

Pnömatik Motor Tasarımı ve Prototipinin İmalatı

Atilla KOCA* , Tolga SAĞIR**
*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA
**Şişli Polis Karakolu
İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada; krank mili, kam mili ve supap mekanizması kullanılmayan paletli tip pnömatik bir motor tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Motorun eksenden kaçık rotoru üzerinde bulunan dört paleti sayesinde, her devirde dört iş meydana gelmektedir.

Pnömatik motor, sıkıştırılmış havanın enerjisini direkt olarak dönme hareketine çevirmektedir Egsozdan sadece çok az miktarda yağ ile temiz hava atılmaktadır. İmal edilen prototip 8, 9 ve 10 bar basınçta çalıştırılmış ve yüksüz olarak en yüksek 1300 d/d' ile döndürülmüştür. Motordan elde edilen en yüksek güç 10 bar basınçta 400 d/d'da 101,4 W olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Pnömatik Motor, Paletli, Basınçlı Hava

Designing and Manufacturing of a Pneumatic Motor Prototype

ABSTRACT

In this study, a pallet type pneumatic motor having no crank shaft, cam shaft and valve mechanism has been designed and manufactured. By means of this motor's four pallets which are located on the rotor that ran away from the axis, four functions are being performed during each revolution.

The pneumatic motor is converts the energy of compressed air, into rotary motion and only a little amount of oil and clean air are exhausted. The prototype has been operated under the 8, 9 and 10 bars of pressure and the motor speed has reached 1300 rpm when it is running unload condition. The maximum power acquired from the motor, has been determined as 101.4 W with 400 rpm under 10 bar pressure.

Keywords : Pneumatic Motor, Pallets, Air with Pressure

1. GİRİŞ

İçten Yanmalı Motorlar (İ.Y.M)'in çalışması için gerekli enerji günümüzde çoğunlukla fosil yakıt türevlerinden karşılanmaktadır (1). İ.Y.M'lar fosil yakıtları kullanırken yanma sonunda atmosfere önemli miktarlarda kirlenici emisyonlar yaymaktadırlar(2). Emisyonlar; insan sağlığına zarar vermekte, sera etkisi oluşturarak küresel ısınmaya neden olmakta ve dünyanın ekolojik dengesini bozarak, iklim değişikliği, buzulların erimesi gibi olumsuz sonuçlara sebebiyet vermektedirler(3).

İçten yanmalı motorların bütün avantajlarına rağmen yakıt çeşidine olan bağımlılıkları gün geçtikçe alternatif motorlar üzerinde çalışmaların sürdürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla yürütülen bir çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de pnömatik motorlar üzerinde yapılan çalışmalardır.

Pnömatik motorlardaki enerji maliyeti havayı sıkıştırmak için kullanılan elektrik enerjisidir. Bu enerjinin sağlanması doğal akarsu kaynaklarımız ve rüzgar enerjisi ile mümkün görülmektedir. Sistem için gerekli olan basınçlı havanın üretilmesinde kullanılan kompre-

sör, elektrik enerjisini petrol veya doğalgaz ile çalışan bir santralden değil de hidroelektrik santralden sağlanırsa, hem emisyonların azalması, hem de ithal petrol yerine doğal enerji kaynaklarının kullanılması, ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca, ülkemizde gelişen rüzgar enerjisinin depolama biçimlerinden biri, bu enerjiyi sıkıştırılmış hava şeklinde depolamaktır. Dolayısı ile havayı elde etmek için tükenmez ve temiz bir enerji kaynağı kullanılabilir (4). Pnömatik motor sadece taşıtlarda değil, fabrikalarda bazı makinelerin çalıştırılmalarında da kullanım alanı bulacaktır. Elektrik enerji kullanımının tehlikeli olduğu, patlama tehlikesi olan mekanlarda mekanik hareketin, sıkıştırılmış hava ile sağlanması daha güvenli olabilecektir.

Pnömatik ve hidrolikte motorların referansları pompalardır. Hidrolik pompa ve motorlara basınçlı akışkan verildiğinde motor olarak çalışabilmektedir. Motorlar, pompalar ile aynı görünümde olmalarına rağmen çalışma prensipleri terstir (5).

Pompalar bir dış kaynaktan aldıkları enerjiyi akışkana verir, motorlar ise akışkanın bünyesinde basınç, hız veya hem basınç hem hız formunda bulunan enerjiyi mekanik enerjiye çevirirler (6).

Motorlar; girişlerindeki yüksek basınç ve çıkışlarındaki düşük basınç arasındaki farktan dolayı döndürme momenti(tork) üretirler. Motordan elde edilen tork, bu iki basınç arasındaki farka yani akışkanın basıncına ve akışkanın etki ettiği yüzeyin büyüklüğüne bağlıdır (7,8).

Motor kapasitesi ve boyutları, pompada olduğu gibi makinenin ihtiyaç duyduğu güce göre değil, ihtiyaç duyulan çıkış momentine göre tespit edilir. Bunun sonucu olarak motor, istenen belirli bir güç için geniş bir moment dağılımını karşılaması gerekir. Bu şartlar, ya dişli kutusu kullanılarak motor çıkış momentini yükseltir, ya da yüksek momentli, alçak hızlı direkt tahrikli motor kullanılarak gerçekleştirilebilir(6).

Hidrolik sistemde basınçlı yağın, pnömatik sistemde ise basınçlı havanın enerjisi mekanik enerjiye çevrilir(9).

Hidrolik silindirlerle doğrusal hareket üretilir. Salımlı motorlarda ise açısal hareket üretilir, hidrolik motorlarla yüksek basınçtaki akışkanları kullanarak dairesel hareket yüksek döndürme momentleri elde edilebilir. Pnömatikte de sadece dönel bir hareket üretildiği ya da aktarıldığı zaman motordan bahsedilebilir (10).

Bu çalışmada; krank mili, kam mili ve supap mekanizması kullanılmayan paletli tip pnömatik bir motor prototip ve imalatı yapılmıştır. Motorun eksenden kaçık rotor üzerinde bulunan dört paleti sayesinde, her devirde dört iş meydana gelmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

WILSON, dönel pompa teorisi adı altında yaptığı çalışmada; pozitif deplasmanlı pompa ve motorların performanslarını, moment ve debiyi dikkate alarak sunmuştur. Bu iki büyüklük eşitliklerinden, giriş gücü ve çıkış gücü ifadeleri, volumetrik verim, mekanik verim kavramı ve eşitliklerini geliştirmiştir. Performansın önemli karakteristiklerini her bir durum için anlatıp, performans karakteristikleri tablosunu ortaya çıkartmıştır. Ünitenin fiziksel ölçülerindeki değişimin performans karakteristikleri üzerine etkileri ve optimum ölçülerde ünite dizaynı hakkında çalışmıştır (11).

Mustafa Erkilet, Hidrostatik pompa ve motor performansının teorik ve deneysel analizi başlıklı yüksek lisans tezinin, deney sonuçları kısmında; paletli pompalarda; maksimum akış kaybının, düşük devir sayısı ve yüksek basınç bölgesinde oluştuğunu ayrıca düşük sistem basıncı ve yüksek devir sayısında volumetrik verimin maksimum oluşunu ifade etmiş ve devir sayısındaki artış ile kaçakların azaldığını ifade etmiştir (12).

Ercan Toptancı, tek paletli mekanik sistemin vakum pompası olarak geliştirilmesi ve sanayide kullanımı başlıklı yüksek lisans tezinde, sabit tek paletli ve salınır tek paletli vakum pompası mutlak basınç- zaman karakteristik eğrileri değişimlerini incelemiştir. Deney sonucunda, sızdırmazlık problemleri olduğu için $P_{mut} = 3922$ pa değerine ulaşabildiğini, fakat hassas bir ima-

latla ve çok iyi bir sızdırmazlık temini ile; $P_{mut} = 588$ pa $\cdot P_{mut} = 98$ pa değerine ulaşabileceğini belirtmiştir (13).

Levent Özumar, Palet ağırlığının pompa performansına etkisi başlıklı yüksek lisans tezinde; rotor çapı=56mm, rotor kanat derinliği= 14mm, rotor kanat genişliği= 3mm, palet boyu=30mm, palet eni=14mm, palet et kalınlığı=3mm olan ve debisi $Q = 3,7$ lt/dak 'lık Vickers paletli pompa kullanmış, fiber veya çelik palet kullanımı ve palet sayısı değişiminin kaçaklara etkisini analiz etmiştir. Yapılan deneylerde; on yarıkli rotor, firmanın ürettiği orijinal çelik paletlerle (by-pass 'lı), on yarıkli rotor düz fiber paletlerle ve sekiz yarıkli rotor düz fiber paletlerle 1000 dev/dak ile çalıştırılarak, sekiz yarıkli rotor ve on yarıkli rotor karşılaştırıldığında ise, on yarıkli rotorun kaçakları azalttığı gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda; çelik paletin fiber paletle oranla kaçakları azalttığı gözlenmiştir (14).

Felix Wankel isimli Alman bilim adamı; döner pistonlu motorlar üzerinde ilk çalışmaları yapmış, 1929 yılında döner pistonlu motorların ilk patentini almıştır. Motor 1957 yılında ilk kez Neckarsulm'daki NSU firmasının kontrol ve standında geliştirilmiş, ilk kez 1963 yılında bir taşıta (NSU SPİDER) uygulanmıştır. Dr. FROEDE WANKEL motorlarının geliştirme çalışmalarını sürdürmüştür. Çalışmalarda döner pistonun (Rotor) yan yüzeyleri ve köşeleri için sızdırmazlık elemanları geliştirilmiştir (15).

Basınçlı hava enerjisini mekanik dönme enerjisine dönüştüren elemana hava motoru adı verilir. Çok kullanılan iş elemanlarından biridir. Hava motorları yapılarına göre;

- Pistonlu hava motorları (radyal eksenel)
- Kanatlı hava motorlar
- Dişli hava motorları
- Türbin tipi hava motorları (radyal eksenel çevresel)

olarak sınıflandırılmaktadır.

Pnömatik sistemde doğrusal hareketi üretmek için silindirler, dairesel hareketi üretmek içinde ise pnömatik motorlar kullanılır (8).

Pistonlu motorlar, radyal ve eksenel pistonlu motorlar olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Radyal pistonlu motorlar en çok pnömatik uygulamalarda kullanılırken eksenel pistonlu motorlar genellikle hidrolik uygulamalarda kullanılır (16).

Radyal pistonlu motorlarda, bir krank milinin etrafında dizilmiş pistonlara giren basınçlı hava, krank milinde mekanik döndürme hareketi meydana getirir (17). Pistonlu hava motorları sola ya da sağa dönecek şekilde ayarlanabilirler. Düzgün bir çalışma için çok sayıda piston gereklidir. Düşük devirlerde çalışabilirler. Dolayısıyla büyük momentler üretebilirler. Yük altında 500-1500 d/d'lık hız elde edilebilir (10).

Eksenel pistonlu motorların çalışma ilkesi radyal pistonlu motorların çalışma ilkesine benzerdir. Motor miline paralel olarak yerleştirilmiş pistonlar basınçlı havanın etkisi ile aşağı hareket ederken motor miline eğik olarak bağlı bulunan plakayı döndürürler. Motor miline eğik olarak yerleştirilen plâkaların dönmesiyle motor milinde(tahrik mili) döndürülmüş olur (5). Eksenel pistonlu motorun hızı salınım plakasının açısı ayarlanarak değiştirilebilir (17).

Dişli hava motorları, döndürme momenti basınçlı havayla tahrik edilen ve karşılıklı olarak çalışan dişli çarklar aracılığı ile elde edilir. Dişli çarklardan biri tahrik mili üzerine takılmıştır. Bu tip hava motoru yüksek güç gereksinimi (44 kW) olan yerlerde kullanılır. Düz ve helisel dişli tipleri kullanılabilir. Dişlilere etki eden yüksek basınçtaki akışkan, dişlilerin yüzeyine etki ederek bir çevresel kuvvet doğurur. Bu kuvvetle dişlilerin yarıçapını çarptığımızda milin dönmesini sağlayan döndürme momenti elde edilir (8).

Türbin tipi hava motorları, eksenel kompresörlerin, tersine çalışmaları durumunda ki çalışma ilkesine benzer. Türbin tipi motorlar sadece küçük güçlere gereksinim olan yerlerde kullanırlar. Devir sayıları oldukça yüksektir (10).

Paletli (Kanatlı) hava motorları, basit yapıda olmaları ve daha düşük ağırlıkta olmaları nedeniyle tercih edilirler. Döner pnömatik tahrik elemanı olarak genellikle kayar kanatlı hava motorları kullanılır. Silindir şeklindeki bir hacme döner bir göbek merkezden kaçık olarak yerleştirilmiştir. Döner mil üzerinde bulunan yuvalara kanatlar takılmıştır. Motorun çalışması sırasında kanatlar merkezkaç kuvvetinin etkisiyle silindirik hacmin iç çeperine doğru itilirler. Bu itme kuvveti nedeniyle kanatlar arasındaki sızdırmazlık sağlanır. Kanatlı motorlarda tork, tahrik milinin rotor kavramasındaki yivlere girip çıkan dikdörtgen kanatlar üzerinde etkin olan basınçlandırılmış akışkan sayesinde sağlanmaktadır. Torku palet sayısı, palet yüzey alanı, ve rotor yarıçapı belirler. Bu tip motorların devir sayısı 3000 ile 8500 d/d arasında değişir. Sağa veya sola dönebilirler. Güçleri 0.1-17 kW arasındadır (10).

Salınım motorları, sınırlı bir hareket aralığına (270°) sahip döner motorlardır. Damperlerin hareket ettirilmesinde veya büyük valflerin kontrolünde ihtiyaç duyulur (16). İçi boş milli salınımlı motorlar, döndürme momentlerini sınırlı bir açı altında elde ederler.

Kremayer dişli piston ekseninde bulunan pinyon dişlisi ile kavramış durumdadır. Pistonun bir yüzeyine gelen darbe, pistonu kaydırır ve beraberinde dişliyi döndürür. Tahrik mili üzerinden alınan döndürme momenti, işletme basıncına bağlıdır. Salınımlı motorun döndürme hızı ise sisteme giren akışkanın debisine bağlıdır. Bu motorlarda maksimum döndürme momentinin elde edilmesi salınım açısına bağlıdır. Gemilerde ve iş makinelerinde kullanılır. Salınım açısı 180° ye kadar değişebilir.

Pnömatik motorlarının avantajları;

-Yapıları küçük, hafif ve az yer kaplarlar

-Patlamaya karşı emniyetlidirler.

-Pnömatik enerji üretiminde kullanılan hava, atmosferde sınırsızdır.

-Hava temizdir, meydana gelecek sızıntılar çevreyi kirletmez ve pislik yapmaz.

-Kolay harekete geçer.

-Sınırsız ve kademesiz hız (devir) ayarı yapılabilir.

-Hareket devam ederken dairesel hareketin hızı azaltılıp yükseltilebilir.

-Yüksek hızlarda çalışabilirler.

-Döndürme momenti ayarı mümkündür.

-Pompanın debisi azaltılarak dinamik fren yapılabilir.

-Hareket devam ederken dönüş yönü istenildiği zaman tersine çevrilebilir.

-Aşırı ve ani yüklenmelere karşı güvenlidirler.

-Pnömatik motorlar, düşük devirlerde yüksek döndürme momenti sağlarlar. Devir arttıkça döndürme momenti azalır. Pnömatik motorun büyük kuvvetler karşısında durması veya geriye dönmesi motora hiçbir zarar vermez.

-Rotary tiplerin de bunlara ek olarak; subaplar ve onların zamanlamasını yapan kam mili olmadığı için sürtünme kayıpları azaltılmıştır (5,8,10).

Pnömatik motorlarının dezavantajları;

- Egsoz yapılan gaz atmosfere atıldığı için hava sarfiyatı fazla olur

- Hava sıkıştırılabilir olduğu için kuvvetler, belli miktarların üzerine çıkmakta zorlanabilir.

- Hava sıkışabilir olduğu için pnömatik pompa ve motorların hızının sabit kalmasında zorluk yaşanabilir.

3. MATERYAL VE METOD

Pnömatik motorun imalatı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv ve Talaşlı Üretim Anabilim Dalı atölyelerinde yapılmıştır. Motorun imalatında torna, freze, matkap gibi temel talaş kaldırma makinelerinin yanında silindirik taşlama, honlama gibi özel makineler kullanılmıştır.

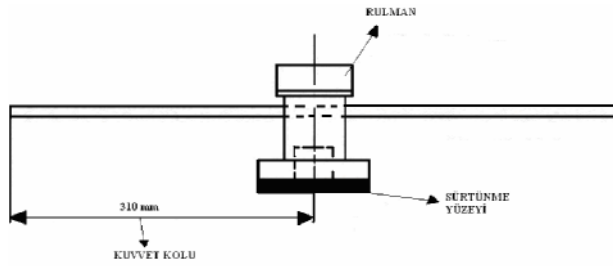
3.1. Deney Yeri

Deneyler; Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney düzeneği Resim 1' de verilmiştir.



Resim 1 Deney düzeneğinin genel görünüşü

Deneyleerde, kompresör, takometre, manometre, akış dağıtıcı, dijital terazi ve motor torku ölçme aparatı kullanılmıştır. Bu aparatın volana basan yüzeyi balatalı yapılmıştır. Yükleme yapılan yerde rulman kullanılmıştır. Kuvvet kolu uzunluğu 310 mm'dir (Şekil 1). Ölçüm sonucunda teraziye etki eden kuvvet ile kuvvet kolu çarpılarak motor momenti belirlenmiş ve değişik devirler için motor momenti hesaplanmıştır.



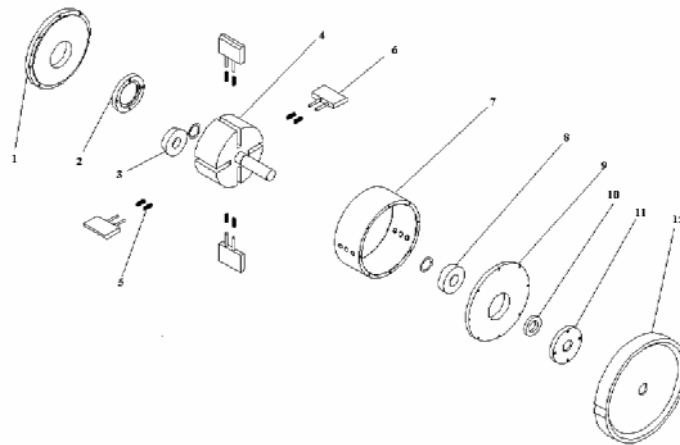
Şekil 1. Motor torku ölçme aparatı

3.2. İmalatı Yapılan Motor Parçaları

İmalatı yapılan paletli tip pnömatik motorun demontajı Şekil 2'de görülmektedir. Motorun temel parçalarını oluşturan; rotor, gövde, paletler, büyük kapaklar, küçük kapaklara, ait imalat özellikleri ve şematik resimler aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

Rotor, üzerinde dört adet 50 mm derinliğinde, 12,5 mm genişliğinde ve 74mm uzunluğunda kanallara sahip olup Ç1060'dan yapılmıştır. Rotor gövde içerisine 12,5 mm merkezden kaçık olarak yerleştirilmiştir. Paletler, rotor üzerine açılmış kanalları içerisine alıştırılmıştır. Paletler boyutları 74x50x12,5 mm olan fiber malzemeden imal edilmiş, uç kısmına verilen profil sayesinde kanatların sürtünme yüzeyleri azaltılmıştır. Gövde üzerine rotor ve kapaklar montajlanmıştır. Ön ve arka kapak bağlantıları 8'er tane M6 civata ile sağlanmıştır. Giriş ve ilk çıkış portları birbirleri arasında 90° açı olacak şekilde, gövde düşey eksenine 45° er derece açı yapacak şekilde gövde üzerine açılmıştır. Paletler gövdenin iç yüzeyine sürtündüğü için aşınmaları azaltmak, sızdırmazlığı iyileştirmek amacıyla gövde iç yüzeyi taşlanmıştır.

Kapaklar, eksenden kaçık olan rotora yataklık etmektedir. Sürtünmeleri azaltmak için rotor, rulmanlar üzerinde askıya alınmıştır. Rulman yatakları, eksenden 12,5 mm kaçıklıkta ve rulmanın dış çapı 72mm dir. Kaçıkları azaltmak için gövde ve kapak arasına film conta konulmuştur. Motor çalışırken kasıntı yapmaması için rotorun uçlarından birinde oynak rulman kullanılmıştır. Rotorun ve paletlerin büyük kapaklar ile olan boşluk ayarları, küçük kapakların altına ilave edilebilen şimlerle sağlanmaktadır. Çıkış mili çevresinden hava sızdırmazlığını sağlamak amacı ile kapak içerisine keçe monte edilmiştir.



1. Büyük alt kapak (konik rulmanlı)
2. Küçük kapak (konik rulmanlı)
3. Konik rulman
4. Rotor
5. Yayılar
6. Paletler

7. Gövde
8. Kapalı düz rulman
9. Büyük kapak
10. Keçe
11. Küçük kapak
12. Volan

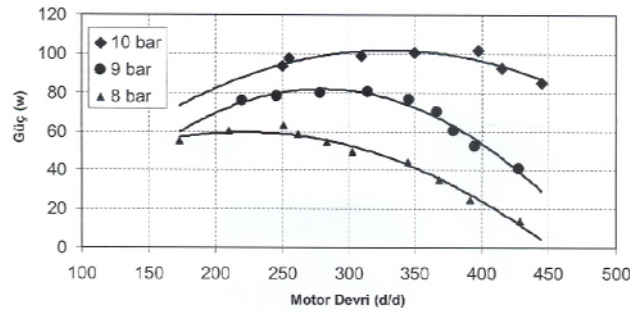
Şekil 2. İmalatı yapılan pnömatik motorun demontaj resmi

Volan, motor çıkış miline yarık konik sekman ile sabitlenmiştir. Deney aşamasında, tork ölçme aparatının balata yüzeyine sürtünme alanı oluşturmakta ve üzerindeki çentikten ise dijital takometre sinyal olarak motor devrini okunmaktadır.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

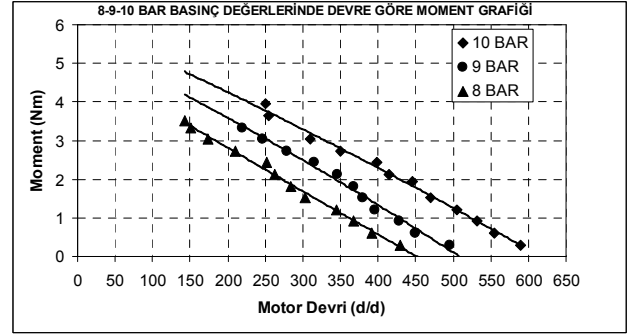
Tork ölçümü, tork aparatının volana oturan yüzeyindeki balata vasıtasıyla sürekli yüklemeye şeklinde yapılmıştır. Sürekli artan yüklemeye esnasında motor devri giderek düşmüştür. Değişik devirlerde tork değerleri ölçülmüş ve güç değerleri hesaplanmıştır. Ölçüm değerleri her nokta için üç değerlerin ortalaması alınarak tespit edilmiştir.

Şekil 2 'de farklı hava basınçlarında motor gücünün motor devri ile değişimi görülmektedir. Basınç arttıkça güç artmaktadır. Gücün düşük olmasının sebebi imalattan kaynaklanan hava kaçaklarının fazla olmasıdır. Güç sırası ile; 8 bar hava basıncında 250 d/d'da 63,95 Watt, 9 bar hava basıncında 250 d/d'da 78 Watt, 10 bar hava basıncında 250 d/d'da 97,45 Watt olarak ölçülmüştür. En yüksek motor gücü 10 bar hava basıncında 400 d/d' da 101,4 Watt olarak tespit edilmiştir. Bu devirlerden sonra gücün azalması hava kaçaklarının ve sürtünme kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. Farklı hava basınçlarında motor gücünün motor devri ile değişimi

Şekil 3'de farklı hava basınçlarında motor momentinin motor devri ile değişimi görülmektedir. Basınç arttıkça motor momenti artış göstermektedir. Motor momenti yaklaşık 250 d/d' da 8 bar hava basıncı için 2,43 Nm, 9 bar hava basıncı için 3,04 Nm ve 10 bar hava basıncı için 3,65 Nm dir. En yüksek motor momenti ise 10 bar hava basıncında 3,95 Nm dir. Motor yüksüz durumda iken en yüksek devri 1300 d/d olarak tespit edilmiştir. Fakat bu noktadan sonra artmamaktadır. Bu durum imalattaki temas yüzey boşluklarının fazla olmasından ve devir arttıkça sürtünme kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır. 150 d/d'dan düşük devirler için kararlı bir ölçme yapılamamıştır.



Şekil 3. Farklı hava basınçlarında motor momentinin motor devri ile değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan prototip motorda 10 bar basınçta 400 d/d motor hızında 101,4 Watt güç elde edilmiştir. En yüksek motor momenti ise aynı basınç için 3,95 Nm olmuştur. Basınç arttıkça motor gücü ve motor momentinin arttığı fakat bir devirden sonra basınç kayıpları ve sürtünme etkisiyle gücün azaldığı tespit edilmiştir. Gücün azalması imalattaki sürtünme yüzeyleri arasındaki sızdırmazlığın yeterince sağlanamamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Motordan kaynaklanan eksoz emisyonları hava ve kısmi yağ buharı olmaktadır.

İmal edilen motorun kaçaklarının azaltılması ile daha yüksek motor gücü elde edileceği görülmektedir. Boyutlarının artırılması ve daha yüksek motor gücü için daha kaliteli malzeme, hassas işleme ve rotordaki kanat sayısının artırılması gerekmektedir.

Özellikle doğal kaynaklarımızdan depolanamayan enerji türlerinin basınçlı hava üretimi ile depolanabilir hale getirilmesi bu tip motorların yaygınlaşmasını sağlayabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Çetinkaya, S., "Taşıt mekaniği", Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 10-20 (1995)
2. Yüce, A., "Günümüzde otomotiv teknolojisi", Panel Matbaacılık Ltd. Şti., İstanbul, 5-89 (1997)
3. İstanbul ticaret odası, "Rüzgar enerjisi", Su Matbaacılık Ltd. Şti., İstanbul, 15-33 (2001)
4. Bükecik, C., "Alternatif enerji kaynakları ve Türkiye'de kullanılabilirliği", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-50 (2002)
5. Demirtaş., F., "Hidrolik ve pnömatik", Yıldız Ofset Matbaacılık, Ankara, 60-78 (1988)
6. Yavuz, T., Özkılıç, S., "Hidrostatik Pompa ve Motor Karak teristiklerinin Analizi", I. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, 4 - 8 (1985)
7. Özsoylev, T., "İş makinelerinde hidrolik", Maya Basın Yayın Ltd. Şti., İstanbul, 30-69 (1997)

8. Karacan, İ., "Hidrolik ve pnömatik", *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 68-159 (2000)
9. Karacan, İ., "Pnömatik kontrol", *Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, Ankara, 20-56 (1984)
10. Croser, P., "Pnömatik", *Ürün Ajans ve Mat. San. Tic. A.Ş.*, İstanbul, 111-145 (1990)
11. Dickenson, C., "Pumping machinery", *Elvesier Advanced Techonology, Oxford*, 20-28(1992)
12. Erkilet, M., "Hidrostatik pompa ve motor performansının teorik ve deneysel analizi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 5-89 (1992)
13. Toptancı, E., "Tek paletli mekanik sistemin vakum pompası olarak geliştirilmesi ve sanayide kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 6-80 (1995)
14. Özumar, L., "Palet ağırlığının pompa performansına etkisinin analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 50-72 (2001)
15. Jan, P., "The wankel engine", *Philadelphia New york*, 5-74(1971)
16. Parr, A., "Hydraulics and pneumatics", Adnan Süer, *Bileşim Yayıncılık A.Ş.*, İstanbul, 67-99 (2004)
17. Küçük, M., "Hidrolik pnömatik" *M.E.B.*, İstanbul, 23-56 (2003)