

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329091486>

V Tipi Bir Stirling Motoruna Ait Tasarım, İmalat ve Performans Testleri

Conference Paper · September 2017

CITATIONS

0

READS

163

4 authors:



Hamit Solmaz
Gazi University

155 PUBLICATIONS 3,255 CITATIONS

SEE PROFILE



Fatih Aksoy
Afyon Kocatepe University

48 PUBLICATIONS 1,056 CITATIONS

SEE PROFILE



Muhammed Arslan
Afyon Kocatepe University

9 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

SEE PROFILE



Can ÇINAR
Gazi University

69 PUBLICATIONS 2,194 CITATIONS

SEE PROFILE

Academia Scientific Meeting

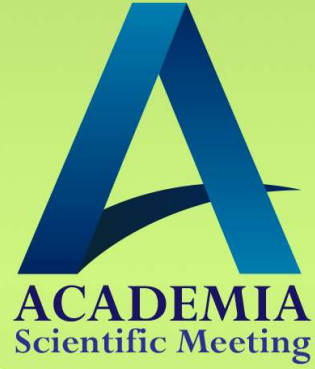
International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development



21-24 September 2017
Isparta/TURKEY



Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve
Denetimi Türk Milli Komitesi



Proceeding Book-II



ISBN: 978-605-83551-5-6

International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development
September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY

Academia Scientific Meeting

***International Congress of the New
Approaches and Technologies for
Sustainable Development***

September 21-24, 2017

Isparta / TURKEY

ISBN: 978-605-83551-5-6

Honor Committee

Prof. Dr. İlker Hüseyin ÇARIKÇI	Süleyman Demirel University Rector
Prof. Dr. Murat Ali DULUPÇU	Süleyman Demirel University Vice Rector
Prof. Dr. Sedat AKTAN	Süleyman Demirel University Vice Rector
Prof. Dr. Mehmet SALTAN	Süleyman Demirel University Vice Rector
Prof. Dr. Nihat AYYILDIZ	Süleyman Demirel University Vice Rector
Asst. Prof. Dr. Vahdettin AYDIN	Süleyman Demirel University Secretary-General

Congress Chairman

Prof. Dr. Recep KÜLCÜ	Süleyman Demirel University, KAKAD
Assoc. Prof. Dr. Nilüfer NEGİZ	Süleyman Demirel University
Assoc. Prof. Dr. Nuri ÖMÜRBEK	Süleyman Demirel University

Organizing Committee

PhD. Aylin Zeren ALAGÖZ	Boğaziçi University, KAKAD
PhD. Nazlı Ceyla ANADOLU KILIÇ	Süleyman Demirel University
Teaching Asst. İbrahim GENÇ	Süleyman Demirel University
Teaching Asst. İsmail İlke KÖSE	Süleyman Demirel University
Expert Erhan ÖZKAN	Süleyman Demirel University
Expert Oğuz ÖZTÜRK	Süleyman Demirel University
Ahmet SÜSLÜ	Süleyman Demirel University
Cihannur CİHANALP	Süleyman Demirel University
Ekin YURDAKUL	Boğaziçi University, KAKAD
Fatıma ÇELİK	Boğaziçi University, KAKAD

Scientific Committee

Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Arif Emre ÖZGÜR	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Arzu ŞENCAN ŞAHİN	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ	Dokuz Eylül University, KAKAD, Turkey
Prof. Dr. Can ERTEKİN	Akdeniz University, Turkey
Prof. Dr. Dilek SANİN	METU, KAKAD, Turkey
Prof. Dr. Gökhan ORHAN	Bandırma Onyeddi Eylül University, Turkey
Prof. Dr. Günay KOCASOY	Boğaziçi University, KAKAD, Turkey
Prof. Dr. Hüseyin GÜL	Süleyman Demirel University, Turkey

Prof. Dr. Irena ZEMAITAITYTE	Mykolas Romeris University, Lithuanian
Prof. Dr. İsa İPÇİOĞLU	Şeyh Edebalı University, Turkey
Prof. PhD. John GATHEGI	South Florida University, USA
Prof. Dr. Leta DROMANTIENE	Mykolas Romeris University, Lithuanian
Prof. Dr. Mehmet ÖZHANLI	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Nevzat ÇEVİK	Akdeniz University, Turkey
Prof. Dr. Nuray BALKIS	İstanbul University, KAKAD, Turkey
Prof. Dr. Nuri AZBAR	Ege University, KAKAD, Turkey
Prof. Dr. Osman YALDIZ	Akdeniz University, Turkey
Prof. Dr. Özgür KÜLCÜ	Hacettepe University, Turkey
Prof. Dr. Recep KÜLCÜ	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. Dr. Songül SALLAN GÜL	Süleyman Demirel University, Turkey
Prof. PhD. Eng. Sorin BIRIS	University of Politehnica Bucharest, Romania
Prof. Dr. Şahin FİLİZ	Akdeniz University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Ahmet KABUL	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Ahmet MUTLU	Ondokuz Mayıs University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. B. SALUNKHE	Center of Botany, INDIA, India
Assoc. Prof. Deniz YILMAZ	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. H. Eylem KAYA	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Hilmi Cenk BAYRAKÇI	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Professor Dr. Hrvoje STANCIC	University of Zagreb, Croatia
Assoc. Prof. Dr. Ionut Virgil ŞERBAN	University of Craiova, Romania
Assoc. Prof. Dr. İsmail TOSUN	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Mehmet KAŞKA	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Murat FIRAT	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Nilüfer NEGİZ	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Nuri ÖMÜRBEK	Süleyman Demirel University, Turkey
Assoc. Prof. Dr. Ümit AKCA	Süleyman Demirel University, Turkey
Asst. Prof. Dr. Ahmet ÖZSOY	Süleyman Demirel University, Turkey
Asst. Prof. Dr. Cristina ILLIE	University of Craiova, Romania
Asst. Prof. Dr. M. Ziya YAKUT	Süleyman Demirel University, Turkey
PhD. Eng. Mihai MATACHE	INMA Bucharest, Romania

PhD. Eng. Valentin VLADUT

INMA Bucharest, Romania

PhD. Tolga ÇAKMAK

Hacettepe University, Turkey

Res. Asst. Şahika EROĞLU

Hacettepe University, Turkey

Congress Secretary

Asst. Prof. Dr. Ömer ERDOĞAN Süleyman Demirel University

V Tipi Bir Stirling Motoruna Ait Tasarım, İmalat ve Performans Testleri

Fatih AKSOY¹, Muhammed ARSLAN^{2,*}, Can ÇINAR³, Hamit SOLMAZ³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi/ Teknoloji Fakültesi, Afyonkarahisar, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi/ Çay Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye

³Gazi Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

*arlanmuhammed10@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, değişken faz açılı alfa tipi bir Stirling motorunun termodinamik analizi yapılmış ve faz açısının motor gücüne etkisi araştırılmıştır. Motorun faz açısı 70°, 80° ve 90° olmak üzere değiştirilmiştir. Güç tahminleri 2 bar şarj basıncında, 800 dev/dk motor hızında, 303 K soğuk uç ve 1273 K sıcak uç sıcaklığında yapılmıştır. Çalışma maddesi helyum olarak seçilmiş, motor nodal analiz metodu kullanılarak 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K farklı ısı taşınım katsayıları için test edilmiştir. Termodinamik analiz sonuçlarına göre tüm ısı taşınım katsayıları için en yüksek güçler 80° faz açısında elde edilmiş; maksimum güç 80° faz açısı ve 1500 W/m²K ısı taşınım katsayısı için 261,84 W olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alfa Tipi Stirling Motoru, Termodinamik Analiz, Motor Gücü, Faz Açısı.

The Design, Manufacture and Performance Tests of a V-Type Stirling Engine

ABSTRACT

In this study, thermodynamic analysis of an alpha type Stirling engine with variable phase angle was carried out and effect of phase angle to engine power was investigated. Phase angle was selected as 70°, 80° and 90°. Engine powers were measured at charged pressure of 2 bar, engine speed of 800 rpm, cold end temperature of 303 K and hot end temperature of 1273 K. Working fluid was helium, and engine was tested for heat transfer coefficients of 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K using nodal analysis method. In results, maximum engine powers were obtained at phase angle of 80° for each heat transfer coefficients, maximum engine power was measured as 261,84 W at phase angle of 80° for heat transfer coefficient of 1500 W/m²K.

Keywords: Alpha Type Stirling Engine, Thermodynamic Analysis, Engine Power, Phase Angle.

GİRİŞ

Günümüzde en temel gereksinimlerden birisi olan enerji, toplumların gelişmesinde önemli bir role sahiptir (Alkan, 2009). Dünya üzerinde ülkelerin ihtiyacı olan enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli enerji kaynakları ile karşılanmaktadır (Yılmaz, 2012). Fosil enerji kaynaklarının çevreye olumsuz etkileri nedeniyle çevreye zarar vermeyecek, kolay bulunabilir ve tehlikelerden arındırılmış yenilenebilir enerji kaynaklarını ön plana çıkarmıştır (Erol, 2009). Yenilenebilir enerji kaynağı olarak üzerinde çalışılan en yaygın enerji kaynakları biyokütle, güneş ve rüzgârdır (Şekercioğlu ve Yılmaz, 2012; Antonia ve ark., 2001; Carrasco ve ark., 2006). Yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra mevcut yanma teknolojilerinin

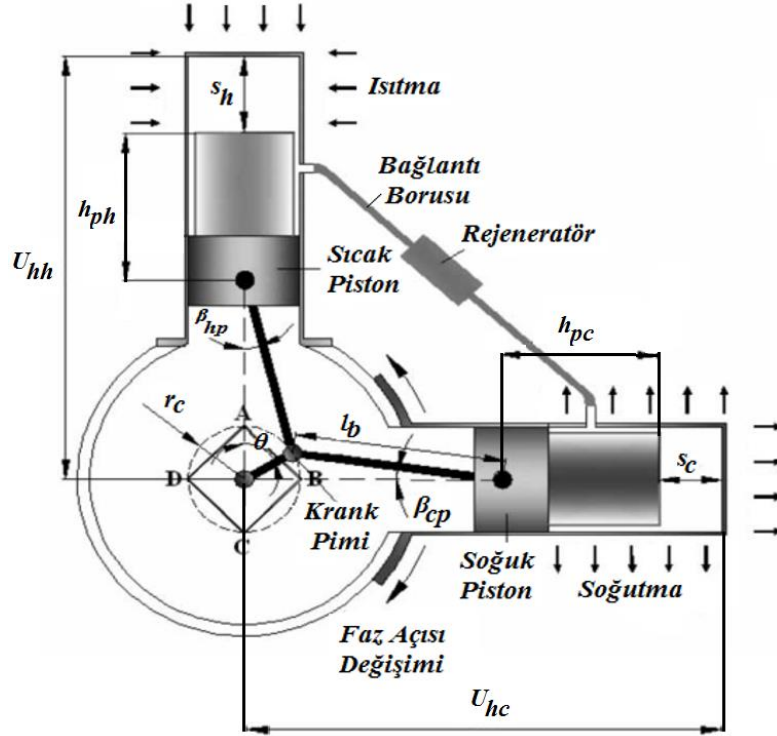
geliştirilmesi ile enerji verimliliğinin artırılması ve alternatif motorlar ile daha yüksek verimli enerji dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi de hedeflenmektedir. Stirling motorları hemen hemen her ısı kaynağı ile çalışabilen dıştan ısıtılmalı motorlardır. 1816 yılında Robert Stirling tarafından icat edilen Stirling motorları odun, kömür, fosil yakıtlar, atık ısılar, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve radyoizotop madde gibi enerji kaynakları ile çalışabilmektedir (Karabulut ve ark., 2013; Kontragool ve Wongwises, 2003; Çınar ve ark., 2013). Az sayıda parçadan oluşan basit yapısı, zararlı egzoz emisyonu üretmemesi ve düşük gürültü seviyelerinde çalışması Stirling motorunun dikkat çeken özelliklerindedir (Karabulut ve ark., 2010; Çınar, 2014). Stirling motorlarının önemli özelliklerinden bir diğeri ise teorik termik verimlerinin Carnot verimine eşit olmasıdır (Walker, 1980, Feng ve ark., 1998; Costea ve Feidt, 1998).

Stirling motorlarında motor gücü ve veriminin artırılabilmesi amacıyla bir takım çalışmalar yapılmıştır. Cheng ve arkadaşları (2013), 300 W gücündeki bir Stirling motorunun performansını tahmin etmek için ideal olmayan adyabatik bir model tasarlamıştır. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması sonucunda şaft gücünün nümerik tahminleri, deneysel tahminlerden % 12-20 daha yüksektir. Ayrıca 1400 dev/dk motor devri, 850 °C sıcak uç sıcaklığı ve 8 bar helyum basıncında termal verim % 36.4 olarak elde edilirken, aynı motor hızında deneysel termal verim % 32,2 olarak elde edilmiştir (Cheng ve ark., 2013). Gheith ve arkadaşları (2015), γ tipi ısıtıcı bir Stirling motorunda deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Isıtıcının ve dolayısıyla Stirling motorunun en yüksek performansını sağlamak için optimum çalışma değerlerini belirlemek için bir ön çalışma yapılmış ve 6,1 Hz frekans, 7 barlık bir başlangıç basıncı, 500 ° C'lik bir sıcak uç sıcaklığı ve maksimum soğutma suyu akış hızı maksimum ısıtıcı performansını sağlamıştır (Geith ve ark., 2015). Ni ve arkadaşları (2016), beta tipi bir Stirling motoru imal etmiş ve bu motor için “Geliştirilmiş Basit Analitik Model” (GBAM) isimli bir model geliştirmişlerdir. Motoru çalışma akışkanı olarak helyum ve nitrojen ile test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre 2,96 MPa basınç ve 1120 dev/dk motor devrinde helyum ve nitrojen ile sırasıyla 165 W güç-% 16,5 verim ve 139 W güç-% 12,2 verim elde edilmiştir. Bu sonuçlar GBAM ile elde edilen sonuçlar ile helyum ve nitrojen için sırasıyla % 4,3-13,4 ve % 1-7,1 sapma ile uyumaktadır (Ni ve ark., 2016). Yang ve Cheng (2017), tasarladıkları bir motorun performansını daha doğru tahmin edebilecek verimli ideal olmayan adyabatik bir teorik model geliştirmişlerdir. Bu modelde, ısıtıcı, rejeneratör ve soğutucu akışkan sürtünmesinden, kanalın ani genişlemesinden ve ani daralmasından kaynaklanan basınç düşüşleri göz önüne alınmıştır. Modele göre motor, 1100 K sıcak uç sıcaklığında ve 1665 dev/dk motor devrinde 556 W güce ulaşmıştır (Yang ve Cheng, 2017).

Bu çalışmada, değişken faz açılı alfa tipi bir Stirling motorunun termodinamik analizi nodal analiz metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termodinamik analizde çalışma maddesi olarak helyum gazı kullanılmıştır. Farklı ısı taşınım katsayıları ve faz açıları için motor güçleri tahmin edilerek optimum faz açısı tespit edilmiştir.

TERMODİNAMİK MODEL

Motorun şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Motor ayrı silindirlerde çalışan sıcak ve soğuk piston olarak isimlendirilmiş iki piston, bir krank mili, biyel kolları, volan ve bir rejeneratör olarak görev alan ısı değiştiricisinden oluşmaktadır. Sıcak ve soğuk pistonlar arasındaki faz açısı değişken olarak tasarlanmıştır. Piston merkezleri ve silindirler arasındaki akış boyunca sabit hacimde ısıtma ve soğutma işlemleri yapılır. Çizelge 1’de termodinamik analizi yapılan motorun teknik özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Motorun Şematik Görünümü

Tablo 1. Motora ait özellikler

Parametre	Özellik
Motor tipi	α (V)
Faz açısı	Değişken
Silindir çapı	6 cm
Strok	6 cm
Piston Biyeli uzunluğu	14 cm
Sıcak uç sıcaklığı	1273 K
Soğuk uç sıcaklığı	303 K
Rejeneratör ısı transfer alanı	600 cm ²
Rejeneratör hacmi	120 cm ³

Şekil 1’de gösterildiği gibi krank pimi A noktasındayken, sıcak piston üst ölü noktada ve soğuk piston kendi strokunun ortalarındadır. Bu pozisyonda krank mili açısı θ sıfır kabul edilir. Krank pimi A noktasından B noktasına hareket ederken, sıcak piston aşağı doğru, soğuk piston aşağıdan yukarı doğru hareket eder. Bu işlem sırasında çalışma akışkanı

soğutucu, rejeneratör ve ısıtıcı boyunca soğuk hacimden sıcak hacme doğru yer değiştirir, böylece sabit hacimde ısıtma işlemi gerçekleşir. Krank pimi B noktasından C noktasına hareket ettiğinde sıcak ve soğuk pistonlar aşağı doğru hareket eder ve izotermal genişleme süreci gerçekleşir. Krank milinin C noktasından D noktasına hareketi ile soğuk piston aşağı doğru hareket etmeye devam eder, sıcak piston ise aşağıdan yukarı doğru hareket eder ve böylece sabit hacimde soğutma işlemi gerçekleşir. Krank pimi D noktasından A noktasına hareket ederken, sıcak ve soğuk pistonların her ikisi de aşağıdan yukarı doğru hareket eder. Bu sürecin sonunda sıcak piston, izotermal soğutma sürecini gerçekleştirerek kendi strokunun üst ölü noktasına ulaşır (Çınar, 2007).

Çalışma akışkanının işgal ettiği alan 21 nodal hacme bölünmüştür. Soğuk hacim ve sıcak hacim değerlerini hesaplamak için matematiksel eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$s_c = u_{hc} - (r_c \cos(PA - \theta) + l_b \cos \beta_{cp} + h_{pc}) \quad (1)$$

$$s_h = u_{hh} - (r_c \cos \theta + l_b \cos \beta_{hp} + h_{ph}) \quad (2)$$

Bu eşitliklerde, β_{cp} ve β_{hp} sırasıyla soğuk piston mili ve sıcak piston mili ile silindir eksenini tarafından yapılan açılarıdır ve Şekil 1'deki θ , β_{cp} ve β_{hp} arasındaki eşitlikler,

$$\beta_{cp} = \arcsin \left(\frac{r_c}{l_b} \sin(PA - \theta) \right) \quad (3)$$

$$\beta_{hp} = \arcsin \left(\frac{r_c}{l_b} \sin \theta \right) \quad (4)$$

Sistemdeki anlık basıncı hesaplamak için,

$$P = \frac{m_t R}{\frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_2} + \frac{V_3}{T_3} + \dots + \frac{V_n}{T_n}} \quad (5)$$

kullanılır. Nodal hacimlerdeki sıcaklık değişimleri,

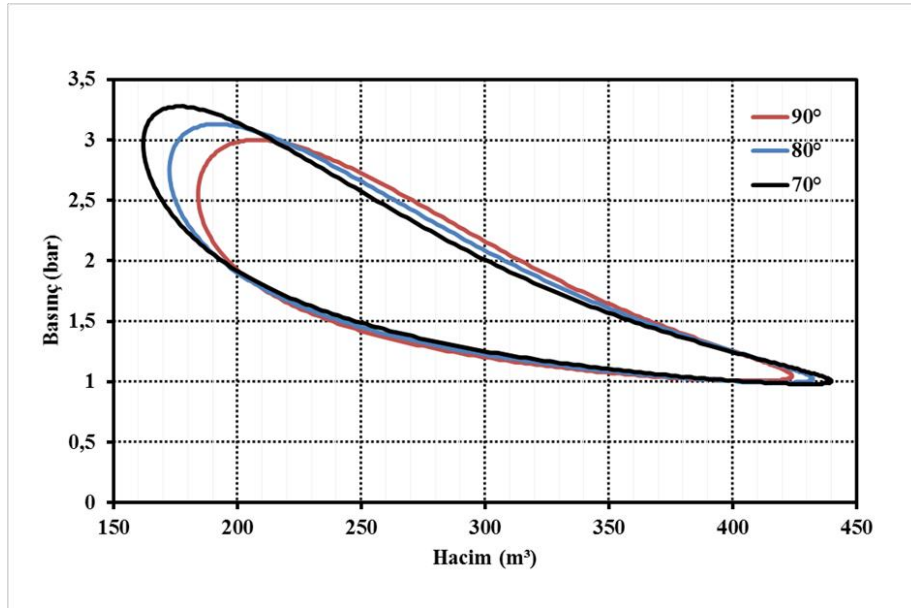
$$dQ + dH_{in} = dW + dH_{out} + C_v m dT + C_v T dm \quad (6)$$

ile hesaplanır (Çınar, 2007; Karabulut ve ark., 2006).

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

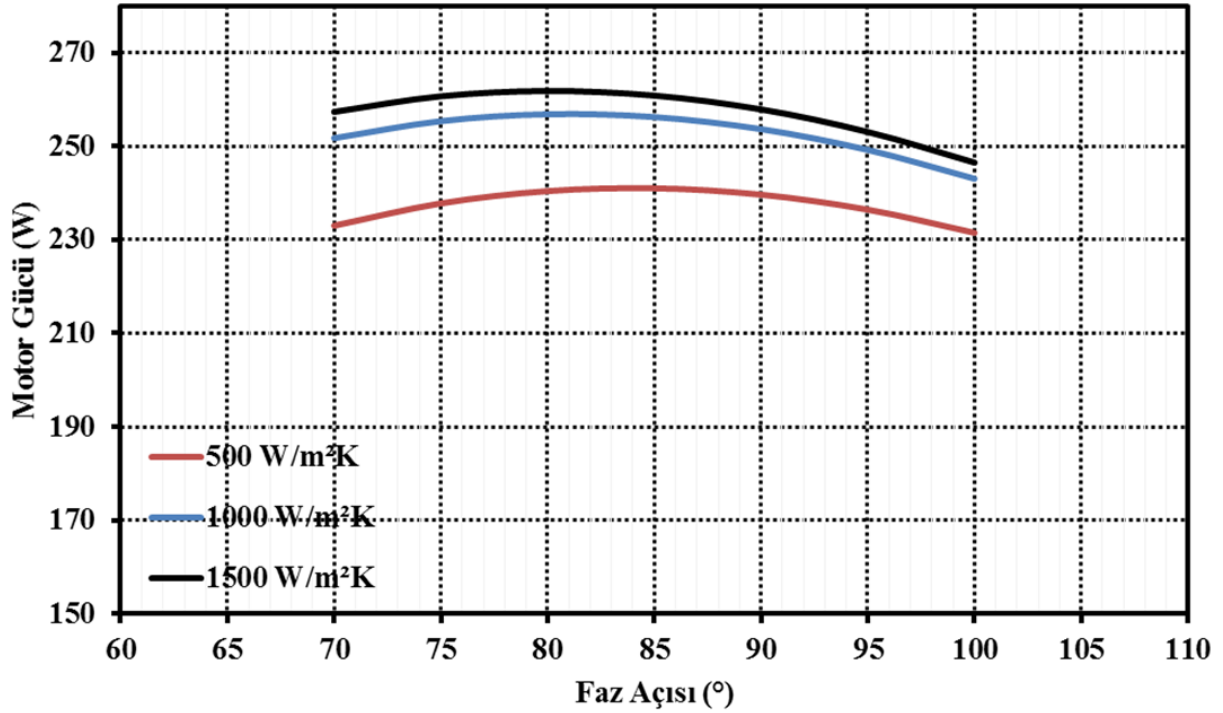
Nodal analizler 800 dev/dk motor devrinde, 0,04 kg çalışma maddesi kütleinde, 303 K soğuk kaynak ve 1273 K sıcak kaynak sıcaklıklarında çalışma maddesi olarak helyum kullanılarak 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K farklı ısı taşınım katsayıları için gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2’de, 2 bar şarj basıncı ve 1000 W/m²K ısı taşınım katsayıları için 70°, 80° ve 90° faz açılarında P-V diyagramları görülmektedir. Toplam hacmin maksimum ve minimum değerleri 70° faz açısı için elde edilmiştir. Bu faz açısı maksimum sıkıştırma oranına sahiptir. Faz açısının artması ile sıkıştırma oranı azalmaktadır. 90° faz açısı sıkıştırma ve genişleme süreçlerinde en iyi ısıtma ve soğutma performansı elde edilmiştir. Ancak maksimum çevrimlik iş 80° faz açısında 19,265 J olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. 2 Bar Şarj Basıncı ve 1000 W/m²K Isı Taşınım Katsayıları İçin 70°, 80° ve 90° Faz Açılarında P-V Diyagramları

Şekil 3’de 2 bar şarj basıncında faz açısına bağlı olarak motor gücü değişimleri farklı ısı taşınım katsayıları için verilmiştir. Motor güçleri faz açısının artması ile belirli bir faz açısına bağlı olarak artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K ısı taşınım katsayıları için maksimum motor güçleri 80° faz açısı için elde edilmiştir. 80° faz açısında 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K ısı taşınım katsayıları için motor güçleri sırasıyla 240,43 W, 256,87 W ve 261,84 W olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. 2 Bar Şarj Basıncında Farklı Isı Taşınım Katsayıları İçin Faz Açısına Bağlı Olarak Motor Gücü Değişimleri

SONUÇLAR

Alfa tipi Stirling motorları birbirinden ayrı iki silindir, iki piston, ısıtıcı, soğutucu ve rejeneratörden oluşmaktadır. Ayrı olan iki silindir birbirine genellikle 90° faz açısında bağlanmakta ve çalışma maddesi iki silindir arasında sirküle ettirilmektedir.

Bu çalışmada, alfa tipi motorlarda iki silindir arasındaki faz açısının optimizasyonu termodinamik açıdan nodal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nodal analiz metodunda ısıtıcı, soğutucu ve rejeneratörden hacimleri 21 parçaya ayrılmıştır. 500 W/m²K, 1000 W/m²K ve 1500 W/m²K ısı taşınım katsayıları için 2 bar şarj basıncı, 800 dev/dk motor devri, 1273 sıcak uç sıcaklığı, 303 K soğuk uç sıcaklığı için basınç ve motor gücü değişimleri elde edilmiştir. Tüm ısı taşınım katsayıları için maksimum motor güçleri 80° faz açısında elde edilmiştir.

TERMİNOLOJİ

β_{cp} Soğuk piston biyel kolu ile yatay eksen arasındaki açı (°)

β_{hp} Sıcak piston biyel kolu ile düşey eksen arasındaki açı (°)

c_v Sabit hacimde özgül ısı (J/kgK)

h_{pc} Soğuk piston pimi ile tepesi arasındaki mesafe (m)

h_{ph} Sıcak piston pimi ile tepesi arasındaki mesafe (m)

l_b Biyel boyu (m)

m_t	Toplam çalışma gazı kütlesi (kg)
R	Gaz sabiti (J/kgK)
r_c	Krankmili yarıçapı (m)
s_c	Soğuk piston tepesi ile silindir tepesi arasındaki mesafe (m)
s_h	Sıcak piston tepesi ile silindir tepesi arasındaki mesafe (m)
PA	Faz açısı (°)
p	Çalışma gazının basıncı (Pa)
T	Sıcaklık
U_{hc}	Krank merkezi ile soğuk silindir tepesi arasındaki mesafe (m)
U_{hh}	Krank merkezi ile sıcak silindir tepesi arasındaki mesafe (m)
V	Hacim (m ³)
ϑ	Krankmili açısı (°)
W	İş (J)
Q	Isı (J)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi 14.FEN.BİL.38 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP birimine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Alkan, M.A. (2009). Türkiye'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Eğitimi ve Öğretimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-20, Afyonkarahisar.

Antonia, V.H., Timothy, E.L., Jennifer, L.E., Daniel, M.K. (2001). Renewable Energy: A Viable choice. Environment: Science and Policy for Sustainable, 43(10), 8-20.

Carrasco, J.M., Bialasiewicz, J.T., Guisado, R.C.P., Leon, J.I. (2006). Power-Electronic Systems for Grid İntegration of Renewable Energy Sources: A Survey. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 53(4), 1002-1016.

Cheng, C.H., Yang, H.S., Keong, L. (2013). Theoretical and experimental study of a 300-W beta-type Stirling engine. Energy, 59, 590-599.

Costea, M., Feidt, M. (1998). The Effect of the Overall Heat Transfer Coefficient Variation on the Optimal Distribution of the Heat Transfer Surface Conductance or Area in a Stirling Engine. *Energy Conversion Management*, 39(16), 1753–1761.

Çınar, C. (2014). Design and Manufacturing of a Hermetic Stirling Engine. *Proc IMechE Part E:J Process Mechanical Engineering*, 228(1), 14-20.

Çınar, C. (2007). Thermodynamic Analysis of an α -Type Stirling Engine with Variable Phase Angle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 221(8), 949-954.

Çınar, C., Aksoy, F., Okur, M. (2013). Design, Manufacturing and Performance Tests of a Stirling Engine with Rhombic Drive Mechanism. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4), 795-801.

Erol, D. (2009). Düşük Sıcaklık Farkıyla Çalışan Bir Stirling Motorunun Tasarımı ve İmalatı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Feng, W., Lingen, W., Chih, W., Fengrui, S. (1998). Optimum Performance of Irreversible Stirling Engine with Imperfect Regeneration. *Energy Conversion and Management*, 39(8), 727-732.

Gheith, R., Hachem, H., Aloui, F., Nasrallah, S.B. (2015). Experimental and Theoretical Investigation of Stirling Engine Heater: Parametrical Optimization. *Energy Conversion and Management*, 105, 285-293.

Karabulut, H., Solmaz, H., Okur, M., Şahin, F. (2013). Dynamic and Thermodynamic Analysis of a Gamma Type Free-Piston Stirling Engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2), 265-273.

Karabulut, H., Çınar, C., Öztürk, E., Yücesu, H.S. (2010). Torque and Power Characteristics of a Helium Charged Stirling Engine with a Lever Controlled Displacer Driving Mechanism. *Renewable Energy*, 35(1), 138–143.

Karabulut, H., Yücesu, H.S., Çınar, C. (2006). Nodal Analysis of a Stirling Engine with Concentric Piston and Displacer. *Renewable Energy*, 31(13), 2188–2197.

Kongtragool, B., Wongwises, S., (2003). A Review of Solar-Powered Stirling Engines and Low Temperature Differential Stirling Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7(2), 131-154.

Ni, M., Shi, B., Xiao, G., Peng, H., Sultan, U., Wang, S., Luo, Z., Cen, K. (2016). Improved Simple Analytical Model and Experimental Study of a 100W β -Type Stirling Engine. *Applied Energy*, 169, 768-787.

Şekercioğlu, S., Yılmaz, M. (2012). Renewable Energy Perspectives in the Frame of Turkey's and UE's Energy Policies. *Energy Conversion and Management*, 63, 233-238.

Yang, H.S., Cheng, C.H. (2017). Development of a Beta-Type Stirling Engine with Rhombic-

International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development
September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY

Drive Mechanism Using a Modified Non-Ideal Adiabatic Model. *Applied Energy*, 200, 62-72.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.

Walker, G. (1980). *Stirling Engines*. United States by Oxford University Press, New York.