



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

OTTO–STIRLING KOMBİNE ÇEVİRİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

**TOLGA ALTINOLUK
ÖZAY AKDEMİR
EGE ÜNİVERSİTESİ**

OTTO–STIRLING KOMBİNE ÇEVİRİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Tolga ALTINOLUK
Özay AKDEMİR

ÖZET

Bu çalışmada, Otto çevrimi ile Stirling çevriminin kombinasyonu ile elde edilecek hibrid çevrimin termodinamik modeli oluşturularak analizi gerçekleştirilmiştir. Otto çevrimi ile çalışmakta olan motorun sıcak egzoz gazlarının, Stirling çevriminde kullanılması ile atmosfere atılacak olan ısı enerjisi miktarı azaltılarak üretilecek yararlı iş miktarlarının artırılması sağlanabilmektedir. Bu şekilde, kaybedilecek olan ısı enerjisi geri kazanılabilmektedir. Bu yolla geri kazanılan ısı enerjisi öncelikle Stirling motoru ile mekanik enerjiye dönüştürülmekte ve sonrasında bu mekanik enerji elektrik üretiminde kullanılabilmektedir. Çalışma kapsamında Otto ve Stirling çevrimleri için termodinamik modeller verilerek kombine çevrim için kullanılacak termodinamik bağıntıları oluşturulmuştur. Otto–Stirling kombine çevriminin net iş miktarlarına ve ısı verimine etki edebilecek parametreler tespit edilerek etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, Otto ve Stirling çevrimlerinin bir arada kullanılması ile güç çıktılarında kayda değer artışlar sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kombine çevrim, Otto Çevrimi, Stirling Çevrimi.

ABSTRACT

In this study, thermodynamic model and its advantages of a hybrid cycle which is combined by Otto and Stirling Cycles, was analyzed. By using hot exhaust gases of an Otto engine in a Stirling engine, wasted thermal energy can be reduced and work output can be increased. Wasted thermal energy may be recovered by this way. This thermal energy recovered; primarily be transformed to mechanic energy by use of Stirling engine, then can be use production of electrical energy. For both cycles have been proposed thermodynamic equations. By using these equations, thermodynamic model for Combined cycle is presented. Parametric values, whose affect power output and efficiency of the combined cycle, have been detected and their effect is investigated. As a result of this study, significant increase of work output has been discovered for combined cycles which Otto and Stirling cycles deal together.

Key Words: Combined Cycles, Otto Cycle, Stirling Cycle.

1. GİRİŞ

Elektrik ve termal güç üretimi, günümüz dünyasında kritik öneme sahip problemlerdir. Her iki enerjiye de birçok sektör önemli ölçüde ihtiyaç duymaktadır. Bu konunun en önemli noktalarından biri fosil yakıt kullanımınıdır. Yenilenebilir enerji teknolojisindeki kayda değer avantajlara rağmen, endüstri fosil yakıtları birincil enerji kaynağı olarak kullanmaya devam etmektedir. Bu sonlu kaynaklara giderek artan talep, gergin uluslararası ilişkilere ve ekonomik belirsizliklere neden olmaktadır ve belirli optimizasyonların yapılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu optimizasyonların en öne çıkanı güç

santrallerinin verimlilikleri üzerindedir. Bu çalışma, Otto çevrimli motor bazlı santrallerin verimini arttırmada bir metod sunmaktadır.

Kombine çevrim ile Otto motorunun egzoz salınımı ile kaybettiği ısı enerjisinin Stirling çevrimli bir motor tarafından geri kazanılmasını içermektedir. Kaybedilecek olan termal enerji böylelikle geri kazanılarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Bu şekilde enerji verimli bir şekilde motorun egzoz gazlarından temin edilir ve Stirling çevrimli motor tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu çalışmada incelenmiş olan yapıdaki gibi kombine edilmiş motorlar uygulanabilir olduğu gibi, kayda değer güç kazanımlarında mümkündür.

Önceden yapılmış ve literatüre kazandırılmış çalışmalar göstermiştir ki, bu konseptteki gibi düzenlenmiş motor tasarımlarının otomotiv uygulamalarından ziyade sabit güç üretim sistemlerinde kullanılması daha uygundur [1].

Kombine çevrimli santrallerin ilk örnekleri 1949 yılında ABD’de kurulmuştur [2]. Tipik kombine çevrimli santraller Brayton çevrimli gaz türbinleri ile Rankine çevrimli buhar türbinlerinin çiftlenmesi ile elde edilmektedir. Küçük ölçekte güç üretimlerinde (4 MW ve daha küçük) ise Otto ve Diesel gibi çevrimlerin de çeşitli kombinasyonlar ile değerlendirildikleri durumlar bulunmaktadır.

Otto çevrimi ile çalışan motorlar, bir takım enerji kayıplarına maruz kalmaktadır. Başka bir ifadeyle, sistemi çalıştırmak üzere motora sağlanan enerji ile çıkışta elde edilen mekanik enerji arasında bir fark bulunmaktadır. Bu fark, çevrim esnasında kaçınılmaz olarak gerçekleşen kayıplardır ve şu şekilde sıralanabilir [3]:

- Sürtünme kaybı (giren enerjinin %4’ü)
- Kısılma, ısı geçirgenliği kayıpları ve yanma hızının sonsuz büyük olmamasından doğan kayıplar (giren enerjinin %5’i)
- Eksik genişleme kaybı (giren enerjinin %13’ü)
- Başlangıç durumuna tersinir olarak dönememekten doğan kayıplar (giren enerjinin %22’si)
- Yanma olayının tersinir olmamasından doğan kayıplar (giren enerjinin %25’i)

İlk iki kayıp, motor konstrüksiyonundan kaynaklanan kayıplar iken, diğer kayıplar Otto çevrimine bağlı ve çevrimin sonucu olan kayıplardır. Yorumlamak gerekirse, Otto çevrimi prensibi ile çalışan motorların ısı kayıplarının çok büyük bölümü çevrime ait olan kayıplardır. Motoru konstrüktif olarak ideal inşa etmek kayıpların yalnızca %9’unu tolare edebilmektedir.

Bu çalışmada incelenen egzoz kayıpları, başlangıç durumuna tersinir olarak dönememekten doğan kayıplara girmektedir ve giren enerjinin %22’si gibi önemli bir kısmı bu şekilde atılmaktadır. Egzoz gazını tersinir olarak ortam basıncı ve sıcaklığına getirerek bu kayıptan kurtulmak mümkündür. Fakat pratikte çevrimi bu şekilde gerçekleştirmek mümkün değildir. Fakat, egzoz gazının yüksek sıcaklığından başka bir makinede faydalanmak yoluyla bu enerjinin bir kısmı tekrar kazanılabilmektedir. Çalışma kapsamında bu durum detaylı olarak incelenmiştir.

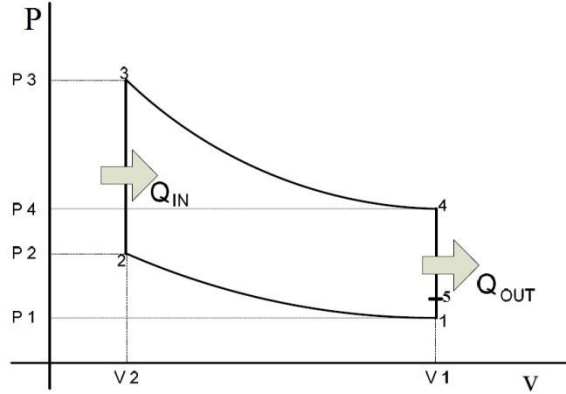
McGovern ve Cullen tarafından yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, Otto/Stirling kombine çevriminin uygun ve verimli bir çözüm olduğunu göstermektedir [4-9]. Johansson ve Lennart, içten yanmalı motorların egzoz gazlarının geri kazanımı ile ilgili araştırmalar yapmıştır ve içten yanmalı motorların atık ısılarının geri kazanımı amacıyla Stirling motorunun kullanılması bu çalışmada uygun bulunmuştur [14]. Mori tarafından yapılan çalışma, içten yanmalı motor ile Stirling motorunun kombinasyonunun ticari bir şirket kapsamında araştırıldığı bir çalışmadır [15]. Otto/Stirling kombine çevriminin ekonomik analizi Cullen tarafından araştırılmıştır [9].

2. OTTO–STIRLING KOMBİNE ÇEVİRİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Otto–Stirling kombine çevrimin termodinamik analizi üç kısımda değerlendirilmektedir. Otto ve Stirling çevrimlerinin termodinamik bağıntıları ve ilişkileri ayrı ayrı verilerek kombine çevrim kullanılması durumundaki bağıntılar türetilmiştir.

2.1. Otto Çevriminin Termodinamik Analizi

Şekil 1’de P-v diyagramı verilen Otto çevriminin soğuk hava standardı kabulleri kapsamında türetilen bağıntılar aşağıda verilmektedir.



Şekil 1. Otto çevriminin P-v diyagramı.

1-2 ve 2-3 işlemleri izantropik işlemler olduğundan sıcaklıklar ve hacimler arasında aşağıdaki ilişkiler bulunmaktadır.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} \quad (1)$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

Sıkıştırma oranı aşağıdaki bağıntıyla belirlenmektedir. Sıkıştırma oranı ve sıcaklık arasındaki ilişkiler denklem (1) kullanılarak türetilmektedir.

$$r_{\text{otto}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = r_{\text{otto}}^{k-1}$$

Otto çevrimlerinde ısı transferleri sabit hacimlerde gerçekleşmektedir. Isı transfer miktarları denklem (3) kullanılarak belirlenmektedir.

$$q_{\text{giren}} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2) = c_v(T_4 r_{\text{otto}}^{k-1} - T_1 r_{\text{otto}}^{k-1}) = c_v r_{\text{otto}}^{k-1} (T_4 - T_1) \quad (3)$$

$$q_{\text{çıkan}} = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

Otto çevrimden elde edilen net iş miktarları aşağıdaki bağıntılardan bulunmaktadır.

$$W_{\text{net}} = q_{\text{giren}} - q_{\text{çıkan}} = c_v(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1) = c_v(T_3 - T_2 - T_4 + T_1)$$

$$W_{net} = C_v (T_4 r_{otto}^{k-1} - T_1 r_{otto}^{k-1} + T_1 - T_4) \quad (4)$$

$$W_{net} = C_v (r_{otto}^{k-1} - 1) (T_4 - T_1)$$

Otto çevriminin ısı verimi denklem (5) kullanılarak bulunmaktadır.

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{giren}}$$

veya

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (5)$$

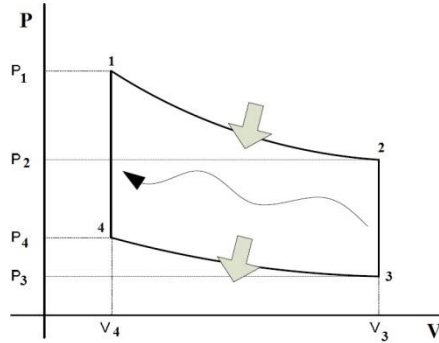
Otto çevrimlerinde kullanılan ortalama efektif basınç değeri;

$$OEP = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2} = \frac{W_{net}}{V_1 \left(1 - \frac{1}{r_{otto}}\right)} \quad (6)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır.

2.2. Stirling Çevriminin Termodinamik Analizi

Stirling çevriminin P-v diyagramı Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Stirling çevriminin P-v diyagramı.

Stirling çevrimlerinde ısı girdileri sabit sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Sabit sıcaklıktaki işlemler için entropi değişim miktarı aşağıdaki bağıntılar kullanılarak belirlenmektedir.

$$s_2 - s_1 = C_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$T_1 = T_2$ olduğundan, $\ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$ ifadesi 0 olmaktadır ve eşitlik

$$s_2 - s_1 = R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

ve

$$s_4 - s_3 = C_v \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right) + R \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right)$$



$T_4 = T_3$ olduğundan, $\ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right)$ ifadesi 0 olmaktadır ve eşitlik

$$s_4 - s_3 = R \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

şekline dönüşmektedir.

Stirling çevriminin sıkıştırma oranı aşağıdaki bağıntıyla belirlenmektedir.

$$r_{\text{stirling}} = \frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1} \quad (8)$$

Stirling çevrimine ısı transferleri sabit sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Isı transfer miktarları denklem (9) kullanılarak belirlenmektedir.

$$q_{\text{giren}} = T_H (s_2 - s_1) = T_H R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = T_H R \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (9)$$

$$q_{\text{çıkan}} = -T_L (s_4 - s_3) = T_L R \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right) = T_L R \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right)$$

Stirling çevriminden elde edilen net işi miktarları aşağıdaki bağıntılardan bulunmaktadır.

$$W_{\text{net}} = T_H R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - T_L R \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right) = R \left[T_H \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + T_L \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) \right] \quad (10)$$

$$W_{\text{net}} = T_H R \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) - T_L R \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right) = R \left[T_H \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) + T_L \ln\left(\frac{P_3}{P_4}\right) \right]$$

$$W_{\text{net}} = R \left[T_H \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + T_L \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right) \right]$$

$$W_{\text{net}} = R \left[T_H \ln(r_{\text{stirling}}) + T_L \ln\left(\frac{1}{r_{\text{stirling}}}\right) \right]$$

$$W_{\text{net}} = R [T_H \ln(r_{\text{stirling}}) - T_L \ln(r_{\text{stirling}})]$$

$$W_{\text{net}} = R [\ln(r_{\text{stirling}}) \cdot (T_H - T_L)]$$

Stirling çevriminin ısı verimi denklem (11) kullanılarak bulunmaktadır.

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}} \quad \text{veya} \quad \eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (11)$$

2.3. Otto-Stirling Kombine Çevriminin Termodinamik Analizi

Otto çevriminin sıcak egzoz gazlarından elde edilen ısı yardımıyla Stirling çevrimi tahriklenmektedir. İncelenen kombine çevrimde, Stirling çevriminin çalışma akışkanının ısı kaynak yönündeki sıcaklığı aşağıdaki bağıntı kullanılarak belirlenmektedir.

$$T_H = \frac{T_4 + T_5}{2} \quad (12)$$

Burada T_4 Otto çevriminin egzoz gaz sıcaklığını T_5 ise egzoz gazının Stirling çevrimini besledikten sonraki sıcaklığı ifade etmektedir. Stirling çevriminde ısının atıldığı ısı kuyusunun sıcaklığı Otto çevriminin giriş koşullarındaki sıcaklığa eşit alınmaktadır.

$$T_L = T_{1,otto} \quad (13)$$

Otto-Stirling kombine çevriminden elde edilen toplam net iş miktarları aşağıdaki bağıntılar kullanılarak belirlenmektedir.

$$W_{toplam} = W_{net,otto} + W_{net,stirling} \quad (14)$$

$$W_{toplam} = c_v (r_{otto}^{k-1} - 1) (T_4 - T_1) + R \left[\ln(r_{stirling}) \cdot (T_H - T_L) \right]$$

Otto-Stirling kombine çevriminin ısı verim denklem (15) kullanılarak bulunmaktadır.

$$\eta_{toplam} = \frac{c_v (r_{otto}^{k-1} - 1) (T_4 - T_1) + R \left[\ln(r_{stirling}) \cdot \left(\frac{T_4 + T_5}{2} - T_1 \right) \right]}{c_v r_{otto}^{k-1} (T_4 - T_1)} \quad (15)$$

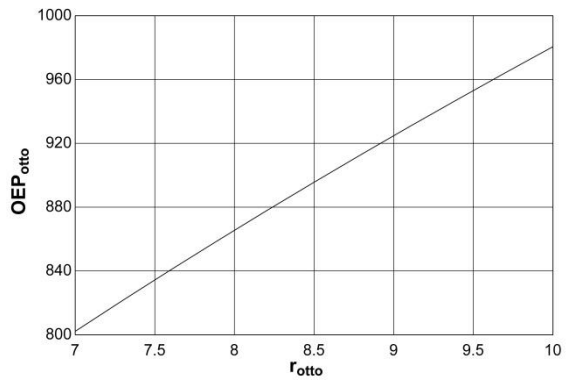
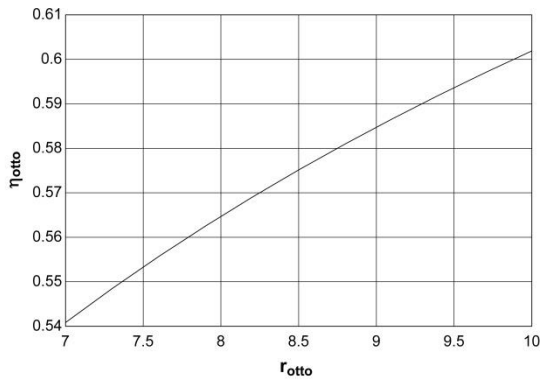
3. TERMODİNAMİK ANALİZİ SONUÇLARI

Bu çalışmada, Otto-Stirling kombine çevrimlerinin termodinamik analizi gerçekleştirilerek, Otto çevriminde izantropik genişleme sonucundaki farklı egzoz gaz sıcaklıklarının, otto ve stirling çevrimlerinin farklı sıkıştırma oranlarının elde edilen net iş miktarlarına etkileri incelenmiştir. Otto ve Otto-Stirling kombine çevrimlerinin verimleri belirlenerek elde edilebilecek verim ve iş miktarlarındaki artışlar detersel olarak irdelenmiştir.

Otto-Stirling kombine çevriminin termodinamik analizinde Tablo 1'de verilen parametrelerin farklı durumları incelenmiştir.

Tablo 1. İncelenen Parametreler.

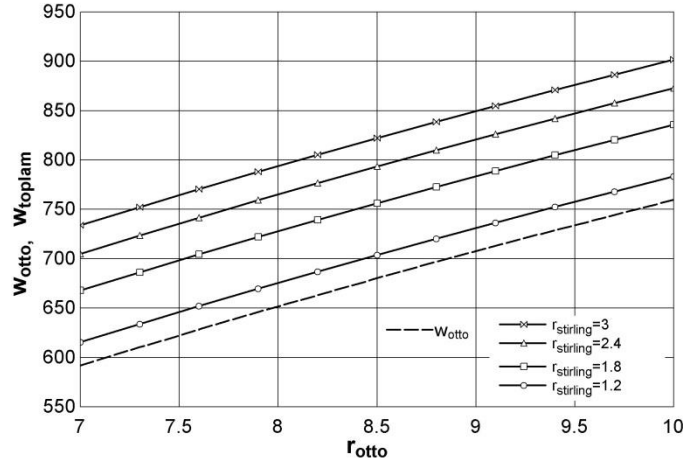
İncelenen Parametreler	İncelene Parametreler Değer Aralıkları
Otto Çevrimin sıkıştırma oranı	$r_{otto} = 7; 8; 9; 10$
Stirling çevrimin sıkıştırma oranı	$r_{stirling} = 1.2; 1.8; 2.4; 3$
Otto çevriminde izantropik genişleme sonucundaki eksoz gaz sıcaklıkları	$T_4 = 700 \text{ K}; 750 \text{ K}; 800 \text{ K}; 850 \text{ K}; 900 \text{ K}; 950 \text{ K}; 1000 \text{ K}; 1050 \text{ K}; 1100 \text{ K}; 1150 \text{ K}; 1200 \text{ K}$



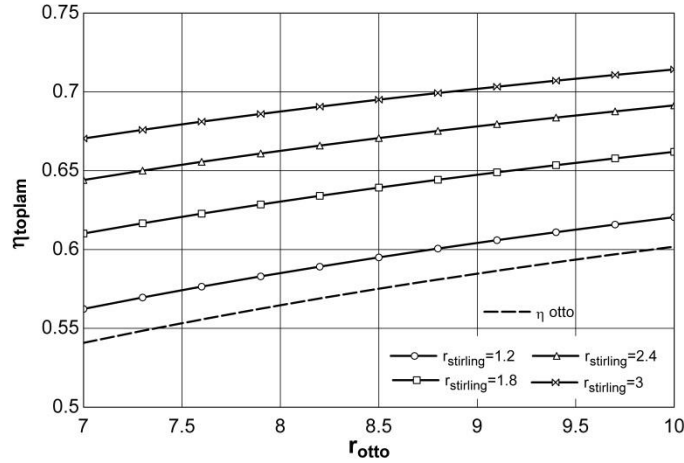
Şekil 3. Otto çevriminin farklı sıkıştırma oranlarındaki verim ve ortalama efektif basınç (OEP) değişimleri ($T_4 = 1000 \text{ K}$ ve $T_5 = 500 \text{ K}$).

Otto çevriminin $T_4 = 1000$ K ve $T_5 = 500$ K değerlerinin sabit kalması durumunda farklı sıkıştırma oranlarındaki verim ve ortalama efektif basınç (OEP) değişimleri Şekil 3'de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, basınç oranının artmasıyla Otto çevriminin verimi ve OEP değerleri artış göstermektedir.

Otto-Stirling kombine çevriminde $T_4 = 1000$ K ve $T_5 = 500$ K değerlerinin sabit kalması durumunda farklı Otto ve Stirling sıkıştırma oranlarında kombine çevrimden elde edilecek net iş miktarları Şekil 4'de verilmektedir. Net iş miktarlarındaki artış oranları şekilde net olarak görülmektedir. Stirling ve Otto sıkıştırma oranlarının artması ile net iş miktarları artış göstermektedir. Şekil 5'de farklı sıkıştırma oranlarında kombine çevrimin ısı verimi verilmektedir. Stirling ve Otto sıkıştırma oranlarının artması ile ısı verim değerleri artış göstermektedir.

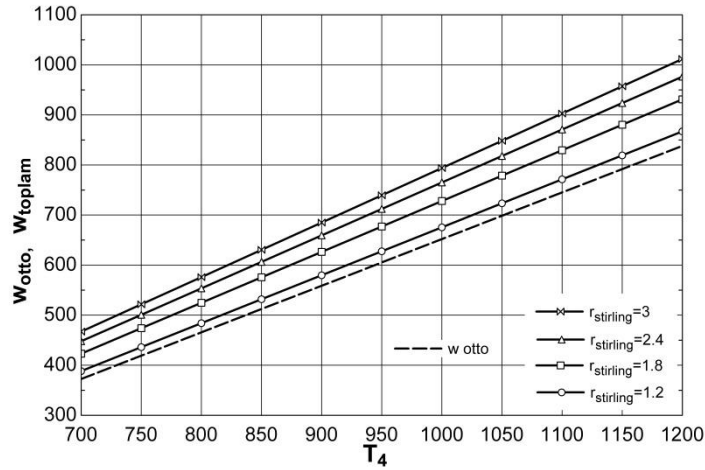


Şekil 4. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı sıkıştırma oranlarında elde edilebilecek net iş miktarları ($T_4 = 1000$ K ve $T_5 = 500$ K).

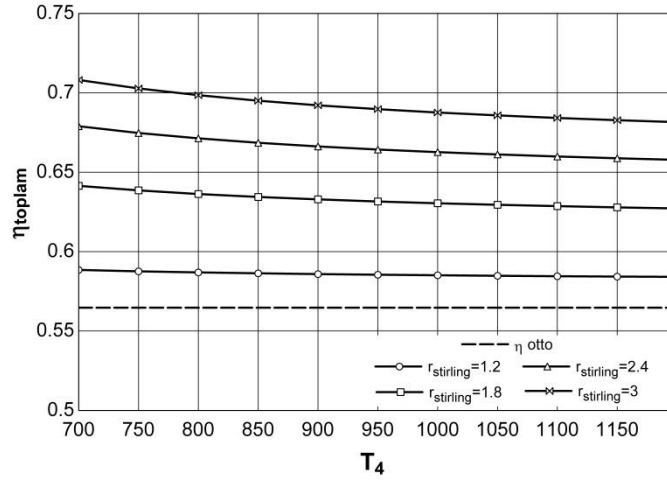


Şekil 5. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı sıkıştırma oranlarındaki ısı verimleri ($T_4 = 1000$ K ve $T_5 = 500$ K).

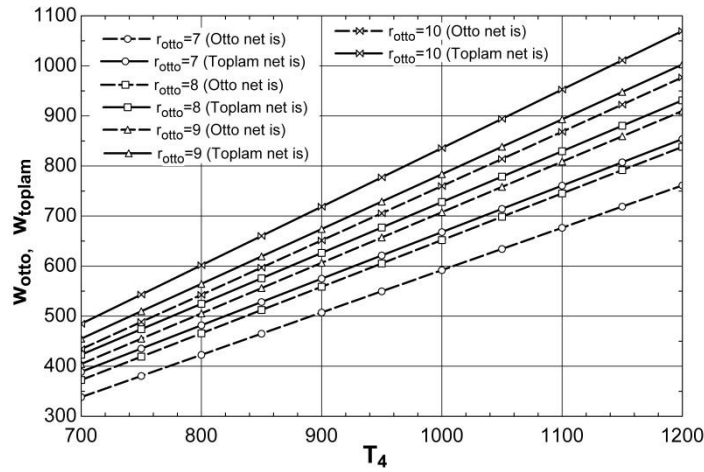
Otto-Stirling kombine çevriminde $r_{otto}=8$ değerinden sabit kalması durumunda farklı Stirling sıkıştırma oranlarında kombine çevrimden elde edilecek net iş miktarlarının, farklı egzoz gaz (Otto çevrimindeki T_4) sıcaklıklarındaki değişimi Şekil 6'da verilmektedir. Stirling sıkıştırma oranlarının ve T_4 sıcaklıklarının artması ile net iş miktarları artış göstermektedir. Aynı durumlar için kombine çevrimin ısı verim değerleri Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı Stirling sıkıştırma oranlarında elde edilebilecek net iş miktarlarının T_4 sıcaklığına göre değişimi ($r_{otto}=8$).

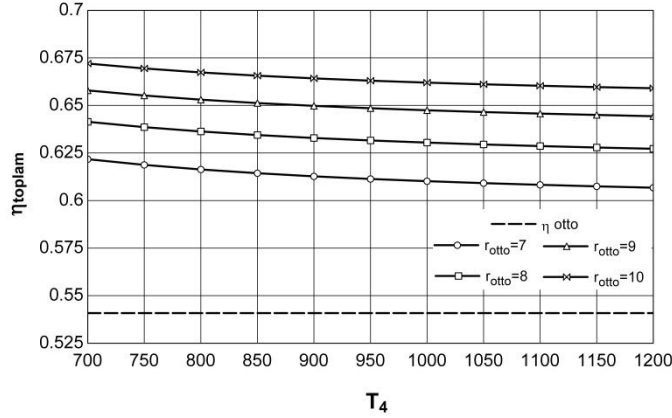


Şekil 7. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı Stirling sıkıştırma oranlarındaki ısı verimlerinin T_4 sıcaklığına göre değişimi ($r_{otto}=8$).



Şekil 8. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı Otto sıkıştırma oranlarında elde edilebilecek net iş miktarlarının T_4 sıcaklığına göre değişimi ($r_{stirling}=1.2$).

Otto-Stirling kombine çevriminde $r_{stirling}=1.2$ değerinden sabit kalması durumunda farklı otto sıkıştırma oranlarında kombine çevrimden elde edilecek net iş miktarlarının, farklı egzoz gaz sıcaklıklarındaki değişimleri Şekil 8'de verilmektedir. Otto sıkıştırma oranlarının ve T_4 sıcaklıklarının artması ile net iş miktarları artış göstermektedir. Otto ve kombine çevrimlerdeki net iş miktarlarındaki artış kesikli ve düz çizgiler arasındaki fark olarak şekilde gösterilmiştir. Aynı çalışma koşulları için kombine çevrimin ısı verim değişimleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Verim artışının görülebilmesi için Otto çevriminin verim değerleri aynı çalışma koşulları için şekilde verilmiştir.



Şekil 9. Otto-Stirling kombine çevriminin farklı Otto sıkıştırma oranlarındaki ısı verimlerinin T_4 sıcaklığına göre değişimi ($r_{stirling}=1.2$).

SONUÇ

Bu çalışmada Otto, Stirling ve Otto-Stirling kombine çevriminin soğuk hava standartları kabulüne göre termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Otto-Stirling kombine çevrimi ile sağlanabilecek net iş miktarları ve ısı verim değerlerinin Otto ve Stirling sıkıştırma oranlarına, Otto çevriminin farklı egzoz gaz sıcaklıklarına göre değişimleri parametrik olarak incelenmiştir. Sonuçlar grafik olarak verilmiş ve değerlendirilmiştir.

Otto çevrimlerinde çevreye atılan egzoz gazının sıcaklık değerlerinin yüksek olması bu enerjinin Stirling motorlarında kullanılarak net iş üretiminin artırılabilirliğini göstermektedir. Otto ve Stirling çevrimlerinin kombine kullanılması ile önemli miktarda kayıp işi geri kazanılarak enerjinin daha verimli ve etkin kullanımının sağlanması ile enerji tasarrufu mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] CULLEN, B., McGOVERN, J., "Proposed Otto Cycle/Stirling Cycle Hybrid Engine Based Power Generation System", Proceedings of the 2008 ASME Power Conference (POWER2008), Orlando, Florida, USA, Paper ref. POWER 2008-60039, 6pp, 2008.
- [2] CENGEL, Y., BOLES, M. A., "Thermodynamics, an Engineering Approach", Dördüncü Baskı, McGraw Hill, 2002.
- [3] SCHMIDT, A. F., "Motorlar, Termodinamik ve Deneysel Esaslar", Kutulmuş Matbaası, 1964.
- [4] B., McGOVERN, J., "Energy System Feasibility Study of an Otto Cycle/ Stirling Cycle Hybrid Automotive Engine", Energy, vol. 35, issue 2, pp. 1017-1023, 2010.
- [5] McGOVERN, J., CULLEN, B., "Validation of a Simulation Model for a Combined Otto and Stirling Cycle Power Plant", Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability (ES2010), Phoenix, Arizona USA, Paper no: ES2010-90220, 9 pp, 2010.



- [6] CULLEN, B., FEİDT, M., “Thermodynamic Optimisation of the Otto/Stirling Combined Cycle”, Proceedings of ECOS 2010, 23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Lausanne, Switzerland, Paper 387, 9 pp, 2010.
- [7] CULLEN, B., McGOVERN, J., “The Quest for More Efficient Industrial Engines-a Review of Current Industrial Engine Development and Applications”, Proceedings of the 2007 ASME Power Conference (POWER2007), Paper no. POWER2007-22078, San Antonio, Texas, 2007.
- [8] CULLEN, B., McGOVERN, J., PETRESCU, S., FEİDT, M., “Preliminary Modelling Results for an Otto Cycle/ Stirling Cycle Hybrid-Engine-Based Power Generation System, Proceedings of ECOS 2009, 22st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Foz do Iguacu Parana, Brazil, pp. 2091-2099, 2009.
- [9] CULLEN, B., “The Combined Otto and Stirling Cycle Prime-Mover-Based Power Plant”, Doctoral Thesis, Dublin Institute of Technology, 2011.
- [10] KANZAKA, MITSUO, IWABUCHI, “Study on Heat Transfer of Heat Exchangers in the Stirling Engine: Heat Transfer in a Heated Tube under the Periodically Reversing Flow Condition”, JSME International Journal Ser. 2, Fluids engineering, heat transfer, power, combustion, thermophysical properties, pp. 641-646, 1992.
- [11] HEYWOOD, J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw Hill Book Company, 1988.
- [12] STONE, R., “Introduction to Internal Combustion Engines”, Macmillan Press Ltd, 1999.
- [13] VAN BASSHUYSEN, R., SCHAFFER, F., “Internal Combustion Engine Handbook”, SAE International, 2004.
- [14] JOHANSSON, LENNART, “Exhaust Gas Alternator System”, U.S.P. Office, STM Power Inc, 2003.
- [15] MORI, M., “Power Device Equipped with Combustion Engine and Stirling Engine”, E.P. Office, Honda Motor Co. Ltd., 2004.
- [16] INCROPERA, F. P., DeWITT, D. P., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Beşinci Baskı, John Wiley & Sons, 2002.
- [17] DUAN, C., WANG, X., SHU, S., JING, C., CHANG, H., “Thermodynamic Design of Stirling Engine Using Multi-Objective Particle Swarm Optimisation Algorithm”, Energy Conversation and Management, Sayı no:88, Sayfa no: 88-96, 2014.
- [18] AHMADI, M.H., MOHAMMADI, A.H., DEGHANI, S., “Evaluation of Maximized Power of a Regenerative Endoreversible Stirling Cycle Using the Thermodynamic Analysis”, Energy Conversation and Management, Sayı no:76, Sayfa no:561-570, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Tolga ALTINOLUK

1991 yılı İstanbul doğumludur. Antakya Selim Nevzat Şahin Anadolu Lisesi'nden 2009 yılında mezun olmuştur. Halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde eğitim hayatına devam etmektedir. Üniversite öğrenimi sırasında Güralp Vinç Makine ile Bosch Termoteknik firmalarında stajyer olarak çalışmıştır.

Özay AKDEMİR

1975 yılı Ankara doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve doktora eğitimini 2007 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 1998-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır.