



# ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

## GÜNEŞ ENERJİSİNİ TARIMSAL SULAMA VE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILABİLMESİ İÇİN TASARLANAN SERBEST YER DEĞİŞTİRME PİSTONLU STIRLING MOTORUNUN ISITICI ANALİZİ

Mehmet DEMİRALP<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Niğde, Türkiye.

\*Corresponding Author: [mdemiralp@ohu.edu.tr](mailto:mdemiralp@ohu.edu.tr)

(Geliş/Received: 17.03.2021; Kabul/Accepted: 12.04.2021)

**ÖZET:** Güneş enerjisinin tarımsal sulamada kullanılabilmesi ve elektriğe dönüştürülmesi konusunda yapılan bu çalışmada, ilk etapta ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli alanında elde edilen istatistiksel veriler incelenmiş ve birim alana düşen enerjinin yeterli olduğu kanaatine varılmıştır. Güneş enerjisinin söz konusu işlerde kullanılabilmesi için yapısı basit, ağırlığı az ve hacimce çok küçük olan dıştan ısıtılmalı bir motorun geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada Stirling motorlarının gelişmesine ilişkin literatür gözden geçirildikten sonra, şimdiye kadar yapılan çalışmalarda ortaya çıkan olumlu ve olumsuz sonuçları göz önünde tutarak, çalışma maddesi hava olan, serbest pistonlu bir model tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin 500 Watt enerji üretecek bir prototipin ısıtıcı analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Serbest yer değiştirme pistonlu Stirling motoru, Enerji dönüşümü, Güneş enerjisi.

## HEATER ANALYSIS OF A FREE DISPLACER STIRLING ENGINE DESIGNED FOR THE USE OF SOLAR ENERGY IN IRRIGATION AND ELECTRICITY PRODUCTION

**ABSTRACT:** In this study, made on the use of solar energy for irrigation and electricity production, initially the statistical data of solar energy density of Turkey was examined and found to be adequate. On order to use the solar energy in irrigation and electricity production, the development of an externally heated, structurally simple, small and light engine is required. In the study, after examination of the literature of Stirling engines, an engine model has been designed that uses air as the working fluid and works of a free displacer. The model was carried out and the dimensions of a prototype with 500 Watt power output were estimated.

**Key Words:** Free displacer Stirling engine, Energy conversion, Solar energy.

## 1. GİRİŞ

Dıştan ısıtma prensibine göre çalışan Stirling motorları ilk olarak 1816 yılında Robert Stirling tarafından imal edilmiştir [1-2]. Bugün için Stirling motorları ticari üretim seviyesine ulaşmış sayılmamakla birlikte, ulaşılan teknolojik seviye bu motorlar için son derece ümit vericidir. Halihazırda özel amaçlarla ticari firmaların veya araştırma kurumlarının imal etmiş olduğu Stirling motorlarının prototip veya deneme aşamasında olanları mevcuttur. Isıveren veya ısıya dönüştürülebilir her türlü enerji kaynağı ile çalışan Stirling motoru gelecekte hareket motoru, soğutma makinesi, ısı pompası ve basınç motoru olarak muhtemelen daha iyi tanınacaktır. Ayrıca ülkemiz ve dünyadaki enerji problemine çözüm olabilecek motorlardan biri olmaya adaydır. Özellikle Türkiye gibi bol güneş enerjisi, termal su kaynakları, düşük kalorili kömür yatakları vs. bol bulunduğu ülkelerde, bu motordan faydalanmak sureti ile büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği gibi çevre ve insan üzerindeki zararlı etkisi de minimum düzeyde olacaktır. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli, özellikle yaz aylarında birim alana düşen güneş enerjisi miktarı oldukça fazladır [3]. Şimdiye kadar güneş enerjisi çok düşük verim ile su ısıtma amaçlı kullanılmıştır. Bu zenginliği boşa harcama lüksüne sahip olmayan ülkemiz için, tükenmeyen kaynaklar olan güneş önümüzdeki yılların ana enerji ve elektrik kaynağı olmaya adaydır. İlk yatırım maliyetinden sonra, bakım ihtiyacı sıfıra yakın olan sistemlerin birim fiyatları dünya genelinde düşmeye başlamıştır.

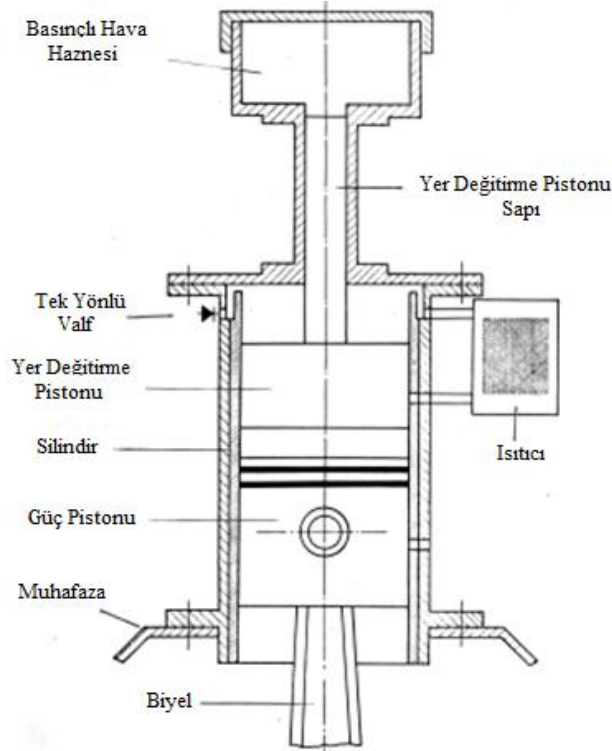
Ülkemizde ve dünyada Stirling motorları ve beraberinde elektrik elde etme çalışmaları mevcut olup, ülkemizde de daha önceden ve hali hazırda devam eden çalışmalar bulunmaktadır ve bu çalışma grupları araştırmalarına devam etmektedir [4-12].

Bu çalışmada serbest yer değiştirme pistonlu bir Stirling motorunun tasarımı yapılmış, çalıştırılmasına yönelik temel prensipleri belirlenmiştir. Isı motora harici bir ısı kaynağından aktarılacağından ısıtıcının pleyt şeklinde olası kararlaştırılmış ve boyutlandırılması için analizleri yapılmıştır.

## 2. MOTOR VE ISITICI

### 2.1. Tasarımı Yapılan Motor ve Çalışması

Tasarımı yapılan ve hava kullanılarak çalıştırılması düşünülen Stirling motoru Şekil 1'de şematik olarak görülmektedir, motorun çalışması kısaca dört alt başlıkla anlatılmıştır.



Şekil 1. Tasarımı Yapılan Stirling Motorunun Şematik Resmi.

### 2.1.1. Havanın motor içine alınması

Havanın motor silindirine alınması başlangıcında güç pistonu AÖN'da ve çıkış portu açık durumdadır. Yer değiştirme pistonu ise üst flanşa yapışık vaziyettedir. Dolayısıyla piston ile yer değiştirme pistonu arasında kalan, genişleme hacmindeki basınç atmosfer basıncına eşittir. Bu durumda yer değiştirme pistonunun ön yüzeyi atmosfer basıncının, kuyruk kısmı ise basınçlı hava haznesindeki yüksek basıncın etkisi altındadır. Haznedeki yüksek basınç yer değiştirme pistonu kuyruğuna etki ederek yer değiştirme pistonu güç pistonuna doğru hareket ettirir. Hareket eden yer değiştirme pistonu ön tarafındaki hacmi daraltırken arka tarafında vakum oluşturur, bu vakumun meydana getirdiği basınç farkı ile tek yönlü valf açılır ve yer değiştirme pistonu arka tarafına atmosferik şartlardaki hava dolar. Bu işlem yer değiştirme pistonu kursu boyunca devam eder.

### 2.1.2. Motora alınan havanın sıkıştırılması

Sıkıştırma başlangıcında güç pistonu AÖN'da, yer değiştirme pistonu ise bir önceki periyodun sonucu olarak güç pistonu üzerindedir. Volan üzerinde biriken enerji ile güç pistonunu yukarı doğru hareket ettirir. Bu hareket ile çıkış portunu kapanmaya başlar ve aynı zamanda güç pistonu üzerinde bulunan yer değiştirme pistonu da güç pistonu ile hareket etmeye başlar. Yer değiştirme pistonunun güç pistonu ile yukarı doğru hareketi havayı sıkıştırmaya başlar ve bu sıkıştırma güç pistonunun ÜÖN'ya varması ile son bulur. Bu durumda, yer değiştirme pistonu arkasındaki hava sıkıştırma sonu basıncı değerine ulaşmış ve ısıtıcının genişleme bölgesine açık olan ucu açılmaya başlamış durumdadır.

### 2.1.3. Sıkıştırılan havanın yer değiştirerek ısınması

Bir önceki periyodun devamı olan bu işlem güç pistonu ile beraber hareket eden yer değiştirme pistonunun, ısıtıcının sıcak ucunu açması ile başlar. Isıtıcının sıcak ucunun açılmaya başlaması

ile sıkışan hava ısıtıcı üzerinden geçerek piston ile yer değiştirme pistonu arasına dolmaya başlar. Isıtıcı üzerinden geçen havanın ısınarak basıncı artar, basıncı aratan hava yer değiştirme pistonunu yukarı doğru iterek arka tarafındaki sıkışmış havayı ısıtıcı üzerinden yer değiştirme pistonu ile güç pistonu arasındaki hacme pompalamaya devam eder. Yer değiştirme pistonu bu işlemi gerçekleştirirken güç pistonu yaklaşmakta olup, hızı azalmıştır. Güç pistonu ÜÖN'ya geldiğinde yer değiştirme pistonu pompalama işini tamamlamış olur. Bu durumda yer değiştirme pistonu silindir flanşı ile temas halinde, güç pistonu ise tam ÜÖN'da yön değiştirmek üzeredir.

#### 2.1.4. Isınan havanın genleşmesi

Bu durumda güç pistonu ÜÖN'da, yer değiştirme pistonu ise silindir flanşı ile temas halindedir. Volanın ataleti ile ÜÖN'yı atlatan piston üzerine ısınarak basıncı artan gaz etki eder. Güç pistonu basınçlı gazın etkisi ile aşağıya doğru hareket etmeye başlar ve böylece genleşme başlamış olur. Genleşme; yani motordan güç alınması işlemi güç pistonunun AÖN'ya gelmeden önce çıkış portunu açmaya başladığı ana kadar devam eder. Güç pistonu çıkış portunu açmaya başladığı anda genleşme hacmindeki sıcak ve basınçlı hava atmosfer şartlarındaki ortama doğru akmaya başlar. Bu işlem devam ederken sıcak gazın basıncı düşeceği için, basınçlı hava haznesindeki basınç yer değiştirme pistonunu ani olarak aşağıya doğru itecektir. Bu itme, genleşme hacmi içindeki artık sıcak havayı çıkış portundan atmosfer ortamına atar. Aynı zamanda yer değiştirme pistonu arkasında basınç farkı oluşturup, tek yönlü valfin açılmasını sağlayarak diğer çevrim için motor içine tekrar hava alınmasına sebep olur.

#### 2.1.5. Isıtıcı

Tasarımı yapılan motorda parça sayısı ve detayın mümkün olduğu kadar az olmasına dikkat edilmiştir. Bundaki amaç; imalat ve çalıştırma sırasında ortaya çıkacak problemleri azaltmaktır. İmalat esnasında ortaya çıkacak problemler tasarım üzerinde tadilat yapmak sureti ile giderilebilir, fakat imalat tamamlanıp çalıştırma işlemine başladıktan sonraki problemler tasarımın tamamen değişmesine sebep olacaktır. Bu sebeple çalışma sırasında ortaya çıkacak en büyük problem kullanılacak olan çalışma maddesine bağlı olacaktır.

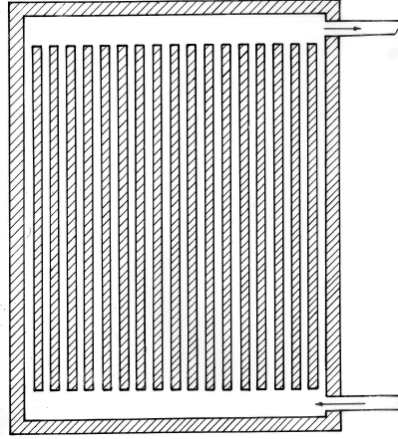
Stirling motorlarında çalışma maddesi olarak genellikle helyum veya hidrojen kullanılmaktadır. Çalışma maddesi olarak bu gazların kullanılmasındaki amaç; hacimce küçük, derli toplu bir motor geliştirmektir. Stirling motorlarında sızdırmazlık problemi henüz bertaraf edilmediği için helyum ve hidrojen kullanılan sistemlerde bu gazların kaçışını önlemek amacı ile yapılan ilave sistemler, geliştirilmek istenen motorları daha da büyütüştür. Bunun yanında bu gazların kullanılması mükemmel çalışan bir soğutucuyu da gerekli kılmaktadır. Helyum ve hidrojen gazının çalışma maddesi olarak kullanılmasındaki diğer bir problemde bu gazların teminindeki zorluktur.

Bu zorluk ve detaylardan kurtulmak için çalışma maddesini her iş zamanının sonunda dışarı bırakan bir konstrüksiyon biçimi tercih edilerek, çalışma maddesi olarak hava kullanılması uygun görülmüştür. Havanın çalışma maddesi olarak kullanılması motor gücüne etki edecektir. Fakat yukarıda bahsi geçen problemlere çözüm olacak, aynı zamanda da tasarımı yapılan motora deneme safhasında maliyet bakımından büyük avantajlar sağlayacaktır.

Kullanılacak olan hava her çevrimde yenisi ile değiştirilerek, silindir içerisinde sürekli bir akış gerçekleştirilecektir. Her çevrimde havanın dışarıdan alınması bir miktar tozu silindir ve ısıtıcı içine taşıyacaktır. Taşınan bu toz özellikle ısıtıcı içerisinde ısıl direnç meydana getirecektir. Bu sebeple emsal motorlarda kullanılan kılcal borulu ısıtıcı kullanılması mümkün değildir.

Motorda kullanılacak olan ısıtıcının temizlenme özelliğine sahip olması dolayısıyla kolayca sökülüp takılacak biçimde olması gerekmektedir. Düşünülen ısıtıcı pleyt şeklinde olup, motorda kullanılacak çalışma maddesi silindirler arası yer değiştirme sırasında ısıtıcının iç yüzeyleri arasından geçerken ısınacaktır. Isıtıcının pleyt şeklinde olması, ısı kaynağı olarak kullanılması düşünülen güneş enerjisinin ısıtıcıya aktarılmasında kolaylık sağlayacaktır.

Isıtıcıdaki akış çizgilerinin bozulmadığını yani laminar ve duvar sıcaklığının her yerde aynı olduğu kabul edilerek ısıtıcının analizi yapılacaktır. Motorda kullanılması düşünülen ısıtıcının detaylı olmayan resmi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Tasarımda Kullanılması Düşünülen Isıtıcı.

Paralel duvarlı ısıtıcıda hava hızı;

$$u = c_o \left[ y_w^2 - y^2 \right] \quad (2.1)$$

$$u = \frac{3}{2} u \left[ 1 - \frac{y^2}{y_w^2} \right] \quad (2.2)$$

Hava tabakası için enerji denklemi;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2.3)$$

Kabul edelim ki sıcaklık profili ;

$$T = a_o + ay + a_2 y^2 \quad (2.4)$$

şeklindedir. Bu eşitliğin y' ye göre türevi alındığında;

$$\frac{\partial T}{\partial y} = a_1 + 2a_2 y \quad (2.5)$$

olur. Kanalın ortasındaki sınır şartı;  $y = 0$  ,  $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$  dan  $a_1 = 0$  bulunur ve sıcaklık profili;

$$T = a_o + a_2 y^2 \quad (2.6)$$

olur. Duvardaki sınır şartı;  $y = y_w$  ,  $T = T_w$  kullanılırsa

$$T_w = a_o + a_2 y_w^2 \quad (2.7)$$

$$a_o = T_w - a_2 y_w^2 \quad (2.8)$$

olur. Bu denklemi 2.6 eşitliğine yazdığımızda;

$$T = T_w - a_2 y_w^2 + a_2 y^2 \quad (2.9)$$

$$T = T_w + a_2 [y^2 - y_w^2] \quad (2.10)$$

olur. Son ifadeden;

$$\frac{\partial T}{\partial x} = [y^2 - y_w^2] \frac{\partial a_2}{\partial x} \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 2a_2 \quad (2.12)$$

İfadeleri elde edilir. Bunlar 2.3 eşitliğine yazılırsa;

$$u \frac{\partial a_2}{\partial x} [y^2 - y_w^2] = 2\alpha a_2 \quad (2.13)$$

olur. u, 2.1 den yerine yazıldığında;

$$c_o \frac{\partial a_2}{\partial x} [y^2 - y_w^2]^p = 2\alpha a_2 \quad (2.14)$$

diferansiyel denklemini elde edilir. Yeniden düzenlersek

$$\frac{\partial a_2}{\partial x} = \frac{2\alpha}{c_o [y^2 - y_w^2]^p} a_2 \quad (2.15)$$

olur. Denklemin genel çözümü;

$$a_2 = k e^{\frac{2\alpha}{c_o [y^2 - y_w^2]^p} x} \quad (2.16)$$

olur.  $\partial_2$  nin bu değerini 2.11'e yazdığımızda;

$$T = T_w + k e^{\frac{2\alpha}{c_o [y^2 - y_w^2]^p} x} [y^2 - y_w^2] \quad (2.17)$$

olur.  $x = 0$ ,  $T = T_{in}$  sınır şartından;

$$T_{in} = T_w + k [y^2 - y_w^2] \quad (2.18)$$

$$k = \frac{T_{in} - T_w}{y^2 - y_w^2} \quad (2.19)$$

olarak elde edilir. k' nin bu değeri. 2.17 denkleminde yazıldığında

$$T = T_w + \frac{T_{in} - T_w}{y^2 - y_w^2} e^{\frac{2\alpha}{c_o [y^2 - y_w^2]^p} x} [y^2 - y_w^2] \quad (2.20)$$

$$T = T_w + [T_{in} - T_w] e^{\frac{2\alpha}{c_o [y^2 - y_w^2]^p} x} \quad (2.21)$$

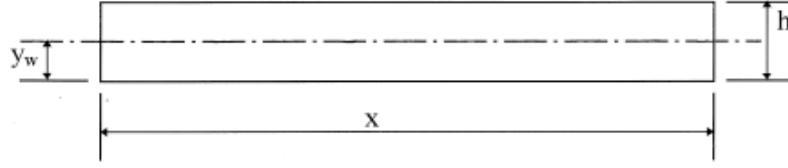
bulunur. 2.1 ve 2.2 den  $c_o$  1 yerine yazdığımızda;

$$T = T_w + [T_{in} - T_w] e^{\frac{2\alpha}{\frac{3}{2} u [y^2 - y_w^2]^2} x} \quad (2.22)$$

$$T = T_w + [T_{in} - T_w] e^{-\frac{4\alpha x}{3 u y_w^2}} \quad (2.23)$$

olarak elde edilir.

Bulunan bu denklemi tasarlanan ısıtıcının değişik değerleri için kullandığımız zaman, motora en uygun ısıtıcı ölçüleri belirlenecektir. Hesapı yapılan değerler ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Isıtıcı Boyutları.

Tablo 1. Kanal Çapı Ve Boyuna Bağlı Olarak Isıtıcı Çıkış Sıcaklığı.

h (m)	y <sub>w</sub> (m)	x (m)	T (K)
0,00025	0,000125	0,1	892
		0,15	899
0,0005	0,00025	0,1	892
		0,15	880

### 3. SONUÇ

Isıtıcının değişik değerlerdeki kanal boyu ve kanal çapı ile yapılan hesaplamaları sonucu bulunan değerler incelendiğinde; kanal boyunun 0,15 m ve kanal çapının 0,00025 m ölçülerine sahip olan ısıtıcıdan elde edilen çıkış sıcaklığının istenilen değere yakın olduğu ve tasarlanan motorda bu ölçülerdeki ısıtıcının kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Tasarımı yapılan bu motor kurs boyu uygun bir motora adapte edilerek denemelere tabi tutulacaktır. Başlangıçta ısı kaynağı olarak elektrikli ısıtıcı veya bir pürümüz kullanılacaktır. Daha sonra ısıtıcı üzerine güneşi takip eden parabolik bir ayna yerleştirilerek, bu aynaya gelen ısıyı da ısıtıcı üzerine aktararak sistemin güneş enerjisi ile çalışması sağlanacaktır.

### KAYNAKLAR

- [1] Walker, G. (1980). Stirling Engines. Oxford: Oxford University Press.
- [2] Walker, G., Senft, J. R. (1985). Free Piston Stirling Engines. Berlin: Springer.
- [3] Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis Ve Makina, 56(671), 28-40.
- [4] Karabulut, H., Çınar, C., Okur, M. (2020). Dynamic simulation and performance prediction of free displacer Stirling engines. International Journal of Green Energy, 179(1), 1-13.
- [5] Karabulut, H. (2010). Dynamic analysis of a free piston Stirling engine working with closed and open. Renewable Energy, 36, 1707-1709.
- [6] Koca, A. (1996). V-Tipi Stirling Motor Tasarımı Ve İmalı. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] Yücesu, S. (1998). Atmosferik Basıncıta Çalışan Bir Stirling Motorunda Hacim, Basıncı ve Kütle Değişiminin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 1(1), 9-16.
- [8] Çınar, C., Akgül, T., Yücesu, H. S. (2007). Stirling Çevrimi İle Çalışan Beta Tipi Bir Motorun İmalı Ve Performans Testleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), 411-415.
- [9] Çınar, C., Koca, A., Karabulut, H. (2005). Farklı Çalışma Gazlarının Stirling Motorunun Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2), 247-250.
- [10] Üstün, S. (2000). Çift yer Değiştirme Pistonlu V Tipi Küçük Güçlü Stirling Motorunun Tasarım Ve İmalı. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] Jian, M., Guotong, H. (2017). Startup mechanism and power distribution of free piston Stirling engine. Energy, 123, 655-663.
- [12] Muhammad, I. R., Nada, S. A. (2021). Experimental and theoretical investigation on a proposed free piston Stirling engine with expansion bellow. Applied Thermal Engineering, 182, 1-14.