kim}$ ) hesaplanmak istenildiğinde **Eşitlik (5)** kullanılabilir [18]. Denklemdaki h, c, o ve s sırasıyla hidrojenin, karbonun, oksijenin ve kükürtün kütle kesirleridir. Yakıtın kimyasal ekserjisi, **Eşitlik (6)**'da verildiği üzere yakıt kütleli debisi ( $\dot{m}_{yakıt}$ ) ile çarpılarak bulunur.

$$e_F^{kim} = [1.0401 + 0.1725 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} (1 - 2.0628 \frac{h}{c})] \times LHV_y \quad (5)$$

$$\dot{E}_{xyakıt} = e_F^{kim} \times \dot{m}_{yakıt} \quad (6)$$

Efektif güç ekserjisi ( $\dot{E}_{xg}$ ), aynı zamanda faydalı işe eşittir. Motorun efektif gücü de faydalı işe eşittir. Bu durumda **Eşitlik (7)** aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{E}_{xg} = P_e \quad (7)$$

Bu çalışmada ekserji hesaplamaları, 1 atm ( $P_0$ ) basınç altında ve 298,15 K ( $T_0$ ) sıcaklıkta bulunan referans çevreyle bağıntılı olarak yapılmıştır. Bu referans çevrenin molar olarak %75,67'si  $N_2$ , %20,35'i  $O_2$ , %0,03'ü  $CO_2$ , %3,12'si  $H_2O$  ve %0,83'ü diğer gazlardan oluşan ideal bir gaz karışımı kabul edilmiştir. Egzoz gazı ideal gazların bir karışımı olarak kabul edilebilir. Egzoz ekserjisi  $\dot{E}_{xe}$ , **Eşitlik (8)** görülen egzoz gazlarının termomekanik ekserjileri ( $e^{ter}$ ) ile kimyasal ekserjilerinin ( $e^{kim}$ ) toplamlarıyla egzoz kütleli çarpımına eşittir.

$$\dot{E}_{xe} = \dot{m}_e \times (e^{ter} + e^{kim}) \quad (8)$$

Egzoz gazının termomekanik ekserjisi,  $\bar{h}_i$ 'nin egzoz gazındaki i bileşenin özgül entalpisini,  $\bar{s}_i$ 'nin egzoz gazındaki i bileşenin özgül entropisini,  $\bar{h}_{0i}$ 'nin ve  $\bar{s}_{0i}$ 'nin egzoz gazındaki i bileşenin referans haldeki özgül entalpisini ve özgül entropisini,  $T_0$ 'ın referans sıcaklığını,  $a_i$ 'nin i bileşenin molar miktarını temsil ettiği **Eşitlik (9)** ile bulunabilir.

$$e^{ter} = \sum_{i=1}^n a_i \times \{(\bar{h}_i - \bar{h}_{0i}) - T_0 \times (\bar{s}_i - \bar{s}_{0i})\} \quad (9)$$

Egzoz gazının kimyasal ekserjisi,  $y_i^e$ 'nin referans çevredeki i bileşenin molar oranı,  $y_i^e$ 'nin egzoz gazındaki i

bileşenin molar oranı ve  $\bar{R}$ 'nin evrensel gaz sabiti olduğu aşağıdaki gösterilen **Eşitlik (10)** ile bulunabilir.

$$e^{kim} = \bar{R} \times T_0 \sum_{i=1}^n a_i \times \ln \frac{y_i}{y_i^e} \quad (10)$$

Isı transferi ile meydana gelen ekserji kaybı,  $T_{soğ}$ 'un soğutma suyu sıcaklığı olduğu **Eşitlik (11)** ile bulunabilir.

$$\dot{E}_{xıt} = \dot{Q}_{kayıp} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_{soğ}}\right) \quad (11)$$

Yanma sonucu yıkılan ekserji ( $\dot{E}_{xyık}$ ), **Eşitlik (12)** yardımı ile bulunur.

$$\dot{E}_{xyık} = \dot{E}_{xf} + \dot{E}_{xıt} + \dot{E}_{xg} + \dot{E}_{xe} \quad (12)$$

Motorda üretilen toplam entropinin bulunması için **Eşitlik (13)** kullanılabilir.

$$\tau_s = \frac{\dot{E}_{xyık}}{T_0} \quad (13)$$

Motorun ekserjik verimi aşağıda verilen **Eşitlik (14)** ile bulunur.

$$\eta_{eks} = \frac{\dot{E}_{xg}}{\dot{E}_{xyakıt}} \quad (14)$$

### 2.3. Programın Yapısı

Yakıt olarak dizel ya da biyodizel kullanan içten yanmalı motorların enerji ve ekserji analizlerinin daha hızlı ve güvenilir olarak yapılması için hazırlanan program, Visual Basic 6.0 kullanılarak yazılmıştır. Program beş aşamadan oluşmaktadır. Kolay kullanılabilen arayüz sayesinde programın ihtiyacı olan verileri programa girilebilmekte ve son aşamada analiz sonuçları görülebilmektedir.

Programın birinci aşaması olan enerji analizi Şekil 1.'de görülebilir. Bu aşamada kullanıcı motor torku, motor devri, yakıt debisi ve yakıtın alt ısıl değeri bilgilerini girmelidir. Eğer kullanıcı bu verilerden bir ya da birden fazlasını eksik bırakırsa, hesapla ve sayfayı değiştir butonları aktif olmayacaktır. Butonların aktif hale gelmesi için tüm verilerin eksiksiz girilmesi gereklidir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda toplam ısı kaybının eksi değerde çıkması halinde ekranda kullanıcıyı uyarıcı bir mesaj görülecektir.

Şekil 1. Enerji analizi

Programın ikinci adımını yakıtın kimyasal ekserjisinin bulunması oluşturmaktadır. Şekil 2’de görülen bu adımda yakıtın içeriğinde bulunan moleküllerin kütsel olarak birbirlerine olan oranları girilmelidir.

Şekil 2. Yakıtın kimyasal ekserjisinin bulunması

Eğer kullanıcı herhangi bir değeri eksik girerse program uyarı mesajı verecek ve sayfayı değiştir butonu pasif hale gelecektir. Sayfayı değiştir butonunun aktif hale gelebilmesi için tüm değerlerin girilmiş olması gereklidir. Yakıt oksijen ya da kükürt içermiyorsa o/c ve s/c oranları için sıfır (0) yazılmalıdır.

Egzoz gazı içerisindeki yanma ürünlerinin gerçek kütsel bulunması egzoz ekserjisinin hesaplanması için gerekli bir işlemdir. Şekil 3’te görüleceği üzere öncelikle

yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan emisyonlar belirlenir. Bu çalışmada egzoz gazının oksijen, karbondioksit, karbonmonoksit ve azottan oluştuğu kabul edilmiştir. Hidrokarbon, azot oksit ve azot dioksit gazlarının emisyonları çok düşük olduğundan gerçek yanma denkleminde yer almamışlardır. Denklem oluşturulurken egzoz emisyon cihazından ölçülen değerler kullanılmıştır.

Şekil 3. Egzoz gazı içerisindeki ürünlerin gerçek kütsel bulunması

Bununla birlikte program, kullanıcının isteğine bağlı olarak hidrokarbon, azot oksit ve azot dioksit gazlarının analize dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Yanma odasından çıkan egzoz gazının kaybı sisteme girilerek emme havası ve yakıt debilerine bağlı egzoz debisi hesaplanır.

Şekil 4’te egzoz gazlarının entalpi ve entropi değerleri görülmektedir. Dört numaralı adımda değerlerin hesaplanabilmesi için referans çevre sıcaklığının programa girilmesi gereklidir. Referans sıcaklık değeri 25 °C olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte kullanıcı isterse farklı bir referans sıcaklık değeri girebilir.

Şekil 4. Egzoz entalpi ve entropi değerlerinin hesaplanması

Üç numaralı adımda seçilen egzoz gazı bileşenlerinin entalpileri ve entropileri hesaplanırken seçilmeyen bileşenlerin entalpileri ve entropileri hesaplanmayarak pasif durumda kalacaktır. Entalpilerin ve entropilerin bulunmasında Janaf tabloları [19] kullanılmıştır. Hidrokarbonun entalpi ve entropisi Janaf tablolarında bulunmadığından hesaplama yapmak istenildiğinde bu değerler literatürden alınabilir. Ayrıca dördüncü adımda motorun soğutma suyu girilerek ısı transferi ile meydana gelen ekserji kaybı hesaplanabilir.

SONUÇ			
MOTOR TORKU Nm	MOTOR DEVRİ d/d	EFEKTİF GÜÇ kW	YAKIT DEBİSİ g/s
250	1450	37,961	2,5
ALT ISIL DEĞER kJ/kg	YAKIT ENERJİSİ kW	ISIL VERİM %	TOPLAM ISI KAYBI kW
42500	106,25	35,728	68,289
KİMYASAL EKSERJİ kW	GERİ DÖN		
113,081			
ÖZGÜL O <sub>2</sub> TÜKETİMİ	ÖZGÜL CO <sub>2</sub> TÜKETİMİ	ÖZGÜL CO TÜKETİMİ	ÖZGÜL NO TÜKETİMİ
550	0,5	815	
ÖZGÜL HC TÜKETİMİ	ÖZGÜL NO <sub>2</sub> TÜKETİMİ		
C	H	O	HESAPLA
14	26	0	
HAVA (g/s)	YAKIT (g/s)	EGZÖZ GAZI MİK. %	
62	2,5	98	
ÇEVRE SICAKLIĞI (K)	EGZÖZ GAZ SIC. (K)	SOĞUTMA SU. SIC. (K)	
298	700	425	
TOPLAM EGZÖZ EKSERJİSİ kW	ISI TRANSFERİ İLE ÇIKAN ISI kW		
22,71685	39,827		
ISI TRANSFERİ İLE EKSERJİ TRANSFERİ kW	YANMA SONUCU YIKILAN EKSERJİ kW		
11,901	40,502		
MOTORDA ÜRETİLEN TOPLAM ENTROPİ kW	MOTORUN EKSERJİK VERİMİ %		
0,136	33,6		

Şekil 5. Değerler ve hesaplamalar

Şekil 5.'te programın son aşaması görülmektedir. Bu aşamada programa diğer aşamalarda girilen veriler ve analiz sonuçları incelenebilir.

### III. SONUÇ

Enerji ve ekserji analizlerinde, çok sayıda bileşene ihtiyaç duyulmakta ve bu bileşenlerin dahil olduğu matematiksel hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada dizel veya biyodizel yakıtlı bir içten yanmalı motor için Visual Basic Programı kullanılarak enerji ve ekserji analizi yapabilen bir programın yapısı ve uygulaması gösterilmiştir. Programın kolay kullanımı ve etkileşimli ara yüzü sayesinde, kullanıcıların matematiksel işlemlerde hata yapma olasılıkları en aza indirilirken, hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilecektir.

### KAYNAKLAR

- [1] Ozkan, M. (2015). A Comparative Study on Energy and Exergy Analyses of a CI Engine Performed with Different Multiple Injection Strategies at Part Load: Effect of Injection Pressure. *Entropy*, 17(1): p. 244-263.
- [2] Tsatsaronis, G. (1993). Thermo-economic Analysis and Optimization of Energy-Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 19(3): p. 227-257.
- [3] Gharehghani, A., Hosseini, R., Mirsalima, M. & Yusaf T. F. (2015). A comparative study on the first and second law analysis and performance characteristics of a spark ignition engine using either natural gas or gasoline. *Fuel*, 158: p. 488-493.
- [4] Jena, J. & Misra, R., D. (2014). Effect of fuel oxygen on the energetic and exergetic efficiency of a compression ignition engine fuelled separately with palm and karanja biodiesels. *Energy*, 68: p. 411-419.
- [5] Nieminen, J. ve Dincer, I. (2010). Comparative exergy analyses of gasoline and hydrogen fuelled ICEs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(10): p. 5124-5132.
- [6] López, I., Quintana, C. E., Ruiz, J.J., Cruz-Peragón, F. & Dorado, M.P. (2014). Effect of the use of olive-pomace oil biodiesel/diesel fuel blends in a compression ignition engine: Preliminary exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 85: p. 227-233.
- [7] Gökalp, B., Soyhan, H. S., Saraç, H. İ., Bostan D. & Şengün. Y. (2009). Biodiesel Addition to Standard Diesel Fuels and Marine Fuels Used in a Diesel Engine: Effects on Emission Characteristics and First – and Second-Law Efficiencies. *Energy & Fuels*, 23: p. 1849-1857.
- [8] Magno, A., Mancaruso, E. & Vaglieco, B. M. (2015). Effects of a biodiesel blend on energy distribution and exhaust emissions of a small CI engine. *Energy Conversion and Management*, 96: p. 72-80.
- [9] da Costa, Y. J. R., de Lima, A. G. B., Filho, C. R. B. & Lima, L.A. (2012). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16(7): p. 4651-4660.
- [10] Kul, B. S. & Kahraman, A. (2016). Energy and Exergy Analyses of a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel-Diesel Blends Containing 5% Bioethanol. *Entropy*, 18(11).
- [11] Ghahfarokhi, R. F., Khalilarya, S. & Ebrahimi, R. (2013). Energy and Exergy Analyses of Homogeneous Charge Compression Ignition Engine. *Thermal Science*, 17(1): p. 107-117.
- [12] Jafarmadar, S. & Mansoury, M. (2015). Exergy analysis of air injection at various loads in a natural aspirated direct injection diesel engine using multidimensional model. *Fuel*, 154: p. 123-131.
- [13] Jafarmadar, S. & Nemati, P. (2016). Exergy analysis of diesel/biodiesel combustion in a homogenous charge compression ignition (HCCI) engine using three-dimensional model. *Renewable Energy*, 99: p. 514-523.

- [14] Gümüş, M. & Atmaca, M. (2013). Energy and exergy analyses applied to a CI engine fueled with diesel and natural gas. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects*, 35(11): p. 1017-1027.
- [15] Sayın, C., Hosöz, M., Çanakçı, M. & Kilicaslan, I. (2007). Energy and exergy analyses of a gasoline engine. *International Journal of Energy Research*, 31(3): p. 259-273.
- [16] Khaliq, A. (2015). Energy and exergy analyses of a hydrogen fuelled HCCI combustion engine combined with organic Rankine cycle. *International Journal of Exergy*, 17(2): p. 240-265.
- [17] Javaheri, A., Esfahanian, V., Salavati-Zadeh, A. & Darzi, M. (2014). Energetic and exergetic analyses of a variable compression ratio spark ignition gas engine. *Energy Conversion and Management*, 88: p. 739-748.
- [18] Kotas, T.J. (1986). Exergy Method of Thermal and Chemical-Plant Analysis. *Chemical Engineering Research & Design*, 64(3): p. 212-229.
- [19] Çengel, Y. & M. A. Boles. (2012). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. İstanbul: Güven Bilimsel. 946.