Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi
Cilt: 12, No: 3, 2015 (27-35)

Electronic Journal of Machine Technologies
Vol: 12, No: 3, 2015 (27-35)

TEKNOLOJİK ARAŞTIRMALAR

www.teknolojikarastirmalar.com
e-ISSN:1304-4141

Makale
(Article)

Hava Şarjlı Rhombic Hareket Mekanizmalı Bir Stirling Motorunun Performans Testleri

Halit KARABULUT[*], Can ÇINAR[*], Fatih AKSOY[**], Hamit SOLMAZ[*], Yaşar Önder ÖZGÖREN[**], Muhammed ARSLAN[**] ve Halil İbrahim EROĞLU[**]
[*]Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. Otomotiv Müh. Böl., Teknik Okullar Ankara/TÜRKİYE
[**]Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fak. Otomotiv Müh. Böl., Afyonkarahisar/TÜRKİYE
faksoy@aku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, beta tipi rhombic hareket mekanizmalı bir Stirling motorunun performans testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma maddesi olarak hava kullanılmıştır. Deneyler 773± 5 K sıcak kaynak ve 300 K soğuk kaynak sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Maksimum motor gücü 3 bar şarj basıncı ve 418 dev/dk motor devrinde 176 W olarak elde edilmiştir. Maksimum motor momenti ise 3 bar şarj basıncı ve 378 dev/dk motor devrinde 4,68 Nm olarak elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Stirling Motoru, Rhombic Hareket Mekanizması, Motor Performansı.

Performance Test Of An Air Charged Stirling Engine With Rhombic Drive Mechanism

Abstract

In this study, performance tests of a beta type Stirling engine with rhombic drive mechanism were performed. Air was used as working fluid. The experiments were carried out at hot end temperature of 773± 5 K and cold end temperature of 300 K. Maximum engine power was obtained as 176 W at 3 bar charge pressure and engine speed of 418 rpm. Maximum engine torque was obtained as 4.68 Nm at 3 bar charge pressure and engine speed of 378 rpm.
Keywords : Stirling Engine, Rhombic Drive Mechanism, Engine Performance.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların aşırı kullanımı yaşadığımız çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının giderek azalması ülkeleri yenilenebilir, çevreye zarar vermeyen ve kolay temin edilebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir [1]. Dünya'da mevcut olan fosil enerji kaynaklarının rezervleri sınırlı ve oldukça pahalıdır. Ayrıca yaydıkları zararlı gazlarla çevreyi kirletmekte ve iklim değişiklerine yol açmaktadırlar [2].

Enerji kaynağının bulunup tüketilmesine kadar her aşamasında, olumsuz yönde çevresel etkiler

Bu makaleye atıf yapmak için
Karabulut H.[*], Çınac C.[*], Aksoy F.[*], Solmaz H.[*], Özgören Y Ö.[*], Arslan M.[*], Eroğlu H İ., " Hava Şarjlı Rhombic Hareket Mekanizmalı Bir Stirling Motorunun Performans Testleri" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 12(3) 27-35

How to cite this article
Karabulut H.[*], Çınac C.[*], Aksoy F.[*], Solmaz H.[*], Özgören Y Ö.[*], Arslan M.[*], Eroğlu H İ., " Performance Test Of An Air Charged Stirling Engine With Rhombich Drive Mechanisim" Electronic Journal of Machine Technologies, 2015, 12 (3) 27-35

yaratmakta ve bu etkiler o bölge ile kalmayıp büyük ölçüde sınır tanımayan bir küresel niteliğe bürünmektedir [3]. Dünyanın birçok yerinde bilim adamları günümüz nüfusunun artan enerji ihtiyacını karşılama potansiyeline sahip birçok alternatif enerji kaynağını keşfetmiştir [4]. Stirling motorları güneş, biyokütle, jeotermal, nükleer ve herhangi bir yakıtın yanması gibi her türlü ısı kaynağı ile çalışabilirler [5]. Stirling motorları 1816'da İngiliz rahip Robert Stirling tarafından icat edilmiş olup [6] dıştan yanma prensibine göre çalışmaktadır [7]. Stirling motorları yüksek verime ve düşük egzoz emisyonlarına sahiptirler [8]. Teorik verimleri ise Carnot verimiyle aynı olan Stirling motorları basit bir yapıdan oluşmaktadır [9,10]. Stirling motorlarında alfa, beta ve gama olmak üzere üç konfigürasyon vardır [11]. Bu konfigürasyonlar aynı termodinamik çevrime sahip olsalar da farklı mekanik tasarım özelliklerine sahiptirler. Alfa konfigürasyonunda çift silindirde çift piston bulunmaktadır. Beta'da yer değiştirme silindiri ve güç pistonu aynı silindirde birleştirilmiştir. Gama'da ise bir tanesi güç pistonu için birisi de yer değiştirme pistonu için olmak üzere iki ayrı silindir bulunmaktadır [12].

Stirling motorlarının icadından günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Çınar ve arkadaşları tek silindirli, 192 cm^3 hacminde beta tipi bir Stirling motorunun imalatını ve performans testlerini yapmışlardır. Deneyleri 800, 900 ve 1000 °C sıcak uç sıcaklıklarında ve 1, 1,5, 2, 2,5, 3 bar şarj basınçlarında gerçekleştirmişlerdir. 1000 °C ısıtıcı sıcaklığında, 2,5 bar şarj basıncında ve 344 dev/dk motor devrinde 14 W güç elde etmişlerdir [13]. Karabulut ve arkadaşları çalışma akışkanı olarak helyum kullanılan bir Stirling motorunun performans testlerini gerçekleştirmişlerdir. 260 °C sıcak uç sıcaklığında ve 4 bar şarj basıncında 183 W motor gücü elde etmişlerdir [14]. Çınar ve arkadaşları rhombic hareket mekanizmalı beta tipi bir Stirling motorunun tasarım, imalat ve performans testlerini gerçekleştirmişlerdir. Deneyler 350 ve 450 °C sıcaklıklarında çalışma maddesi olarak helyum ve hava kullanılarak yapılmıştır. Beta tipi motorun maksimum gücü 450°C sıcak uç sıcaklığında, 2 bar şarj basıncında ve çalışma maddesi olarak helyum kullanılarak 95,77 W olarak elde edilmiştir [15]. Aksoy ve Arkadaşları düşük sıcaklıklarda çalışan beta tipi bir Stirling motorunun performansını 400W ve 1000W gücünde halojen lambalar kullanarak incelemişlerdir. Deneylerde çalışma maddesi olarak helyum kullanılmıştır. 400W gücündeki halojen lamba için 5 bar şarj basıncında ve 623 ± 10 K kaviti sıcaklığında motor gücünü, torkunu ve ısıl verimini sırasıyla 37,07 W, 1.67 Nm ve % 9,27 olarak elde etmişlerdir. 1000 W gücündeki halojen lamba için aynı şarj basıncında ve 873 ± 10 K kaviti sıcaklığında motor gücünü, torkunu ve ısıl verimini sırasıyla 127,17 W, 3,4 Nm ve % 12,85 olarak elde etmişlerdir [16]. Sripakagorn ve Srikam beta tipi bir Stirling motoru tasarlamış ve imal etmişlerdir. 165 cm^3 süpürme hacmine sahip motor ile 500 °C sıcaklıkta, 7 bar basınçta ve 360 dev/dk devrinde 95,4 W güç elde etmişlerdir [17].

Bu çalışmada, rhombic hareket mekanizmalı beta tipi bir Stirling motorunun çalışma maddesi olarak hava ve ısı kaynağı olarak LPG yakıtlı bir ısıtıcı kullanılarak farklı şarj basınçlarında performans testleri gerçekleştirilmiştir.

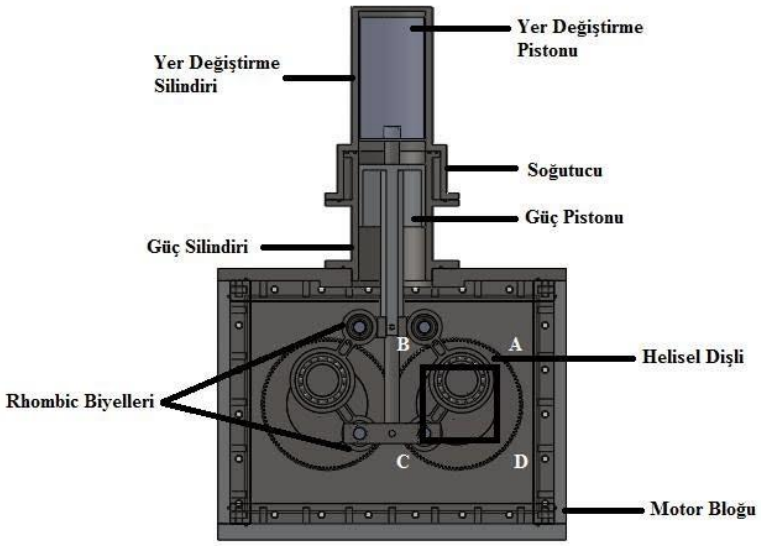
2. MOTORUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Beta tipi rhombic hareket mekanizmalı bu motor; motor bloğu gövdesi, motor bloğu kapakları, krank milleri, krank milli yatakları, helisel dişliler, biyel kolları, bağlantı elemanları, güç pistonu, yer değiştirme pistonu ve rodu, güç silindiri, yer değiştirme silindiri ve volandan oluşmaktadır.

Motor bloğu; gövde ve kapaklardan oluşmaktadır. Motor bloğu gövdesi 25x25 mm Ç1040 malzemeden imal edilmiştir ve kapaklar ile birleştirilecek yüzeyleri hassas bir şekilde taşlanmıştır. Motor blok kapakları M8 cıvata ile gövdeye sabitlenmiş olup sızdırmazlık için blok kapaklarının iç kısımlarına O-ring yuvaları açılmıştır. Krank milini ve silindiri taşıyan kapaklar Ç1040 malzemeden imal edilmiştir. Sağ ve sol yan kapaklar ile alt kapak alüminyum 5050 malzemesinden üretilmiştir.

İmalatı yapılan rhombic mekanizmasında motorun daha sessiz çalışması için helisel dişliler kullanılmıştır. Bu dişliler 8620 sementasyon çeliğinden imal edilmiş olup 52 Rockwell C derecesinde sertleştirilme

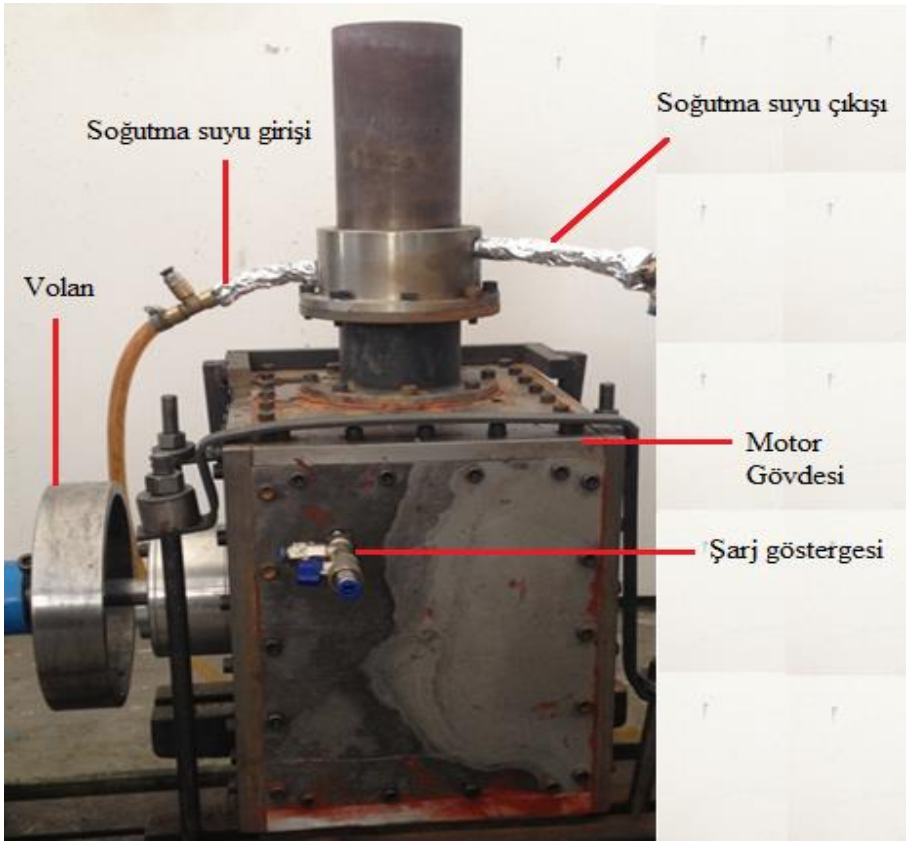
işlemine tabi tutulmuştur. Motora uygulanan şarj basıncı nedeniyle dişlilerin bir yöne yaslanmasını azaltmak için dişliler krank milleri üzerine yerleştirilmiştir. Krank milleri 4140 ıslah çeliğinden imal edilmiş olup yüzeyleri taşlanmış ve her iki ucundan rulmanlar yardımıyla yataklandırılmıştır. Krank mili yatakları Ç1040 malzemeden imal edilmiştir. Şekil 1'de motorun kesit görünümü görülmektedir.



Şekil 1. Test motoru kesit görünümü ve motorun çalışma prensibi.

Rhombic hareket mekanizmasında piston bağlantı elemanı ve rot ile biyel bağlantı elemanları Ç1040 malzemeden, biyel kolları ise alüminyum 7000 serisi malzemeden üretilmiştir. Rhombic mekanizması biyel kolları sürtünme kayıplarını en aza indirmek amacı ile krank muylularına bilyeli rulmanlar vasıtası ile bağlanmıştır. Güç pistonu 7000 serisi alüminyum alaşım malzemesinden imal edilmiştir. Güç pistonunun dış yüzeyi hassas olarak tornalanarak güç silindirine 0,09 mm boşluk kalacak şekilde alıştırılmıştır. Güç silindiri ise yağ çeliğinden hassas bir şekilde imal edilmiştir.

Yer değiştirme silindiri ASTM 304 çelik malzemeden ve yer değiştirme pistonu (displacer) ise ASTM 304 çelik borudan imal edilmiştir. Yer değiştirme silindirinin alt bölümü soğuk bölgeyi üst bölümü ise sıcak bölgeyi oluşturmaktadır. Yer değiştirme silindirinin alt kısmı ile güç silindirinin üst kısmı arasındaki yer su ceketini (soğutma bölümü) oluşturmaktadır. Yer değiştirme silindirinin iç kısmına kanallar açılarak bu kanalların rejeneratör olarak kullanılması sağlanmıştır. Şekil 2 ve Tablo 1'de sırasıyla motorun resmi ve teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. Test motoru.

Tablo 1. Test motorunun teknik özellikleri

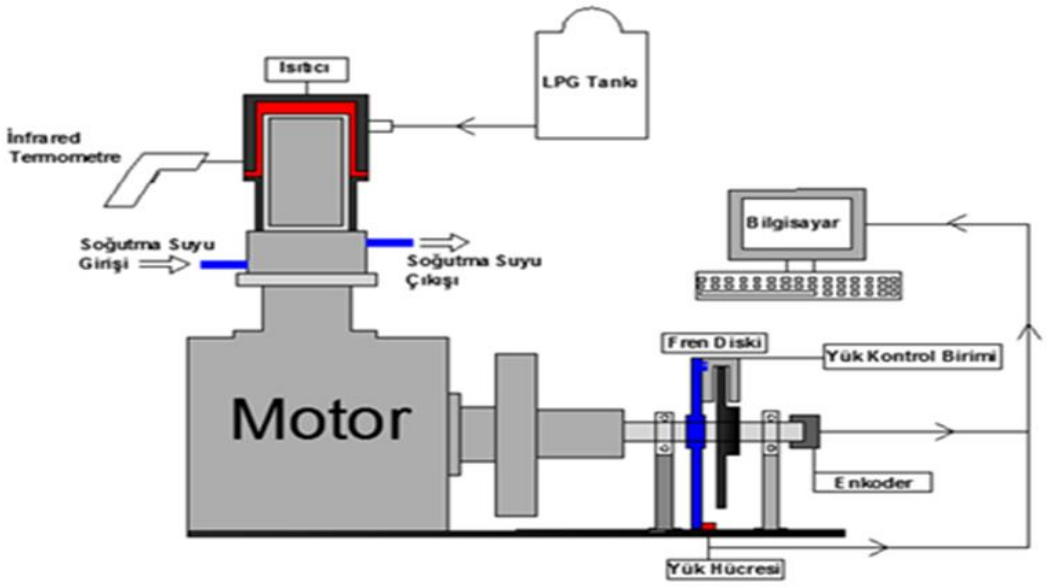
Açıklama	**Özellik**
Motor Tipi	β (Beta)
Hareket mekanizması	Rhombic
Yer değiştirme silindir çapı (mm)	86
Yer değiştirme piston çapı (mm)	84,5
Yer değiştirme piston uzunluğu (mm)	155
Güç silindir çapı (mm)	86
Rhombic kol uzunluğu (mm)	80
Çalışma maddesi	Hava
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Isıtma sistemi	LPG'li ısıtıcı (Pürmüz)

Rhombic hareket mekanizmalı beta tipi Stirling motorunda güç pistonu ve yer değiştirme pistonu arası soğuk hacmi ve yer değiştirme pistonunun üst kısmı ise soğuk hacmi oluşturmaktadır. Rejeneratör soğuk ve sıcak hacim arasında yer almakta ve harici bir rejeneratör bulunmamaktadır. Yer değiştirme silindiri iç yüzeyine 3 mm derinliğinde ve 2 mm genişliğinde kanallar açılmış ve bu kanallar rejeneratör olarak kullanılmıştır. Şekil 1'de A-B noktaları arasında sabit hacimde ısıtma işlemi, B- C noktaları arasında sabit sıcaklıkta genişleme işlemi, C-D noktaları arasında sabit hacimde soğutma işlemi ve D-A noktaları arasında sabit sıcaklıkta sıkıştırma işlemi gerçekleşmektedir.

3. DENEY DÜZENEĞİ

İmalatı gerçekleştirilen motorun montaj işlemi tamamlandıktan sonra, motor performans karakteristiklerinin belirlenebilmesi amacıyla deney düzeneğine bağlanmıştır. Deney düzeneği prony tip dinamometre, yük hücresi, enkoder, infrared termometre ve veri kayıt yazılım programından oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik resmi ve prony tip dinamometre Şekil 3'de görülmektedir. Prony tip dinamometre üzerinde frenleme diski bulunan bir mil, fren diskini sıkıştırarak yüklemeyi sağlayan bir hidrolik frenleme tertibatı, bir yük hücresi ve frenleme kuvvetini yük hücresine ileten bir moment kolundan oluşmaktadır.

Deney düzeneğinde ESIT BB20 marka 1 gr hassasiyete sahip yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinden gelen verilerin eş zamanlı olarak bilgisayara aktarılmasında ve motor devrinin ölçülmesinde Lika marka 5000 pulse'lik bir enkoder kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümleri 50- 800 °C arasında ±%1 hassasiyetinde ölçüm yapabilen DT-8863 marka infrared termometre ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çalışma maddesi olarak hava kullanılmış ve şarj basıncı motor bloğuna uygulanmıştır. Şarj basıncı 0-10 bar arasında ölçüm yapabilen dijital bir manometre ile ±0,01 bar hassasiyetinde ölçülmüştür. Deneyler, yer değiştirme silindirinin 773 ±5 K sıcak uç ve 300 K soğuk uç sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Motora ısı enerjisi LPG yakıtlı ısıtıcı (pürmüz) kullanılarak verilmiştir.



Şekil 3. Deney Düzeneği.

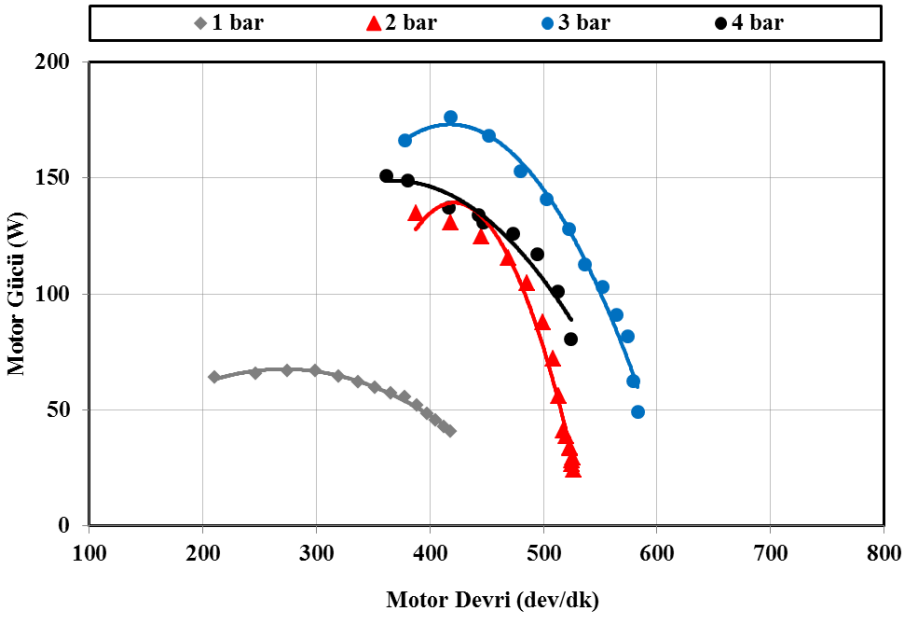
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Motor performans testleri termal ve mekanik problemler giderildikten sonra gerçekleştirilmiştir. Deneyler 773 ±5 K sıcak uç ve 300 K soğuk uç sıcaklıklarında ve çalışma maddesi olarak hava ile yapılmıştır. Şekil 4 ve Şekil 5'te motor devrine bağlı olarak motor gücü ve motor momentlerinin değişimi 1, 2, 3 ve 4 bar şarj basınçları için verilmiştir. Maksimum motor momenti 3 bar şarj basıncı ve 378 dev/dk motor devrinde 4,68 Nm olarak belirlenmiştir. Maksimum motor momenti düşük motor devirlerinde elde edilmiştir. Düşük motor devirlerinde ısıtma-soğutma süresi yeterliyken motor devrinin artması ile azalmaktadır. Bu sürenin uzun olması motor momentinin yüksek olmasını sağlamaktadır.

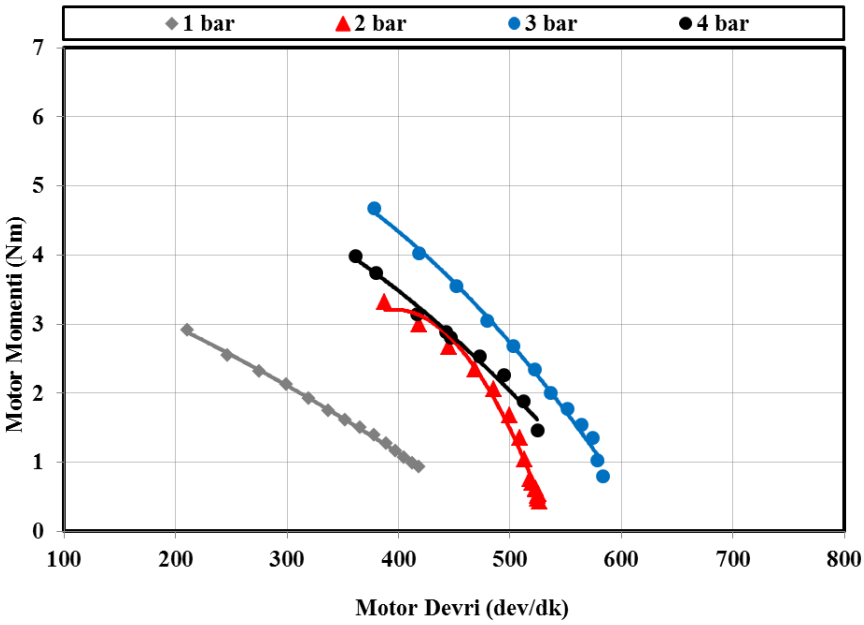
Maksimum motor gücü aynı şarj basıncında ve 418 dev/dk motor devrinde 176 W olarak elde edilmiştir. Motor momenti ve motor devrinin bir fonksiyonu olan motor gücü belirli bir değere kadar artış göstermekte ve daha sonra ısı değişim süresinin kısalması nedeniyle azalmaktadır.

Iwamato ve arkadaşları düşük ve yüksek sıcaklık farklı Stirling motorları geliştirmişler ve çalışma maddesi olarak hava kullanarak test etmişlerdir. Geliştirilen düşük sıcaklık farklı Stirling motorunda 142 dev/dk motor devrinde, 0.1 MPa şarj basıncında ve 403 K ısı kaynağı sıcaklığında 145 W güç elde etmişlerdir [18]. Kontragool ve Wongwises çift etkili, çift güç pistonlu ve 4 güç pistonlu düşük sıcaklık farklı gama tipi bir Stirling motorları imal etmişlerdir. Deneyleri çalışma akışkanı olarak hava ile atmosferik basınçta gerçekleştirmişlerdir.

Çift güç pistonlu motor 2355 W ısı girişi ve 589 K ısıtıcı sıcaklığında ve 67.7 rpm de 1.222 Nm tork üretmiştir. Maksimum şaft gücünü ve fren termal verimini 133 rpm de sırasıyla 11.8 W ve % 49.4 olarak elde etmişlerdir. 4 güç pistonlu motor 4041 W ısı girişi ve 771 K ısıtıcı sıcaklığında ve 28.5 rpm de 10.55 Nm tork üretmiştir. Maksimum şaft gücünü ve fren termal verimini 42.1 rpm de sırasıyla 32.7 W % 80.9 olarak elde etmişlerdir [19]. Duan ve arkadaşları (2015) prototip bir beta tipi Stirling motorunun performans testini gerçekleştirmişlerdir. Testleri elektrikli bir ısıtma sistemi kullanarak laboratuar koşullarında yapmışlardır. Çalışma akışkanı olarak hava kullanmışlardır. Maksimum çıkış gücünü 600 °C ve 15 bar şarj basıncında ve 250 rpm de 288 W olarak; maksimum torkunu ise aynı şartlarda ve 200 rpm de 13.18 Nm olarak elde etmişlerdir [20].



Şekil 4. Motor devrine bağlı olarak motor gücünün değişimi.



Şekil 5. Motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada beta tipi Rhombic hareket mekanizmalı bir Stirling motorunun çalışma madesi hava kullanılarak performansı farklı şarj basınçları için belirlenmiştir. Geliştirilen motorda helisel dişliler kullanımı ve helisel dişlilerin krank milleri üzerine yerleştirilmesi ile mekanik kayıpların azaltılması sağlanmıştır. LPG yakıtlı ısıtıcı (pürmüz) ile gerçekleştirilen deneylerde şarj basıncı motor bloğuna uygulanmıştır. Deneylerde maksimum motor gücü 418 dev/dk motor devrinde 176 W olarak elde edilmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) tarafından 113M192 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TUBİTAK) teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Erol, D., 2009, "Düşük Sıcaklık Farkıyla Çalışan Bir Stirling Motorunun Tasarım Ve İmalatı", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

2. Cinar, C., 2003, "Gama Tipi Bir Stirling Motorunun Tasarımı İmali Ve Performans Analizi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

3. TC. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 1998, "Türkiye 1. Enerji Şurası Alt Komisyon Raporları", İstanbul 2, 9-1.

4. Agarwal A.K., 2007, "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", Progress in Energy and Combustion Science, 33, 233-271.

5. Demir B., Gungor A., 2003, "Küçük güçlü Güneş Enerjili Bir Stirling Motoru Tasarımı ve İmali", II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

6. Cinar C., 2002, "Hava Şarjlı Küçük Güçlü Bir Stirling Motorunun Deneysel Olarak İncelenmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10, 51-55

7. Kursuncu, B., 2010, "Sıvı Pistonlu Stirling Motoru İle Güneş Enerjili Su Pompası Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

8. Paul C.J., Engeda A., 2014, "Modeling A Complete Stirling Engine", Energy, 80, 85-97

9. Hachem H., Gheith R., Aloui F., Nasrallah B.S., 2014, "Numerical Characterization Of A γ- Stirling Engine Considering Losses And Interaction Between Functioning Parameters", Energy Conversion And Management, 96, 532-543

10. Ataer O.E., Tekin Y., Karabulut H., 2003, "V- Tipi Stirling Soğutucusunun Termodinamik Analizi", VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, İzmir

11. Cinar C., Aksoy F., Okur M., 2013, "Rhombic Hareket Mekanizmalı Bir Stirling Motorunun Tasarımı", İmalatı Ve Performans Testleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 795-801

12. Chen W., Wong K.L., Chang Y.F., A 2015, "Numerical Study On The Effect Of Moving Regenerator To The Performance Of A β-Type Stirling Engine", International Journal Of Heat And Mass Transfer, 83, 499-508

13. Cinar C., Topgul T., Yucesu H.S., 2007, "Stirling Çevrimi ile Çalışan Beta Tipi Stirling Motorun İmalatı ve Performans Testleri", Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 411-415

14. Karabulut H., Cinar C., Ozturk E., Yucesu H.S., 2010, "Torque and power characteristics of a helium charged Stirling engine with a lever controlled displacer driving mechanism", Renewable Energy, 35, 138-143

15. Cinar C., Aksoy F., Okur M., 2014, "Rhombic Hareket Mekanizmalı Bir Stirling Motorunun Tasarımı, İmalatı Ve Performans Testleri", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 795-801

16. Aksoy F., Karabulut H., Cinar C., Solmaz H., Ozgoren Y.O., Uyumaz A., 2015, "Thermal performance of a Stirling engine powered by a solar simulator", Applied Thermal Engineering, 86, 161-167

17. Sripakagorn A., Srikam C., 2011, "Design and performance of a moderate temperature difference Stirling engine", Renewable Energy, 36, 1728-1733

18. Iwamoto I., Toda F., Hirata K., Takeuchi M., Yamamoto T., 1997, "Comparison of low- and high temperature differential Stirling engines", In: Proceedings of the 8th International Stirling Engine Conference, 29–38

19. Kongtragool B., Wongwises S., 2007, "Performance of low-temperature differential Stirling engines", Renewable Energy, 32, 547-566

20. Duan C., Sun C., Shu S., Ding G., Jing C., Chang J., 2015, "Similarity design and experimental investigation of a beta-type Stirling engine with a rhombic drive mechanism", International Journal of Energy Research, 39, 191–201