



**INVESTIGATION AND COMPARING OF AN IRREVERABLE OTTO CYCLE
WITH PERFORMANCE EVALUATION METHODS**

Emin AÇIKKALP*

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, BİLECİK

Received/Geliş: 03.10.2013 Revised/Düzelme: 19.11.2013 Accepted/Kabul: 20.01.2014

ABSTRACT

In this study, optimization was conducted and results were compared for irreversible OTTO cycle by using performance evaluation criteria that exist in the literature. In thermodynamic analysis, compression ratio was selected as variable. Because, it has important effects on the engine performance. In addition to that, it was assumed that specific heats change with temperature. According to obtained results, it is suitable that optimization process should be performed for ecological performance criteria. Because, it provides more reasonable results.

Keywords: Work output, ecological function, , ecological performance coefficient, , exergetic performance coefficient, entropy generation.

**TERSİNMEZ BİR OTTO ÇEVİRİMİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRME METODLARIYLA
İNCELENMESİ VE METODLARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

ÖZET

Bu çalışmada, tersinmez bir OTTO çevrimi için literatürde bulunan performans kriterleri için optimizasyon yapılmış ve bu kriterler kıyaslanmıştır. Burada, sıkıştırma oranı içten yanmalı motorlardaki performansa doğrudan etki etmesi nedeniyle değişken olarak seçilmiş ve termodinamik analiz buna göre yapılmıştır. Çalışmada özgül ısıların sıcaklıkla değiştiği kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ekolojik performans katsayısı kriterine göre yapılan optimizasyon çalışmalarının diğer kriterlerden daha uygun sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: İş çıktısı, ekolojik fonksiyon, ekolojik performans katsayısı, ekserjitik performans katsayısı, entropi üretimi.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, özellikle artan enerji ihtiyacı ve çevresel kaygılar sonucunda ısı sistemlerinin değerlendirilmesi için yeni kriterler geliştirilmiş ve çalışmalar yapılmıştır. Bu kriterlerdeki ortak amaç sistemdeki iş çıktısını artırırken entropi üretimini (ekserji yok oluşu) azaltarak en uygun çalışma koşullarını tespit etmek ve böylece kullanılan yakıt veya enerji kaynağından en iyi şekilde faydalanarak hem yakıt tüketimini, dolayısıyla zararlı emisyonları, azaltma hem de en fazla güç çıktısını elde etmek hedeflenmektedir. Bu kriterlerden ilki Agulo-Brown tarafından geliştirilen

* e-mail/e-ileti: emin.acikkalp@bilecik.edu.tr, tel: (228) 216 01 01

ekolojik fonksiyondur (ECF) [1]. Bu fonksiyon $E = W - T_L S_{gen}$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada (W) iş çıktısı (kW), T_L (K) düşük sıcaklıktaki ısı kaynağının sıcaklığı, S_{gen} ise entropi üretimidir (kW/K). Yan ise bu fonksiyonun $E = W - T_o S_{gen}$ şeklinde olması gerektiğini söylemiştir [2]. Literatürde ekolojik fonksiyon optimizasyonunun termodinamik çevrimlere uygulanması konusunda çok çeşitli çalışmalar vardır [3-32]. Daha sonra ise Üst ve diğerleri tarafından ekolojik performans katsayısı sunulmuştur [33-42]. Bu katsayı $ECOP = \frac{W}{T_o S_{gen}}$ şeklinde tanımlanmıştır.

Üst ve arkadaşları tarafından sunulan diğer bir değerlendirme kriteri ise ekserjistik performans katsayısıdır ve $ECP = \frac{Ex}{T_o S_{gen}}$ şeklinde ifade edilir[43-47]. Burada (Ex) ekserji çıktısıdır (kW).

İçten yanmalı motorlar son yüzyılda taşımada ve güç üretimi amacıyla endüstride sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak fosil bir yakıt olan petrolden elde edilen benzin ve motorin kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların çevreye olan zararlarından ve tükenmeye başlamasından dolayı yeni arayışlar başlamıştır. Bunların başında hidrojen ve labrotuvarıda üretilebilen biyodizeller gelmektedir. Bu konulardaki gelişmelere paralel olarak içten yanmalı motorların daha uzunca bir süre kullanılabilceği söylenebilir. Bu sebeplerden dolayı bir içten yanmalı motorun çevreye karşı duyarlı çalışması ve en iyi çalışma şartlarının tespiti büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada tersinmez bir kıvılcım ateşlemeli bir motor çevrimi (tersinmez OTTO çevrimi) için en uygun şartları belirlemede, yukarıda bahsedilen üç kriter kullanılmış ve bu kriterlerin birbiriyle kıyaslaması yapılmıştır. Buna ek olarak, geleneksel değerlendirme kriterleri olan enerji ve ekserji verimleri de bu kıyaslamalara eklenmiştir.

2. TERMODİNAMİK ANALİZ

Düşük sıcaklık farklarında çalışan çevrimlerde iş akışkanı sabit özgül ısıda ideal gaz olan hava olarak kabul edilebilir. İçten yanmalı motorlarda ise sıcaklık farkları yüksektir, bu sebepten dolayı yukarıda sözü edilen kabul hesaplamalardaki doğrulukta yüksek hatalar oluşturur. Referans [48]'de, 300-3500 K sıcaklıkları arasında sıcaklığa bağlı olarak değişen sabit basınçta özgül ısı denklemi (c_p , kJ/kgK) sunulmuştur. Bu denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$c_p = 2.506 \times 10^{-11} T^2 + 1.454 \times 10^{-7} T^{1.5} - 4.246 \times 10^{-7} T + 3.162 \times 10^{-5} T^{0.5} + 1.3303 - 1.512 \times 10^4 T^{-1.5} + 3.063 \times 10^5 T^{-2} - 2.212 \times 10^7 T^{-3} \quad (1)$$

Sabit hacimde (c_v , kJ/kgK) ve sabit basınçta özgül ısıları arasında aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$c_p = c_v + R \quad (2)$$

Burada R ideal gaz sabitidir ve 0.287 kJ/kgK alınmıştır denklem (1) ve (2) kullanılarak sabit hacimde özgül ısı denklemi:

$$c_v = 2.506 \times 10^{-11} T^2 + 1.454 \times 10^{-7} T^{1.5} - 4.246 \times 10^{-7} T + 3.162 \times 10^{-5} T^{0.5} + 1.0433 - 1.512 \times 10^4 T^{-1.5} + 3.063 \times 10^5 T^{-2} - 2.212 \times 10^7 T^{-3} \quad (3)$$

Şeklinde ifade edilir. Fakat (1) ve (3) denklemleri ile işlem yapmak zor olduğu için c_v ve c_p ifadeleri sırasıyla 0.9911 ve 0.9914 doğrulukla denklem (4) ve (5) ile gösterilebilir. Ayrıca bu değerlere ait regresyon grafikleri şekil 1 ve 2 de görülebilir.

$$c_v = 0.25177 T^{0.1764} \quad (4)$$

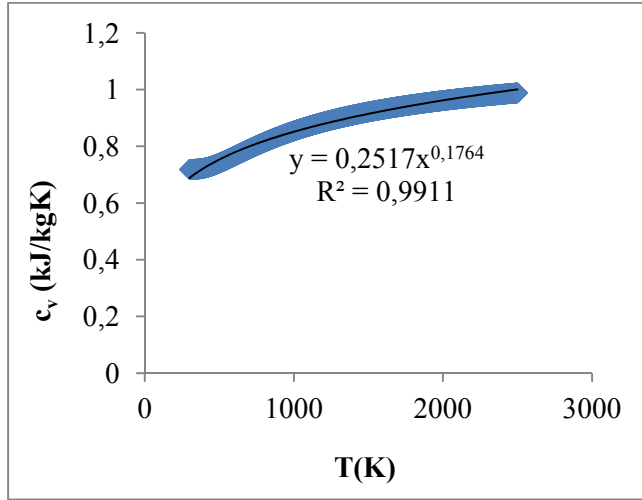
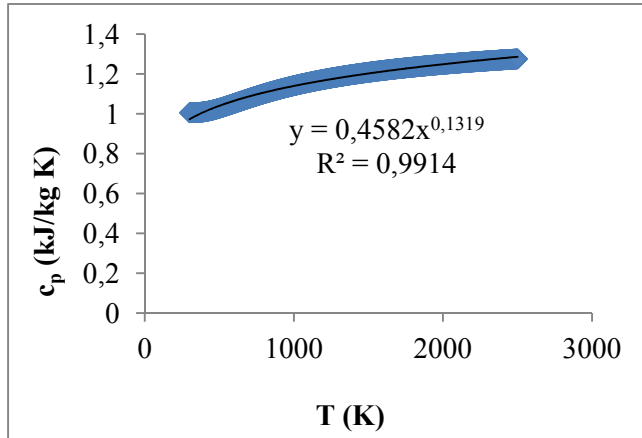
$$c_p = 0.45827 T^{0.1319} \quad (5)$$

Özgül ısıları oranı k (c_p/c_v) sabit değil sıcaklığa bağlıdır. Bu sebepten dolayı, referans [49-54] dayanarak, bir mühendislik yaklaşımı yapılabilir. İzentropik (tersinir ve adyabatik) süreçler sonsuz küçük parçalara ayrılabilir ve her bir parçadaki k değeri sabit olarak düşünülebilir. Yani, i ve j durumları arasındaki her izentropik sonsuz küçük parça içinde k sabittir. Bu yaklaşıma dayanarak

$$c_v \ln\left(\frac{T_j}{T_i}\right) = R \ln\left(\frac{V_i}{V_j}\right) \quad \text{veya} \quad c_v \ln\left(\frac{T_j}{T_i}\right) = R \ln\left(\frac{P_i}{P_j}\right) \quad (6)$$

denklemi elde edilir. Gerçek ve izentropik süreçler arasındaki bağlantı sıkıştırma ve genişleme verimleri tanımlanarak sağlanabilir. Bu verimler sırasıyla aşağıda gösterilmiştir [49-54]:

$$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1}, \quad \eta_E = \frac{T_4 - T_3}{T_{4s} - T_3} \quad (7)$$

Şekil 1. c_v için regresyon denklemiŞekil 2. c_p için regresyon denklemi

Sistemin iş çıktısı, ekserji çıktısı, enerji verimi, ekserji verimi ve entropi üretimi sırasıyla aşağıdaki denklemlerde verilmiştir:

$$W = Q_H - Q_L \quad (8)$$

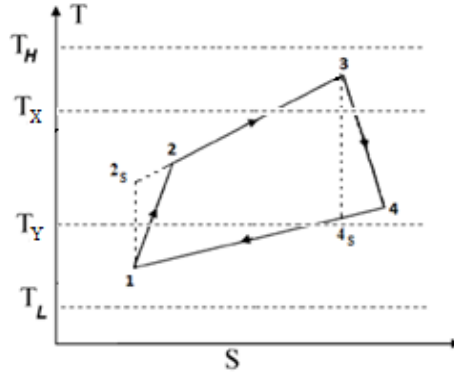
$$Ex = Q_H \left(1 - \frac{T_o}{T_H} \right) \quad (9)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (10)$$

$$\varphi = \frac{W}{Ex} \quad (11)$$

$$S_{gen} = \left(\frac{Q_L}{T_L} - \frac{Q_H}{T_H} \right) \quad (12)$$

Burada T_H (K) ve T_L (K) sırasıyla sıcak ve soğuk kaynak sıcaklıklarıdır. Sistem için entropi sıcaklık diyagramı şekil 3’de görülebilir.



Şekil 3. Tersinmez Otto çevrimi için T-S diyagramı [46-47]

Hesaplamlarda çevre sıcaklığı (T_o) 298.15 K alınmıştır. Termodinamiğin ikinci yasası Clausius ifadesi ile elde edilebilir.

$$\frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} \leq 0 \quad (13)$$

Burada Q_H sisteme giren ısı (kW), Q_L sistemden atılan ısı (kW), T_H yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağının sıcaklığı, T_L düşük sıcaklıkta ısı kaynağının sıcaklığıdır. Bu eşitsizlik, aşağıda görüldüğü gibi, bir içten tersinmezlik parametresi (I) kullanılarak eşitlik haline dönüştürülebilir: İçten tersinmezlik parametresini elde etmede Şekil 3. de görüldüğü ortalama T_X ve T_Y sıcaklıkları tanınamalıdır.

$$I \frac{Q_H}{T_X} = \frac{Q_L}{T_Y} \quad (14)$$

Denklem (14) kullanılarak I aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I = \frac{Q_L T_X}{Q_H T_Y} \quad (15)$$

Ortalama sıcaklıklar, özgül ısıların sıcaklıkla değişmediği kabulü ile sırasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T_x = \frac{\dot{Q}_H}{(S_2 - S_3)} = \frac{(T_3 - T_2)}{\ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right)} \quad (16)$$

$$T_y = \frac{\dot{Q}_L}{(S_4 - S_1)} = \frac{(T_4 - T_1)}{\ln\left(\frac{T_4}{T_1}\right)} \quad (17)$$

(I=1) iken çevrim içten tersinirdir. Tersinmez bir çevrimde ise içten tersinmezlik parametresi bir den büyüktür (I >1). Bu çalışmada kullanılacak diğer parametreler olan ekolojik performans katsayısı, ekserjitik performans katsayısı ve ekolojik fonksiyon ise sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$ECOP = \frac{W}{T_o S_{gen}} \quad (18)$$

$$ECP = \frac{Ex}{T_o S_{gen}} \quad (19)$$

$$ECF = W - T_o S_{gen} \quad (20)$$

Yukarıda incelenen tüm termodinamik parametreler özgül ısıların sıcaklıkla değiştiği kabulü ile denklem (3)- (20) kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$T_{2s} = \left(\frac{R \ln(x)}{1.4269} + (T_1)^{0.1764} \right)^{5.67} \quad (21)$$

$$T_{4s} = \left(\frac{-R \ln(x)}{1.4269} + (T_3)^{0.1764} \right)^{5.67} \quad (22)$$

$$T_2 = \frac{T_{2s} - T_1 + \eta_c T_1}{\eta_c} \quad (23)$$

$$T_4 = \eta_E (T_{4s} - T_3) + T_3 \quad (24)$$

$$Q_H = m(0.213958 T_3^{1.1764} - 0.213958 \Omega) \quad (25)$$

$$Q_L = m(0.213958 \Psi - 0.213958 T_1^{1.1764}) \quad (26)$$

$$Ex_{SI} = m \left(\frac{(0.213958(T_H - T_o)(T_3^{1.1764} - ((T_1^{0.1764} + 0.70082R \ln x)^{5.67})^{1.1764}))}{T_H} \right) \quad (27)$$

$$W = m \left((0.213958 T_3^{1.1764} - 0.213958 \Omega) - (0.213958 \Psi - 0.213958 T_1^{1.1764}) \right) \quad (28)$$

$$\eta = \frac{T_1^{1.1764} + T_3^{1.1764} - \Psi - \Omega}{(T_3^{1.1764} - \Omega)} \quad (29)$$

$$\varphi = \frac{(4.67382T_H(0.213958T_1^{1.1764} + 0.213958T_3^{1.1764} - 0.213958\Psi - 0.213958\Omega))}{((T_H - T_o)(T_3^{1.1764} - (T_1^{0.1764} + 0.70082R \ln x)^{5.67})^{1.1764})} \quad (30)$$

$$ECOP = \frac{T_L T_H (0.213958T_1^{1.1764} + 0.213958T_3^{1.1764} - 0.213958\Psi - 0.213958\Omega)}{T_o(0.213958T_H \Psi + 0.213958T_L \Omega - 0.213958T_1^{1.1764} T_H - 0.213958T_L T_3^{1.1764})} \quad (31)$$

$$ECP = \frac{0.213958T_L(T_H - T_o)(T_3^{1.1764} - (T_1^{0.1764} + 0.70082R \ln x)^{5.67})^{1.1764}}{T_o(0.213958T_H \Psi + 0.213958T_L \Omega - 0.213958T_1^{1.1764} T_H - 0.213958T_L T_3^{1.1764})} \quad (32)$$

$$ECF = 0.213958m \left(T_3^{1.1764} \left(\frac{T_H + T_o}{T_H} \right) + T_1^{1.1764} \left(\frac{T_L + T_o}{T_L} \right) - \Psi \left(\frac{T_L - T_o}{T_L} \right) - \Omega \left(\frac{T_H - T_o}{T_H} \right) \right) \quad (33)$$

$$I = \frac{(T_3 - \eta_E T_3 + \eta_E (T_3^{0.1764} - 0.70082R \ln x)^{5.67})^{1.1764} - T_1^{0.1764}}{T_3^{0.1764} - \left(\frac{(\eta_C - 1)T_1 + (T_1^{0.1764} + 0.70082R \ln x)^{5.67}}{\eta_C} \right)^{0.1764}} \quad (34)$$

$$S_{gen} = 0.213958m \left(\frac{(\Psi - T_1^{1.1764})}{T_L} - \frac{(T_3^{1.1764} - \Omega)}{T_H} \right) \quad (35)$$

Bu denklemlerde Ω , Ψ ve x

$$\Omega = \left(\frac{(\eta_C - 1)T_1 + (T_1^{0.1764} + 0.70082R \ln x)^{5.67}}{\eta_C} \right)^{1.1764} \quad (36)$$

$$\Psi = (T_3 - \eta_E T_3 + \eta_E (T_3^{0.1764} - 0.70082R \ln x)^{5.67})^{1.1764} \quad (37)$$

$$x = \frac{V_1}{V_2} \quad (38)$$

Burada x sıkıştırma oranıdır V_1 ve V_2 ise sırasıyla alt ölü nokta ve üst ölü nokta hacimleridir. Bu çalışmada bütün termodinamik parametrelerdeki değişim x değişken olarak seçilerek incelenmiştir. Bunun nedeni sıkıştırma oranının iş çıktısı ve verim gibi parametreleri doğrudan etkilemesidir.

3. SAYISAL ÖRNEKLER VE TARTIŞMA

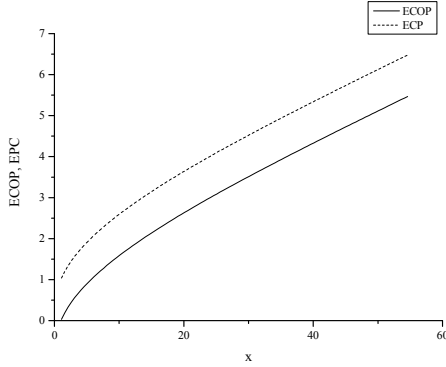
Bu çalışmada yapılan termodinamik analizde kullanılan ve daha önce belirtilmemiş olan değerler aşağıda verilmiştir:

$$m=1 \text{ kg/s}, T_1=350 \text{ K}, T_3=2200 \text{ K}, T_H=2500 \text{ K}, T_L=300 \text{ K}, T_o=298.15 \text{ K}$$

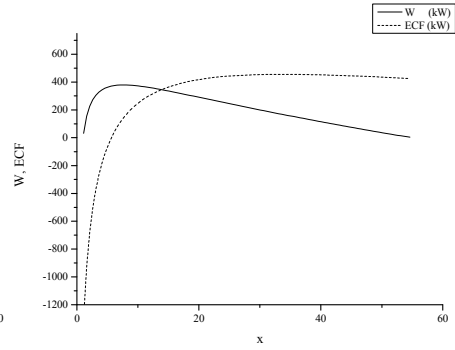
Sıkıştırma ve genişleme verimleri bire eşit olduğunda ($\eta_C=\eta_E=1$) sonuçlar şekil 4-7 de görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde şu yorumlar yapılabilir:

Maksimum iş çıktısı 683.759 kW değerini $x=14.526$ noktasında alır. Enerji ve ekserji verimleri $x = 181.815$ de maksimum değerlerine ulaşır ve bu değerler sırasıyla 0.824 ve 0.953 dir. S_{gen} çin maksimum değer $x= 1$ noktasındadır ve 4.760 kW/K değerindedir, I ise çalışma aralığında maksimum değere sahip değildir. Bu parametreler minimum noktalara da sahiptir. S_{gen} minimum değerini $x = 210.895$ noktasında 0,002kW/K ile sağlar, I ise minimum değerine $x = 1$ noktasında 1.00143 ile alır. ECF ise maksimum 456.13 kW değerini $x= 33.883$ noktasında alır. Bu sonuçlara baktığımızda elde edilen verilerin çevrimin çalışma sınırlarının dışında olduğu görülür, çünkü vuruntuyu engellemek için yeni teknolojilerin kullanılmasıyla bile sıkıştırma oranı en yüksek 12

değerine ulaşabilir. Ancak sıkıştırma ve genişleme verimleri bire eşit olamayacağı için, bu verimlerin düşmesiyle sonuçların çalışma aralığına yaklaşacağı aşikârdır.



Şekil 4. ECOP ve EPC değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=1$)

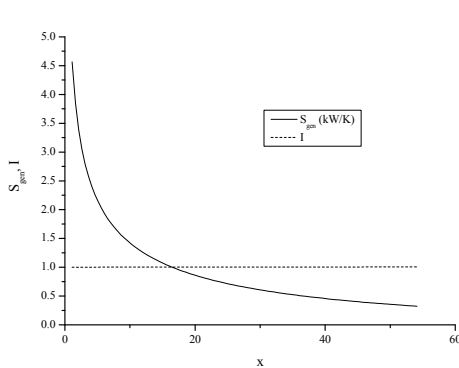


Şekil 5. W ve ECF değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=1$)

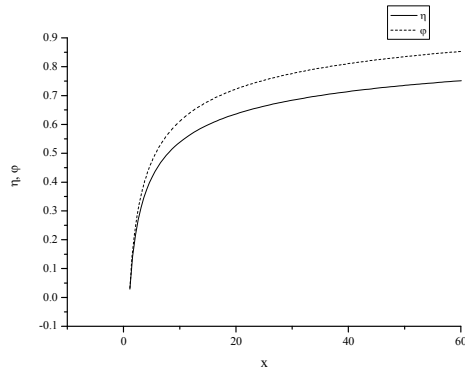
Sıkıştırma ve genişleme verimleri 0.9 olduğunda ($\eta_C=\eta_E=0,9$) sonuçlar şekil 8-11 de görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde şu yorumlar yapılabilir:

Maksimum iş çıktısı 528.965 kW değerine $x=10.775$ noktasında ulaşır. Enerji ve ekserji verimleri maksimum değerlerine sırasıyla $x = 31.268$ ve $x= 23,999$ noktalarında sırasıyla 0.510, 0.541 değerleriyle sağlanır. Entropi üretimi maksimum değerine $x=1$ noktasında 4.759 kW/K minimum değerine ise 0.534 kW/K ile $x = 256.073$ noktasında ulaşır. Benzer şekilde içten tersinmezlik parametresinin maksimum değeri çalışma koşulları aralığında mevcut değildir ve minimum değerine $x= 1$ noktasında 1.00139 ile ulaşır. ECOP değeri $x=31.268$ noktasında maksimum değerine yani 1.390 değerine ulaşır, benzer olarak ECP maksimum değeri olan değerine 3.426 ile $x= 40.261$ noktasında ulaşır. Ekolojik fonksiyon ise 124.127 kW olan maksimum değerine $x = 25.489$ noktasında ulaşır.

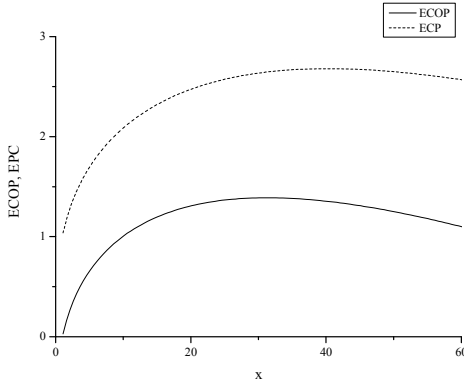
Son olarak sıkıştırma ve genişleme verimleri 0.8 ($\eta_C=\eta_E=0.8$) olduğu durum incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 12-15 de görülebilir. Bazı önemli sonuçlar şöyledir:



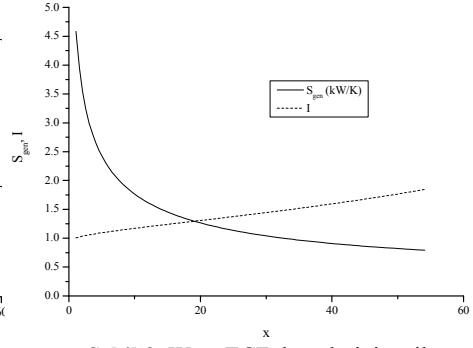
Şekil 6. S_{gen} ve I değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=1$)



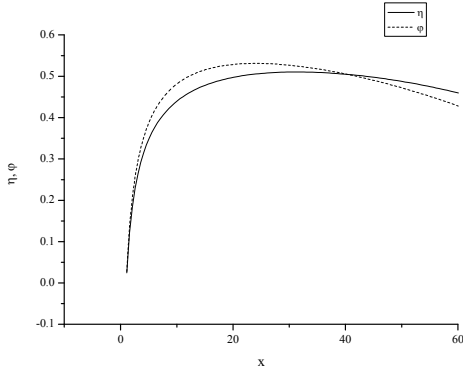
Şekil 7. η ve ϕ değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=1$)



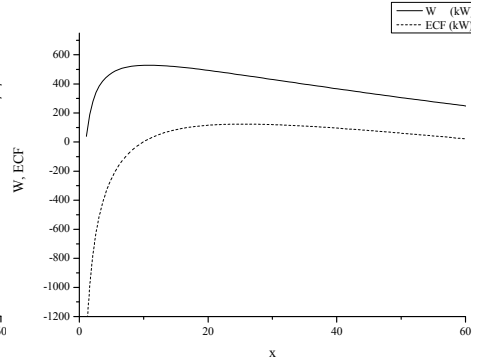
Şekil 8. ECOP ve EPC değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.9$)



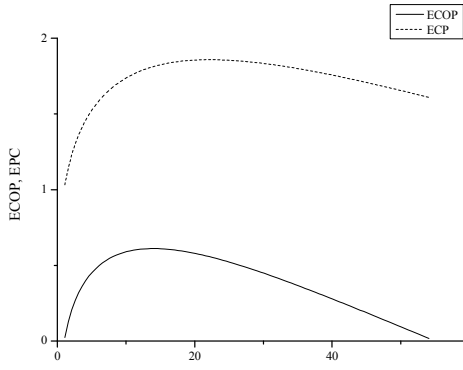
Şekil 9. W ve ECF değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.9$)



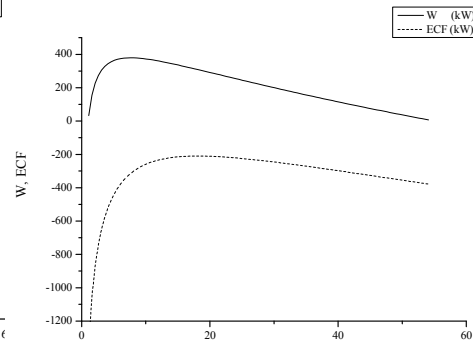
Şekil 10. S_{gen} ve I değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.9$)



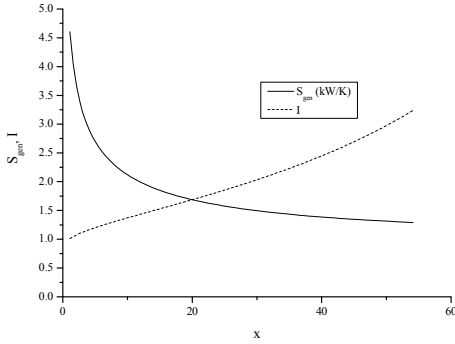
Şekil 11. η ve ϕ değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.9$)



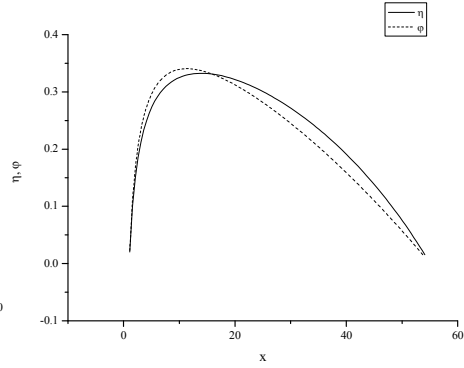
Şekil 12. ECOP ve EPC değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.8$)



Şekil 13. W ve ECF değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C = \eta_E = 0.8$)



Şekil 14. S_{gen} ve I değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=0.8$)



Şekil 15. η ve ϕ değerlerinin x ile değişimi ($\eta_C=\eta_E=0.8$)

Maksimum iş çıktısı 379.546 kW dır ve bu değer $x = 7.61541$ noktasında sağlanır. En büyük ekserji ve enerji verimleri sırasıyla 0.341, 0.332 olarak belirlenmiştir ve bu değerler sırasıyla $x = 11.353$ ve $x = 13.960$ noktalarında sağlanır. Maksimum entropi üretimi değeri yine $x = 1$ noktasındadır ve 4.758 kW/K değerinde, minimum entropi üretimi ise 1.123 kW/K değeri ile $x = 189.33$ de sağlanır. Benzer olarak içten tersinmezlik parametresi en yüksek değerini $x = 21$ de 1.7195 ile alır, minimum değerini ise $x = 1$ noktasında 1.00137 değeri ile elde eder. ECOP değeri maksimum noktasına $x = 13.960$ de 0.611 değeri ile ulaşırken, ECP maksimum değeri olan 1.852 noktasına $x = 22.185$ da ulaşır. ECF $x = 18.126$ noktasında maksimum değeri olan -210.188 kW'a ulaşır. Burada negatif değer kayıp iş potansiyelinin elde edilen iş çıktısından yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Sistem için elde edilen sonuçlar tekrar incelendiğinde sıkıştırma ve genişleme verimleri azaldıkça bütün incelenen değerlerin hepsinin azaldığı görülmektedir. Entropi üretiminin maksimum değerlerinin $x = 1$ noktasında sağlandığı görülmektedir. İçten tersinmezlik parametresi ise, benzer olarak, minimum değerlerini $x = 1$ noktasında almaktadır. Minimum entropi üretimi, sıkıştırma ve genişleme verimleri ne olursa olsun çalışma aralığına girmemektedir. İçten tersinmezlik parametresinde ki artış hızının, grafikler incelendiğinde, sıkıştırma ve genişleme verimlerinin artmasıyla yükselmekte olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak, sıkıştırma oranının artması ile birlikte entropi üretimi azalma görülürken, içten tersinmezlik parametresi artmaktadır Şekiller incelendiğinde iş çıktısı, ECF, ECOP ve ECP'nin maksimum noktalarına kadar çok büyük bir artış sergilediği bu noktalardan sonra düşüşe geçtikleri ancak bu düşüşün keskin olmadığı ve değerlerde ani azalmalara neden olmadığı görülmektedir. Enerji ve ekserji verimleri incelendiğinde, benzer bir eğilim görülmektedir. Fakat enerji ve ekserji verimleri maksimum noktaya ulaştıktan sonra daha keskin biçimde düşmektedir. Ayrıca, sıkıştırma ve genişleme verimleri azaldıkça eğimlerinin arttığı açık şekilde görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tersinmez bir Otto çevrimi çeşitli performans kriterleri için incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar şöyle ifade edilebilir:

Maksimum ECOP değeriyle maksimum ekserji verimi değerlerini aynı noktalarda almaktadır, entropi üretimi sıkıştırma oranındaki artışla birlikte azalmaktadır, ECP maksimum değerine her zaman diğer değerlendirme kriterlerinden daha yüksek sıkıştırma oranında ulaşmaktadır, yüksek sıkıştırma ve genişleme verimlerinde ECF'nin maksimum değeri iş çıktısının maksimum değerini aldığı noktaya daha yakinken bu verimler düştüğü zaman maksimum ECOP'un değerini aldığı nokta daha yakındır. Bu değerlendirmelerin ışığında bu performans kriterlerinin içinden tersinmez çevrimler için ECOP kriterinin seçilmesi daha makul

gözükmektedir. Çünkü tersinmez Otto çevrimin çalışma aralığı içinde en az güç kaybı ve iş çıktısıyla kayıp iş arasındaki ilişkinin en iyi şekilde bu parametre yardımıyla tespit edilebileceği söylenebilir.

Acknowledgments / Teşekkür

Bu çalışmaya değerli önerileriyle katkıda bulunan ve çalışmanın kalitesini arttırmayı sağlayan hakemlere teşekkürü bir borç bilirim.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Angulo-Brown F., “An ecological optimization criterion for finite-time heat engines”, *Journal of Applied Physic*, 69, 7465-7469, 1991.
- [2] Yan Z., “Comment on Ecological optimization criterion for finite-time heat-engines”, *Journal of Applied Physic*, 73, 3583, 1993.
- [3] Chen L., Zhang W., Sun F., “Power, efficiency, entropy – generation rate, ecological optimization for a class of generalized irreversible universal heat – engine cycles”, *Applied Energy* 84, 512 – 25, 2007.
- [4] Chen L., Zhou J., Sun F., Wu C., “Ecological optimization for generalized irreversible Carnot engines”, *Applied Energy* 77, 327 – 38, 2004.
- [5] Chen L., Xiaoqin Z., Sun F., Wu C., Exergy-based ecological optimization for a generalized irreversible Carnot heat-pump”, *Applied Energy* 84, 78 - 88, 2007.
- [6] Huang Y., Sun D., Kang Y., “Performance optimization for an irreversible four-temperature-level absorption heat pump”, *International Journal of Thermal Science* 4, 7479 - 85, 2008.
- [7] Yan Z., Lin G., “Ecological optimization criterion for an irreversible three-heat-source refrigerator”, *Applied Energy* 66, 213 – 24, 2000.
- [8] Cheng C., Chen C., “The ecological optimization of an irreversible Carnot heat-engine”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 30, 1602-09, 1997.
- [9] Xia D., Chen L., Sun F., “Universal ecological performance for endoreversible heat engine cycles”, *Int. J. Ambient Energy*, 27, 15-20, 2001.
- [10] Zhang W., Chen L., Sun F., Wu C., “Exergy-based ecological optimal performance for a universal endoreversible thermodynamic cycle”, *Int. J. Ambient Energy*, 28, 51-56, 2007.
- [11] Chen L., Zhu X., Sun F., Wu C., “Exergy-based ecological optimization of linear phenomenological heat transfer law irreversible Carnot engines”, *Applied Energy*, 83, 573 - 82, 2006.
- [12] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “The ecological optimization of a generalized irreversible Carnot engine with a generalized heat-transfer law”, *Int. J. Ambient Energy*, 24, 189 - 94, 2003.
- [13] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “Effect of heat transfer law on the ecological optimization of a generalized irreversible Carnot engine”, *Open Sys. Inf. Dyn.*, 12, 249 - 60, 2005.
- [14] Li J., Chen L., Sun F., “Ecological performance of an endoreversible Carnot heat engine with complex heat transfer law”, *Int. J. Sustainable Energy*, 30, 55 - 64, 2011.
- [15] Li J., Chen L., Sun F., “Ecological performance of a generalized irreversible Carnot heat engine with complex heat transfer law”, *Int. J. Energy and Environment*, 2, 57 - 70, 2011.
- [16] Tu Y., Chen L., Sun F., “Wu C., Exergy-based ecological optimization for an endoreversible Brayton refrigeration cycle”, *Int. J. Exergy*, 3, 191 - 201, 2006.
- [17] Chen L., Zhu X., Sun F., Wu C., “Ecological optimization for generalized irreversible Carnot refrigerators”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 38, 113 - 18, 2005.

- [18] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “Exergy based ecological optimization for a generalized irreversible Carnot refrigerator”, J. Energy Institute, 79, 42 - 46, 2006.
- [19] Chen L., Zhu X., Sun F., Wu C., “Ecological optimization of a generalized irreversible Carnot refrigerator for a generalized heat transfer law”, Int. J. Ambient Energy, 28, 213 - 19, 2007.
- [20] Li J., Chen L., Sun F., Wu C., “Ecological performance of an endoreversible Carnot refrigerator with complex heat transfer law”, Int. J. Ambient Energy, 32, 31 - 36, 2011.
- [21] Chen L., Li J., Sun F., “Ecological optimization of a generalized irreversible Carnot refrigerator in case of $Q \propto (\Delta T)^m$ ”, Int. J. Sustainable Energy, 31, 59 - 72, 2012.
- [22] Tyagi S. K., Kaushik S. C. , Salotra R., “Ecological optimization , parametric study of irreversible Stirling , Ericsson heat pumps”, J. Phys. D: Appl. Phys., 35, 2058 - 65, 2002.
- [23] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “Effect of heat transfer law on the ecological optimization of a generalized irreversible Carnot heat pump”, Int. J. Exergy, 2, 423 - 36, 2005.
- [24] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “The ecological optimization of a generalized irreversible Carnot heat pump for a generalized heat transfer law”, J. Energy Institute, 78, 5- 10, 2005.
- [25] Chen L., Li J., Sun F., Wu C., “Effect of a complex generalized heat transfer law on ecological performance of an endoreversible Carnot heat pump”, Int. J. Ambient Energy, 30,102 - 08, 2009.
- [26] Li J, Chen L, Sun F., “Optimal ecological performance of a generalized irreversible Carnot heat pump with a generalized heat transfer law”, Termotehnica Thermal Engineering, 13, 61 - 8, 2009.
- [27] Liu X., Chen L., Wu F., Sun F., “Ecological optimization of an irreversible harmonic oscillators Carnot heat engine”, Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy, 52, 1976 -88, 2009.
- [28] Wang W., Chen L., Sun F., Wu C., “Optimal heat conductance distribution, optimal intercooling pressure ratio for power optimization of an irreversible closed intercooled regenerated Brayton cycle”, Journal of Energy Institute, 79, 116 - 19, 2006.
- [29] Wang W., Chen L., Sun F., “Ecological optimization of an irreversible ICR gas turbine cycle”, Int. J. Exergy, 9, 66-79, 2011.
- [30] Tyagi S.K., Kaushik S.C., Salotra R., “Ecological optimization, performance study of irreversible Stirling , Ericsson heat engines”, J. Phys. D: Appl. Phys. 35, 2668–75, 2002.
- [31] Zhu X., Chen L., Sun F., Wu C., “Exergy – based ecological optimization for a generalized Carnot refrigerator”, Journal of Energy Institute 79, 42 – 6, 2006.
- [32] Wu C., Chen L., Sun F., “Ecological optimization performance of an irreversible quantum SI engine powering with an ideal Fermi gas”, Open Sys. & Information Dynamic 13, 55 - 66, 2006.
- [33] Ust Y., Sahin B., Sogut O. S., “Performance analysis, optimization of an irreversible dual – cycle based on an ecological coefficient of performance criterion”, Applied energy 82, 23 – 39, 2005.
- [34] Ust Y., Sahim B., “Performance optimization of irreversible refrigerators based on a new thermo – ecological criterion”, International Journal of Refrigeration 30, 527 – 34, 2007.
- [35] Ust Y., Sahin B., Kodal A., Akcay I. H., “Ecological coefficient of performance analysis, optimization of an irreversible regenerative – Brayton heat engine”, Applied Energy 83, 558 – 72, 2006.
- [36] Sogut S. S., Ust Y., Sahin B., “The effects of intercooling , regeneration on thermo – ecological performance analysis of an irreversible – closed Brayton heat engine with variable – temperature thermal reservoirs”, J. Phys. D: Appl. Phys. 39, 4713–21, 2006.
- [37] Ust Y., “Effect of regeneration on the thermo-ecological performance analysis, optimization of irreversible air refrigerators”, Heat and Mass Transfer, 46, 469-478, 2010.

- [38] Ust Y., "Performance analysis, optimization of irreversible air refrigeration cycles based on ecological coefficient of performance criterion", *Applied Thermal Engineering*, 29, 47-55, 2009
- [39] Ust Y., Sogut O.S., Sahin B., Durmayaz A., "Ecological coefficient of performance ECOP optimization for an irreversible Brayton heat engine with variable-temperature thermal reservoirs", *Journal of the Energy Institute*, 79, 47-52, 2006.
- [40] Ust Y., Sahin B., Kodal A., "Performance analysis of an irreversible Brayton heat engine based on ecological coefficient of performance criterion", *International Journal of Thermal Science*, 45, 94-101, 2006.
- [41] Ust Y., Sahin B., Kodal A., "Ecological coefficient of performance ECOP optimization for generalized irreversible Carnot heat engines", *Journal of the Energy Institute*, 78, 145-151, 2005.
- [42] Ust Y., Sahin B., Safa A., "Ecological performance analysis of an Endoreversible Regenerative Brayton heat-engine", *Applied Energy*, 80, 247-260, 2005.
- [43] Ust Y., Akkaya A.V., Safa A., "Analysis of a vapour compression refrigeration system via exergetic performance coefficient criterion", *Journal of the Energy Institute*, 84, 66 – 72, 2011.
- [44] Akkaya A.V., Sahin B., Erdem H.H., "An analysis of SOFC/GT CHP system based on exergetic performance criteria", *International Journal of Hydrogen Energy*, 10, 2566-2577, 2008.
- [45] Akkaya A.V., Sahin B., Erdem H.H., "Exergetic performance coefficient analysis of a simple fuel cell system", *International Journal of Hydrogen Energy*, 17, 4600 – 4609, 2007.
- [46] Ust Y., Sahin B., Kodal A., "Optimization of a dual cycle cogeneration system based on a new exergetic performance criterion", *Appl Energy*, 84, 1079 - 1091, 2007.
- [47] Ust Y., Sahin B., Yilmaz T., "Optimization of a regenerative gas-turbine cogeneration system based on a new exergetic performance criterion: Exergetic Performance Coefficient EPC", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power, Energy*, 221, 447 - 456, 2007.
- [48] Abu-Nada E., Al-Hinti I., Al-Aarkhi A., Akash B., "Thermodynamic modeling of a spark-ignition engine: effect of temperature dependent specific heats", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 32, 1045 – 1056, 2005.
- [49] Ge Y., Chen L., Sun F., Wu C., "Thermodynamic simulation of performance of an Otto cycle with heat transfer, variable specific heats for the working fluid", *Int. J. Therm. Sci.*, 44, 506–511, 2005.
- [50] Ge Y., Chen L., Sun F., Wu C., "The effects of variable specific-heats of the working fluid on the performance of an irreversible Otto cycle", *Int. J. Exergy*, 2, 274 – 283, 2005.
- [51] Ge Y., Chen L., Sun F., Wu C., "Effects of heat transfer, friction, variable specific-heats of a working fluid on performance of an irreversible Dual cycle", *Energy Convers. Manage*, 47, 3224–3234, 2006.
- [52] Al-Sarkhi A., Jaber J.O., Abu-Qudais M., Probert S.D., "Effects of friction, temperature-dependent specific-heat of the working fluid on the performance of a Diesel-engine", *Appl Energy*, 83, 153 – 165, 2006.
- [53] Ge Y., Chen L., Sun F., "Finite- time thermodynamic modeling, analysis for an irreversible dual cycle", *Math Comput Model*, 50, 101-108, 2009.
- [54] Ge Y., Chen L., Sun F., "Finite- time thermodynamic modeling, analysis for of an irreversible Diesel cycle", *P I Mech Eng D-J Aut*, 222, 887-894, 2008.

Statistics Article
/
İstatistik Makalesi