



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (2): 37-45 (2012)

Derleme Makale / Review Paper

Altı Zamanlı, Pistonlu İçten Yanmalı Motorlar

Emre Arabacı

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojisi Programı,
Bucak, Burdur

Geliş Tarihi (Received): 03.07.2012, Kabul Tarihi (Accepted): 18.12.2012

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): earabaci@mehmetakif.edu.tr (E. Arabacı)*

☎ 0 248 325 99 00 📠 0 248 325 99 00

ÖZET

Altı zamanlı motor çevrimi, dört ve iki zamanlı motor çevrimine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu fikir ilk olarak 1920 yılında Dyer tarafından ortaya atılmıştır. O günün şartlarında altı zamanlı motorların uygulanabilirliği konusunda teknolojik sıkıntılarının olmasından dolayı günümüzde profesyonel olarak çalışılmamış bir konudur. Derleme kapsamında, altı zamanlı motorlar hakkında geniş bir literatür taraması yapılmış, çalışma prensibi açıklanmış ve tasarım parametreleri tartışılmıştır. Dört zamanlı motorlar üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak yüksek ısıl verimli ve ekonomik altı zamanlı motorlara dönüştürülebileceği sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altı zamanlı, egzoz ısı geri kazanımı, direkt su enjeksiyonu, içten yanmalı

Six-Stroke, Reciprocating Internal Combustion Engines

ABSTRACT

Six-stroke engine cycle was developed as an alternative to four-and two-stroke engine cycle. This idea was first discussed by Dyer in 1920. Due to the technological difficulties in the applicability of six-stroke engines in those years, six-stroke engines were not studied in detail, and should be studied professionally today. In this study, extensive literature review was conducted, and design parameters were reported on the six-stroke engines. Four-stroke engines can be converted to highly efficient and economical six-stroke engines with the vital changes.

Key Words: Six-stroke, exhaust heat recovery, direct water injection, internal combustion

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların yaygın olarak kullanıldığı alan şüphesiz ulaşım taşıtlarıdır. Taşıtlar sağladığı birçok avantajın yanında birçok problemin de başlıca kaynaklarından biri haline gelmektedir. Nüfusun artması, teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçların gelişmesiyle birlikte taşıt sayısı da her geçen gün artmaktadır (TUİK, 2010).

Taşıtlardan kaynaklanan en büyük problemlerden birisi fosil türevi yakıtlar ile çalışan taşıtlardan kaynaklanan

hava kirliliğidir. Bu konu ile ilgili büyük dünya ülkelerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Temel olarak üç yol haritası belirlenmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Sofuğlu,2002; Arabacı, 2007).

- Fosil türevi yakıtların kullanıldığı mevcut içten yanmalı motorlar için temiz ve alternatif yakıtların geliştirilmesi.
- Fosil türevi yakıtların kullanıldığı mevcut içten yanmalı motorlara alternatif güç dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesi.

- Fosil türevi yakıtların kullanıldığı mevcut içten yanmalı motorların geliştirilmesi.

Hibrid ve elektrikli taşıtlar konusundaki araştırma-geliştirme çalışmaları oldukça popüler bir hal almıştır. Hatta büyük otomotiv devleri de bu konu ile ilgili oldukça başarılı çalışmalara imza atmaktadır. Ancak mevcut alt yapı durumu nedeniyle fosil türevi yakıtların kullanılmasına rağmen içten yanmalı motorlardan vazgeçmek kolay olmayacaktır. Bu nedenle daha çevreci, daha güçlü, daha ekonomik içten yanmalı motorların geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar da büyük bir hızla devam etmektedir (TUİK, 2010; Arabacı, 2007).

Pistonlu, içten yanmalı motorlar çalışma çevrimlerine göre iki ve dört zamanlı motorlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Crower, 2011; Bajulaz 2011). İki ve dört zamanlı motorlara ek olarak 1920 yılında altı zamanlı motor düşüncesi ortaya atılmıştır. Termik motorlar konusunda özellikle hava taşıtlarında kullanılan sürekli akışlı gaz türbinleri bu tarihlere ortaya çıkmış olması ve altı zamanlı motorları dört zamanlı motorların üzerinde yapılan daha karmaşık bir yapısı olması nedeniyle, altı zamanlı motor kavramı o dönemde ve daha sonrasında kabul görmemiştir. Dört zamanlı motorlardan sonra 1876 yılında basit yapılı iki zamanlı motorun icadı, 1920'li yıllara denk gelseydi, belki de iki zamanlı motor tasarımı günümüzdeki önemini kazanamayacaktı. Bununla birlikte 1920'yılı ve sonrasında termik motorlarla ilgili çalışmalar büyük bir hızla devam etmiş ve termik motorları ilgilendiren binlerce çeşitli ülkelerdeki patent ofisleri tarafından patent başvurusu kabul edilmiştir (Pullkrabek, 2004; USPTO, 2012; Dyer, 1920).

Teknolojik değişime farklı bir çerçeveden bakıldığında günümüzde kullandığımız birçok motor teknolojisinin başlangıcı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Örnek olarak buji ateşlemeli motorlardaki ilk direkt benzin püskürtme sistemi 1925 yılında kullanılmıştır. Günümüzde ise buji ateşlemeli motorlarda direkt enjeksiyon sistemi uygulaması çok yeni bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Yine aynı şekilde otomotiv tarihinde ilk elektrikli taşıt 1835 yılında yapılmış olmasına rağmen, elektrikli taşıtlarla ilgili asıl gelişmeler son yıllarda gerçekleşmiştir (Basshuysen, 2004).

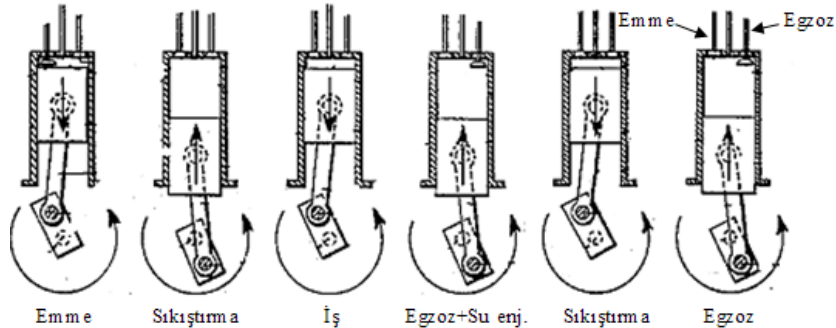
Altı zamanlı motorlarla ilgili kapsamlı çalışmalar 1920 yılında başlamış olmasına rağmen o gün için ihtiyaç duyulmaması ve yapısal değişikliklerden dolayı günümüze kadar kayda değer bir bilimsel nitelikte çalışma yapılmamıştır. Altı zamanlı motorlar ile ilgili ilk çalışma, Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı'nın (ORNL) 2010 yılı çalışma konuları arasında yer almaktadır (USDOE, 2010).

2. ALTI ZAMANLI MOTORLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Altı zamanlı motorlar genel olarak dört zamanlı içten yanmalı motor konsepti üzerine kurulmuş bir yapıya sahiptir ve günümüz iki ve dört zamanlı motorlara alternatif bir enerji dönüştürücü olarak düşünülmektedir. Genel yapı itibarıyla daha verimli ve kirlenici emisyonları daha düzenli motorlardır. Altı zamanlı motorlarla ilgili iki tür yaklaşım mevcuttur (USPTO, 2012, Szybist 2010, Bajulaz, 1985).

- Otto ve Diesel çevrim esasına göre çalışan motorlardaki atık ısının aynı silindir içerisinde kullanılması. Buhar veya havanın genişletilip ikinci bir egzoz zamanının oluşması prensibine dayanmaktadır. Her yakıt girişi için üç krank turuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bir çevrimde iki güç zamanı meydana gelmektedir.
- Her silindir için karşıt bir piston kullanılması. İkinci piston, klasik supap mekanizması yerine kullanılmaktadır.

Altı zamanlı motorların çalışma sistemini anlatan ilk çalışma Dyer'in 1920 tarihli patentidir. Dyer bu çalışmada atık ısının kullanılarak verimin geliştirilebileceğinden, motordaki egzoz gazı atımının iyileştirilebileceğinden ve soğutma sisteminin basitleştirilebileceğinden söz etmiştir (Dyer, 1920). Dyer'in bu çalışması, içten yanmalı motorlardaki dört zamana ek olarak beşinci ve altıncı zaman kavramlarının söz edildiği ilk patenttir. Patente kısaca egzoz zamanı sonrası su enjeksiyonunun yapılmasından ve sıvı fazdaki suyun silindir içerisinde buhar fazına geçmesiyle silindir içerisinde bir miktar basınç artışının olacağından ve bu artış etkisiyle ek bir iş zamanı meydana geleceğinden söz edilmektedir. Dyer'in çalışması altı zamanlı motorlarla ilgili oluşturulan yaklaşımların temel kaynağıdır.



Şekil 1. Dyer'in altı zamanlı motor çevrimi konsepti (Dyer, 1920).

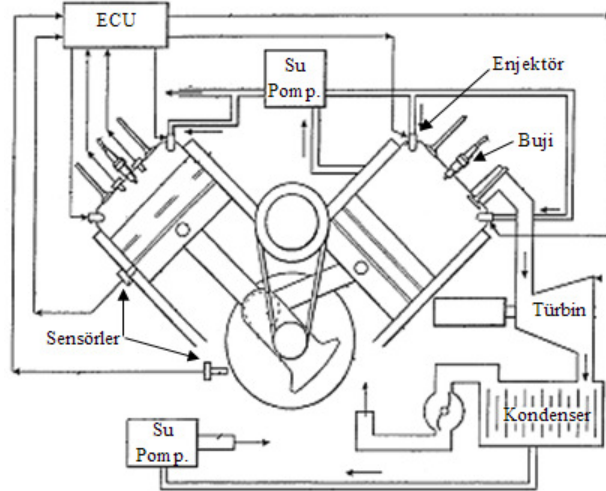
Dyer'in patent çalışmasının ardından altı zamanlı motorlarla ilgili; 1921 yılında Cage, üç fazlı altı zamanlı motorlar üzerine (Cage, 1921), 1940 yılında Rudd, Diesel bir motorun çeşitli modifikasyonlarla altı zamanlı motora dönüştürülmesi üzerine (Rudd,1937) ve 1947 yılında Kroyer, Benzinli bir motorun veriminin artırılmasına yönelik altı zamanlı motorlar üzerine (Kroyer, 1942) patent çalışmalarında bulunmuşlardır.

1970'li yıllarda altı zamanlı motorlarla ilgili tasarımlar daha karmaşık hale gelmiştir. 1975 yılında Melby aşırı doldurmalı altı zamanlı motorlar üzerine bir patent çalışması yapmıştır (Melby, 1975). Melby'nin çalışmasının ardından 1976 yılında Tibbs, altı zamanlı motorlarda sıvının buharlaştırılması işleminden söz ettiği bir patent çalışması yapmıştır (Tibbs, 1976). 1981 yılında Ward, altı zamanlı motorlar üzerine yaptığı patent çalışmasında emme ve egzoz supaplarına ek olarak üçüncü bir supap ve bu supaba ait mekanizma görülmektedir (Ward, 1986). 1984 yılında Hallstrom, içten yanmalı motor ve buhar makinesinin kombinasyonu ile ilgili bir patent çalışması yapmıştır

(Hallstrom, 1984). 1988 yılında Larsen, altı zamanlı motorlarda değişken supap zamanlaması ile ilgili bir patent çalışması yapmıştır (Larsen, 1988). Tüm bu çalışmaları Bajulas, Schmitz ve Ogura'nın patent çalışmaları takip etmektedir (Schmitz, 1990; Ogura, 1990).

1997 yılında Beare, patentinde altı zamanlı motorlarla ilgili farklı bir yaklaşım ortaya atmıştır. Birincil piston güç pistonu olarak adlandırılmaktadır. İkincil piston ise klasik supap mekanizmasının yerine kullanılmaktadır. Beare'nin bu tasarımı altı zamanlı motorlarla ilgili ikinci yaklaşımın temelini oluşturmaktadır (Beare, 1997).

2001 yılında Singh, altı zamanlı içten yanmalı motor için bilgisayar kontrol metodunu açıklayıcı bir patent çalışmasında bulunmuştur. Bu çalışmada su enjektörler i bilgisayar kontrollü olarak gösterilmektedir. Singh'in bu çalışmasında altı zamanlı motorlardan değil, altı zamanlı motorların yönetiminden bahsetmiştir (Singh, 2001, Singh, 2006).



Şekil 2. Altı zamanlı motorların bilgisayar kontrolü (Singh, 2001)

2004 yılında Ziabazmi, altı zamanlı motorlar ve supap mekanizması hakkında bir patent çalışması yapmıştır. Bu çalışmada altı zamanlı motor için gerekli kam profilleri ayrıntılı olarak incelenmiştir (Ziabazmi,2004).

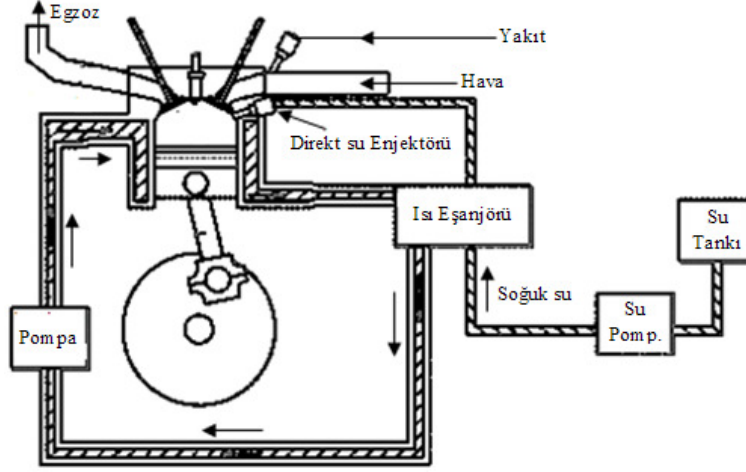
2006 yılında Hu, patentinde, çift altı zamanlı içten yanmalı motordan bahsetmiştir. Ayrıca bu çalışmada serbest soğutma sisteminden de söz edilmiştir (Hu, 2006).

2009 yılında Singh, patentinde atık ısı enerjisinin içten yanmalı motorlarda faydalı olarak kullanılmasıyla ilgili metottan söz etmektedir. Bu çalışmada altı zamanlı motorlarda iki iş zamanının oluştuğu ve bu iş zamanlarının bir tanesi egzoz gazlarının ısı enerjisinden faydalandığından bahsedilmektedir (Singh, 2009).

2009 yılında Bonner altı zamanlı motorlardaki su enjeksiyon süreci yerine silindir içerisine sıkıştırılmış hava yollanmasından söz etmektedir. Su enjeksiyonu

yerine sıkıştırılmış havanın yollanması için silindir başına dört supap kullanılan bir tasarım oluşturulmuştur. 2010 yılında ise Bonner'in çalışma mantığında benzer olarak Kelem altı zamanlı motor konseptinde su enjeksiyonu veya sıkıştırılmış hava kullanılan zaman yerine serbest zaman kavramını ortaya atmıştır. Kelem'in bu tasarımında emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanlarından sonra ek olarak iki serbest zaman gerçekleşmektedir (Bonner, 2009; Kelem, 2010).

Szybist, 2010 yılında Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'na bağlı Oak Ridge Ulusal laboratuvarı'nda yüksek verimli altı zamanlı bir motor üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır. Konu ile ilgili Szybist'in 2010 yılına ait bir patent çalışması da mevcuttur. Bu çalışmada su enjeksiyonu ile yüksek verimli altı zamanlı motorun çalışma yapısından söz edilmektedir (Szybist, 2010; Conklin, 2010). Szybist çalışmasında su enjeksiyon sistemi ve soğutma sisteminin bütünleşik bir biçimde çalıştırılmasına da patentinde yer vermiştir.



Şekil 3. Szybist'in altı zamanlı motor çalışma konsepti (Szybist, 2010)

3. SU ENJEKSİYONLU ALTI ZAMANLI MOTORLARIN DÖRT ZAMANLI MOTORLARDAN FARKLILIKLARI

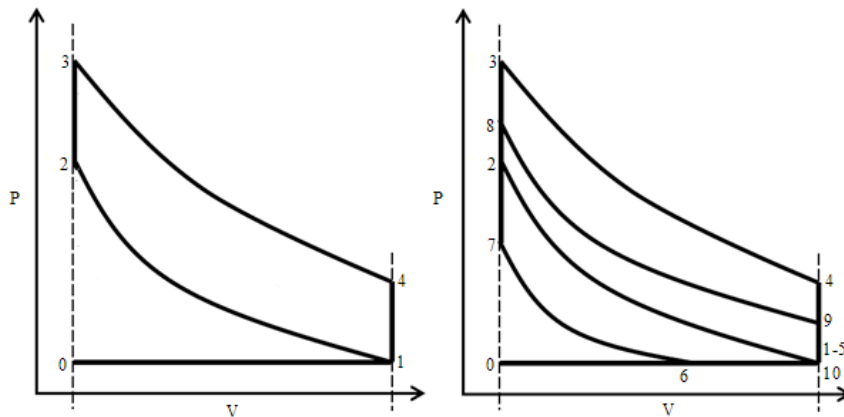
Altı zamanlı motorlardaki farklılıklar, Otto ve Diesel çevrim esasına göre çalışan motorlardaki atık ısının aynı silindir içerisinde kullanılması prensibine dayalı olarak tartışılacaktır.

İlk içten yanmalı motorun yapılmasından günümüze kadar birçok enerji dönüşüm sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Altı zamanlı motor düşüncesi de bu alternatif enerji dönüşüm sistemlerinden bir tanesidir. Altı zamanlı motor kavramı özellikle pistonlu motorlarda kullanılan iki ve dört zamanlı motorlara alternatif bir enerji dönüşüm sistemi olması muhtemel bir düşüncedir. Altı zamanlı motorlardaki temel düşünce, atık ısının tekrar motorda kullanılarak, atık ısının bir kısmının faydalı işe dönüştürülmesidir.

Altı zamanlı motorlar çevrimsel olarak iki ve dört zamanlı motorlarla karşılaştırıldığında çevrimin meydana gelmesi için gerekli krank turu sayısı değişiklik göstermektedir. İki zamanlı motorlarda çevrim bir krank turunda meydana gelirken, dört zamanlı motorlarda iki krank

turuna ihtiyaç vardır. Altı zamanlı motorlarda ise her bir çevrimin meydana gelmesi için üç krank turu gerekmektedir. Dört zamanlı motorlarda emme, sıkıştırma, iş ve egzoz olmak üzere dört zaman meydana gelmektedir. Altı zamanlı motorlarda ise emme, sıkıştırma, iş, kısmi egzoz+sıkıştırma, ikinci iş ve egzoz olmak üzere altı zaman meydana gelmektedir (Conklin, 2010).

Altı zamanlı motorlarda meydana gelen ilk üç zaman, dört zamanlı motorlardaki ilk üç zamanla aynıdır. Dört zamanlı motorlarda dördüncü zaman olan egzoz sürecinde tüm egzoz gazlarının dışarıya atıldığı kabul edilmektedir. Altı zamanlı motorlara ise bu süreçte kısmi olarak egzoz zamanı ve ardından kalan egzoz gazlarının tekrar sıkıştırılması işlemi meydana gelmektedir. Belirli bir sıcaklıkta ve basınçta olan egzoz gazlarına bu durumda belirli miktarda su enjekte edilmektedir. Enjekte edilen sıvı fazdaki su, egzoz gazlarının enerjisi etkisiyle buhar fazına geçmekte ve silindir içi basıncı bir miktar artmaktadır. Bu basınç artışından sonra tekrar bir genişleme süreci gerçekleştiği zaman dört zamanlı motorlarda gerçekleşen egzoz zamanında da olduğu gibi bir egzoz süreci gerçekleşmektedir (Szybist, 2010).

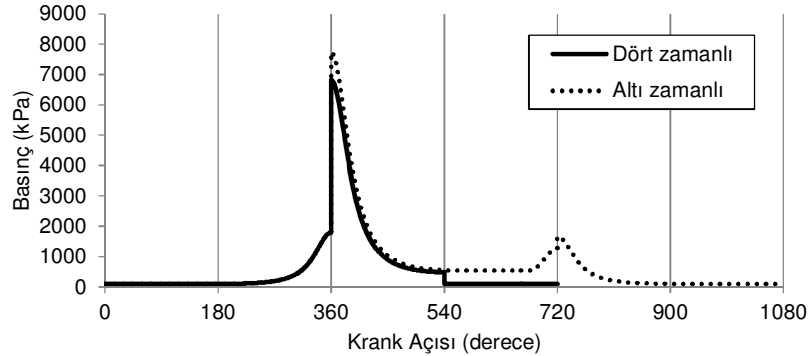


Şekil 4. Dört ve altı zamanlı motor için PV diyagramları

Diyagramlardan da görüldüğü gibi altı zamanlı motorun PV diyagramını incelendiğinde 5-6 noktaları aralığında egzoz süreci gerçekleşmektedir. 6-7 noktaları aralığı ise kalan egzoz gazlarının sıkıştırılması sürecidir. 7-8 noktaları arasında ise su enjeksiyonu yapılarak egzoz gazları ısı enerjisinin suyun buharlaştırılmasında kullanılması ve 8-9 aralığında ikinci bir genişleme süreci meydana gelerek çevrime ek bir iş zamanı kazandırılmaktadır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken durum 8 noktasından 9 noktasına gelindiğinde egzoz gaz karışımı içerisindeki su moleküllerinin buhar fazında kalmasıdır. Egzoz zamanında su moleküllerinin buhar fazında olması istenmektedir. 10-0 aralığı dört zamanlı motorlardaki 4-0 aralığı egzoz süreci ile aynıdır (Conklin, 2010). Genel olarak bir motor için indike güç hesabı aşağıdaki eşitlikteki gibi yapılmaktadır (Arabacı, 2007).

$$N_i = \frac{P_{mi} V_h n}{60i} \quad (1)$$

Burada P_{mi} indike ortalama basıncı, V_h silindir hacmini, n motor hızını ve i ise çevrim katsayısını ifade etmektedir. İki zamanlı motorlarda bir çevrim bir krank turunda gerçekleştiği için i değeri 1, dört zamanlı motorlarda ise bir çevrim iki krank turunda gerçekleştiği için i değeri 2 olmaktadır. Altı zamanlı motorlarda ise i değeri 3/2 olmaktadır. Bunun nedeni altı zamanlı motorlarda çevrim krank milinin üç turunda kaynaklanmasına rağmen bir çevrimde iki iş zamanı meydana gelmesidir.



Şekil 5. Dört ve altı zamanlı motorlara ait krank açısına bağlı olarak silindir içi basıncının değişimi

Şekil 5'te aynı silindir hacmine sahip dört ve altı zamanlı motor için mükemmel gaz varsayımı elde edilen krank açısına bağlı olarak silindir içi basıncı değişimi görülmektedir. Ek iş elde etmek için egzoz ısı geri kazanımı kullanıldığından dolayı bir sonraki çevrim için emme zamanı başlangıcındaki silindir içi sıcaklığı bir miktar azalmaktadır. Böylelikle motorun hacimsel verimi de artmaktadır. Bu nedenle 360 derece krank açısında gösterilen basınç değeri altı zamanlı motorun basınç değeri daha yüksek olmaktadır. Bu durum altı zamanlı motorların dört zamanlı motorlara göre en önemli üstünlüklerinden birisidir.

4. ALTI ZAMANLI MOTOR TASARIM PARAMETRELERİ

Teorik olarak bir motoru tasarlamak kolaydır. Ancak bu motorun uygulanabilir hale getirilmesi için gerçeğe yakın

Altı zamanlı motor için P_{mi} indike ortalama basınç değeri iki iş zamanında elde edilen değerlerin ortalaması olarak değerlendirilmelidir. Buna göre dört zamanlı ve altı zamanlı motor için indike güç değerleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Conklin, 2010).

$$N_{i,4Zaman} = \frac{P_{mi,yanma} V_h n}{120} \quad (2)$$

$$N_{i,6Zaman} = \frac{(P_{mi,yanma} + P_{mi,buhar}) V_h n}{180} \quad (3)$$

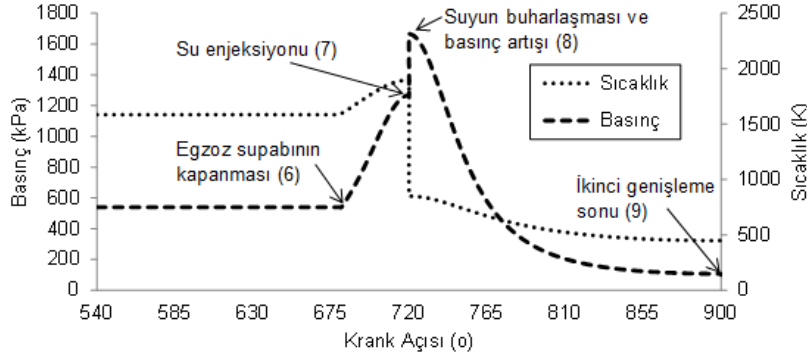
Eşitliklerden de anlaşılacağı gibi aynı hacimli ve aynı özellikli motor için altı zamanlı egzoz ısı yardımıyla suyun buharlaşmasından meydana gelen $P_{mi,buhar}$ indike ortalama basınç değeri yanma ile elde edilen $P_{mi,yanma}$ indike ortalama basınç değerinin yarısından daha düşük değerde olursa altı zamanlı motorun indike güç değeri dört zamanlı motorun indike güç değerinden düşük olacaktır. Motorda değişiklik yapıldığında aynı değerler elde edilmesi için buhar ile elde edilen indike ortalama basınç değeri yanma ile elde edilen indike ortalama basınç değerinin yarısı kadar olmalıdır. Bu durumda buhar ile elde edilen indike ortalama basınç değeri yakıt harcanmadan yalnızca atık egzoz enerjisinden faydalanılarak elde edildiğinden dolayı hiçbir hesaplama yapmadan altı zamanlı motorun ısı veriminden dört zamanlı motorun ısı veriminden daha fazla olacağı sonucuna varılabilmektedir.

tasarım parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Gerçek motor tasarımlarına ve altı zamanlı motorlarla ilgili patentler incelendiğinde tasarım için gerekli sınır parametrelerine ulaşılabilmektedir. İlgili parametreler egzoz ısı geri kazanımlı ve su enjeksiyonlu altı zamanlı bir motor için verilmiştir.

Altı zamanlı motorlarda emme, sıkıştırma ve iş olarak adlandırılan ilk üç zaman ve her iki çevrim için son zaman olan egzoz zamanı aynıdır. Altı zamanlı motorların üçüncü zaman (yakıt yanması ile elde edilen iş zamanı) sonrası başlamaktadır. Dört zamanlı motorlarda egzoz zamanında egzoz supabının açılmasıyla birlikte egzoz gazlarının tamamının dışarıya atılması istenirken, altı zamanlı motorlarda egzoz gazının yaklaşık %20-70 kadarı silindir içerisinde bırakılması ve silindir içerisinde kalan gazların sıkıştırılması istenmektedir. Başka bir ifade ile kısmi

egzoz sonrası sıkıştırma işlemi yapılmak istenmektedir. %20-70 aralığı belirgin olmayan geniş bir aralık olmasına rağmen motorun çalışma koşulu, kullanım alanı ve kullanılan yakıt türüne bağlı olarak değiştiği göz önünde bulundurulmuştur. Silindir içerisindeki gazların dışarıya atılma süresi krank açısına göre ifade edildiğinde 20-120° krank açısına denk gelmektedir.

Dışarıya atılması istenen yanma ürünlerinin kısa sürede atılması, kalan egzoz gazlarının sıkıştırılması için gerekli açılal süreyi, başka bir ifade ile egzoz gazlarının sıkıştırılma oranının etkileyeceğinden dolayı daha avantajlı bir durum oluşturacaktır. Kısmi egzoz zamanlamasının optimizasyonu çok önemlidir. İkinci iş zamanı, silindir içerisinde kalan egzoz gazlarındaki enerjiden faydalanarak gerçekleşmektedir (Szybist, 2010; Conklin, 2010).



Şekil 6. Kısmi egzoz işlemi sonrası gerçekleşen silindir içi işlemler (Conklin, 2010)

Şekil 6'daki numaralandırmalar Şekil 4'e göre yapılmıştır. Burada 6-7 noktaları arası kısmi egzoz sonrası silindir içinde kalan egzoz gazlarının sıkıştırıldığı süreçtir. 7 noktasında su enjeksiyonu gerçekleşmektedir ve suyun buharlaşmasıyla birlikte 8 noktasına kadar bir basınç artışı yaşanmaktadır. 8-9 noktaları arasında ikinci genişleme zamanı meydana gelmektedir.

Suyun sıvı fazdan buhar fazına geçebilmesi için belirli miktar enerjiye ihtiyaç vardır. Altı zamanlı motorlarda su enjeksiyonu için gerekli enerjinin tamamı kısmi egzoz işlemi sonrası silindir içerisinde kalan egzoz gazlarının ısısından faydalanılmaktadır. Sıvı suyun enjeksiyonu ve egzoz ısısının suya geçiş işlemlerinin teorik olarak tamamının sabit hacimde gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bununla birlikte silindir içerisine enjekte edilecek suyun sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, silindir içerisinde suyun buharlaşması o kadar kolay olacaktır. Enjekte edilecek su herhangi bir ısıtıcı sisteme ihtiyaç kalmadan motorun soğutma sistemiyle atılan ısıdan faydalanılarak ısıtıldığı kabul edilmektedir. Conklin ve arkadaşları altı zamanlı motorla ilgili yapmış oldukları teorik çalışmada, su enjeksiyon sıcaklığını 100°C olarak kabul etmişlerdir. Yine aynı çalışmada enjekte edilecek suyun sıcaklığı 25°C olduğunda, su sıcaklığı 100°C olduğunda elde edilen performans değerleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık %40 azalma, buna karşın su sıcaklığı 175°C olduğunda performansın %40 artacağından söz edilmektedir.

Suyun buharlaşmasıyla birlikte silindir içerisinde bir miktar basınç artışı meydana gelmektedir. Suyun enjeksiyon başlangıcı için bir miktar avans verilmelidir. Bu avans değeri piston üst ölü noktaya gelmeden yaklaşık 20° krank açısı önce olmalıdır. Bu değer de yine motorun çalışma koşullarına ve kullanılan enjektörün püskürtme kapasitesine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya hareketi ile birlikte ikinci bir iş

zamanı meydana gelmektedir. Bu işlem sonrasında dört zamanlı motorlarda olduğu gibi egzoz zamanı meydana gelmektedir.

Kısmi egzoz sonrasında silindir içerisinde kalan egzoz gazlarının miktarı, sıkıştırma oranı ve su enjeksiyon miktarını belirleyen başka bir parametre; ikinci genişleme süreci sonunda egzoz gazları içerisindeki su moleküllerinin buhar fazında kalmasını sağlamaktır. Egzoz gazlarının su enjeksiyonu ile birlikte aşırı soğutulması ikinci genişleme sonrasında silindiri içerisindeki su moleküllerinin sıvı faza geçmesine neden olacaktır. Ancak suyun sıvı faza geçmemesi için daha az su enjeksiyonu yapılması ile su enjeksiyonu ile birlikte meydana gelen basınç artışının yeterli oranda olmamasına neden olacağından dolayı, ikinci genişleme süreci sonunda silindir içi basıncının atmosfer basıncından daha düşük değerlere düşmesine neden olacaktır.

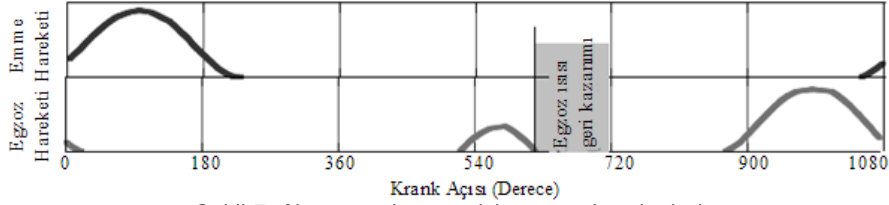
Sonuç olarak altı zamanlı bir motorda yakıt enerjisinin kullanıldığı birinci iş süreci ve atık egzoz gazı enerjisinin kullanıldığı ikinci iş süreci yaşanmaktadır. Egzoz gazlarının dışarıya atılması işlemi 560-660° krank açısı aralığında gerçekleşmektedir. Egzoz supabının kapanmasıyla birlikte egzoz gazları tekrar sıkıştırılmaktadır. Piston üst ölü nokta yakınlarında iken silindir içerisine su enjekte edilmektedir. Bu değer yaklaşık 700-723° krank açısı aralığına denk gelmektedir. 900° krank açısına kadar genişleme işlemi meydana gelmektedir. 900° krank açısından sonra piston üst ölü noktaya gelinceye kadar egzoz zamanı meydana gelmektedir (Szybist, 2010).

5. ALTI ZAMANLI MOTORLARIN DÖRT ZAMANLI MOTORLARA GÖRE YAPISAL FARKLILIKLARI

Dört zamanlı motorlarda kam milinin bir tur dönüşüne karşılık krank mili iki tur dönerken altı zamanlı

motorlarda kam milinin bir tur dönüşüne karşılık krank mili üç tur dönmektedir. Bununla birlikte altı zamanlı

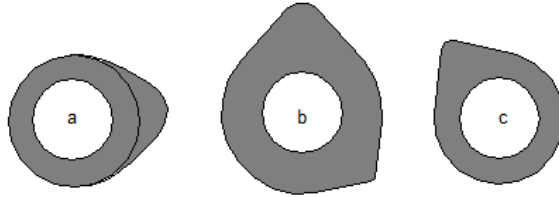
motorlarda her çevrimde egzoz supabı kısmi ve tam olmak üzere iki kez açılmaktadır (USDOE, 2010).



Şekil 7. Altı zamanlı motor için supap hareketleri

Supap ayar diyagramları krank mili açısına göre düzenlenmektedir. Bu açıların kam mili açılara göre değerleri dört zamanlı motorlar için supap ayar diyagramındaki değerlerin yarısı kadardır. Altı zamanlı motorlarda ise bu değerler supap ayar diyagramında

görülen değerlerin üçte biri kadardır. Ayrıca krank mili üzerinde iki lob bulunmak zorundadır. Altı zamanlı motorlar için döngüsel supap uygulaması supap zamanlaması için alternatif yöntemlerden birisidir (Centile, 1982; Duve, 1998).



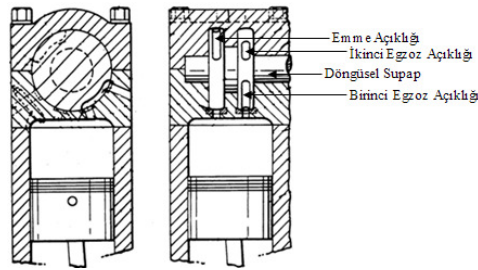
Şekil 8. Altı zamanlı bir motora ait kam profilleri

Şekil 8'de (a) ile gösterilen dört zamanlı bir motora ait egzoz ve emme kam profilidir. Bu dört zamanlı motorun kam profilleri referans alınarak altı zamanlı bir motora ait kam profilleri elde edilmiştir. (b) ve (c) ise sırası ile altı zamanlı bir motora ait egzoz ve emme kamı profilleridir. Burada dikkat edilmesi gereken durum, orijinal (a şekli) kam profili daha yuvarlak bir profile sahip iken, modifiye edilmiş (b ve c şekilleri) kam profilleri daha keskin bir profile sahiptir. Bu profiller elde edilirken; yer değiştirme, hız, ivme ve jerk gibi kam profili elde edilmesindeki parametreler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu nedenle profilin şekli kam profili parametrelerine uygun ise herhangi bir problem meydana getirmemektedir. Altı zamanlı motorlarda profilin elde edileceği açı aralığı düşük olmasına rağmen, altı zamanlı motorların kam mili hızları dört zamanlı motorlara göre yavaş

olduğundan dolayı açı aralığı dezavantajı çok etkilememektedir.

Altı zamanlı motorlar, dört zamanlı motorlara oranla daha soğuk çalışmaktadırlar. Bu nedenle altı zamanlı motorlarda daha basit yapıları soğutma sistemleri yapılabilir. Bununla birlikte egzoz ısı geri kazanımı için altı zamanlı motorlarda kısmi egzoz sonrası su enjeksiyonu yapıldığından dolayı direkt su enjeksiyon sistemine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Motorlarda krank ve kam mili arasındaki bağlantı çeşitli yöntemlerle sağlanabilmektedir. Altı zamanlı motorlarda da bu yöntemlerden herhangi biri kullanılabilir. Ancak dört zamanlı motorlardan farklı olarak krank ve kam mili dişli (veya kasnak) oranı iki yerine üç olmalıdır.



Şekil 9. Altı zamanlı motor için döngüsel supap uygulaması örneği (Centile, 1982)

Şekil 9'da konvansiyonel supap sistemlerine alternatif olarak kullanılacak döngüsel supap sistemi gösterilmektedir. Döngüsel supapların termik motorlarda kullanılma çalışmaları günümüzde de devam etmektedir. Bu tür supap sistemlerinde kam profili yerine, bir silindir üzerine konumlandırılan kanallar kullanıldığından dolayı tasarım oldukça basit bir hal almaktadır. Konvansiyonel

supap sistemine başka bir alternatif olarak elektromanyetik supap sistemleri de geliştirilmektedir.

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada altı zamanlı motorların, dört zamanlı motorlara bir alternatif model olup olmayacağı

sorusuna cevap verilmek istenmiştir. Yapılan çalışmada altı zamanlı motorların çeşitleri ve altı zamanlı motorların tarihsel gelişimi incelenmiştir. Altı zamanlı motorlar endüstriyel olarak kullanılmamaktadır. Ancak altı zamanlı motorlar üzerine 1920 yılında günümüze kadar yüzlerce patent çalışması yapılmıştır. Bununla birlikte Beare, Crower, Bajulaz ve Griffin gibi kişiler atölyelerinde altı zamanlı motorlar üzerine prototip çalışmalar yapmışlardır.

Araştırmalarda genel olarak su enjeksiyonu ile egzoz ısı geri kazanımının yapıldığı altı zamanlı motorlara yoğunlaşmıştır. Bu tip altı zamanlı motorların dört zamanlı motorlara göre termodinamik farklılıkları ve altı zamanlı motorların genel tasarım parametreleri tartışılmıştır. Ayrıca altı zamanlı motorların dört zamanlı motorlara göre yapısal farklılıkları tartışılmış ve çeşitli alternatifler sunulmuştur. Çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Altı zamanlı motorlar yapı bakımından incelendiğinde dört zamanlı motor yapısı üzerine kurulmuş motorlardır.
- Altı zamanlı motorlar egzoz atık ısısının tekrar motor içerisinde kullanılıp faydalı işe dönüştürüldüğünden termik olarak dört zamanlı motorlara göre daha yüksek hacimsel ve termik verime sahiptirler.
- Çevrim nedeniyle altı zamanlı motorlar dört zamanlı motorlara göre daha soğuk çalıştıklarından dolayı, altı zamanlı motorlar dört zamanlı motorlara göre daha basit yapıya soğutma sistemine ihtiyaç duymaktadırlar.
- Altı zamanlı motorlar dört zamanlı motor yapısı üzerine kurulduğundan dolayı mevcut altyapı imkanlarından dolayı dört zamanlı motorlara güçlü bir alternatiftir.
- Günümüz motor tasarımlarında, küçük hacim, yüksek güç, düşük yakıt tüketimi ve çevrecilik kriterleri ön plandadır. Altı zamanlı motorlar da bu kriterleri sağlayabilecek şekilde geliştirilebilir ve düzenlenebilir.

Sonuç olarak altı zamanlı motorlar her ne kadar 80 yılı aşkın bir süredir kullanım alanı bulamamış olmasına rağmen, dört zamanlı motorlara göre avantajları bakımından yakın gelecekte dört zamanlı motorların yerine kullanılabilir alternatif bir motor olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte atık ısı enerjisinin bir kısmının motorda tekrar işe dönüştürülmesi yakıt tüketimini ve enerji verimliliğini de beraberinde getirmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Arabacı, E., (2007). Turbo Döngüsel Bir Motorun Performansının Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-15.
- Bajulaz Six Stroke Engine (2011). http://www.bajulazsa.com/Site/sixstroke_explanations.html
- Bajulaz, R. (1989). Internal Combustion Engine, USPTO 4809511, Chambesy.

- Bajulaz, R., (1985). Method for the Transformation of Thermal Energy into Mechanical Energy by Means of a Combustion Engine as well as this New Engine USPTO 4513568, Santa Barbara.
- Basshuysen, R., (2004). Internal Combustion Engine Handbook, Ch 1, SAE International.
- Beare, M., (1998). Dual Piston Internal Combustion Engine, USPTO 5713314, Bordertown.
- Bruce Crower Engine (2011). <http://www.autoweek.com/article/20060227/free/302270007>.
- Cage, J., (1921). Six Stroke Three Phase Engine, USPTO 1367797, Newyork.
- Coates, G., (1991). Internal Combustion Engine, USPTO, 4989576, Belgrad.
- Conklin, J., Szybist, J., (2010). "A Highly Efficient Six Stroke Internal Combustion Engine Cycle with Water injection for in-Cylinder Exhaust Heat Recovery", Journal of Energy, Knoxville, 1658-1664.
- Duve, D., (1998). Rotary Valve Drive Mechanism, USPTO 5711265, Aurora.
- Dyer, L., (1920). Internal Combustion Engine, USPTO, 1339176, Greenwich,
- Gentile, C., (1982). Rotary Valve for Internal Combustion Engine, USPTO, 4077382, Ohio.
- Hallstrom, Jr., (1984). Combination Internal Combustion Engine and Steam Engine USPTO 4433548, Tillamook.
- Hu, L., (2006). Dual Six Stroke Self-Cooling Internal Combustion Engine, USPTO 7143725, Aldergrove İçten Yanmalı Motor Patent Taraması, (2012). http://www.freepatentsonline.com/result.html?query_txt=internal+combustion+engine&sort=relevance&srch=top&search
- Kelem, H., (2010). Six Stroke Internal Combustion Engine and Method of Operation, USPTO, 7726268 B2, Delray.
- Kroyer, J., (1942). Internal Combustion Engine, USPTO 2355806, California.
- Larsen, G., (1988). Engine with Six Stroke Cycle Variable Compression Ratio and Constant Stroke Engine, USPTO 4736715, Antilles.
- Melby, R., (1975). Supercharged Six Stroke Cycle Combustion Engine, USPTO 3896775, Hinsdale.
- Ogura, Y., (1990). Six Stroke Internal Combustion Engine" USPTO 4924823, Tokyo.
- Pulkrabek, W. (2004) Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Pearson Prentice Hall, Saddle.
- Rudd, H., (1937). Internal Combustion Engine, USPTO 2209706, Boonton.
- Schmitz, G., (1990). Six Stroke Internal Combustion Engine USPTO 4917054, Belgium.
- Singh, S., (2001). Computer Controlled Six-Stroke Internal Combustion Engine and Its Method of Operation, USPTO, 6311351 B1, Tobago, 1-10.
- Singh, S., (2006). Computer Controlled Multi Stroke Cycle Power Generating Assembly and Method of Operation, USPTO, US7021272 B2, Tobago, 1-16.
- Sofuoğlu, A., (2002). Hava Kirliliği, Vizyon 2023, Bilim ve Teknoloji Stratejileri Teknoloji Öngörü Projesi Raporları Ek-6.

- Szybist, J., (2010). Highly Efficient Six-Stroke Engine Cycle with Water Injection USPTO, US2010/0313831 A1, 1-5, Knoxville.
- Tibbs, R., (1976). Six Cycle Combustion and Fluid Vaporization Engine, USPTO 3964263, Cleveland.
- TÜİK, (2010). Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- USDOE, (2010). Energy Efficiency and Renewable Energy Vehicle Technologies Programme Progress Report for Advanced Combustion Engine R&D, Oak Ridge National Lab., Oak Ridge, 108-118.
- USDOE, (2010). Fuels, Engines and Emissions, Oak Ridge National Lab. Oak Ridge, 1-55,
- Ward, C., (1981). Six Cycle Engine, USPTO 4289097, Arbutus.
- Ziabazmi, A., (2004). Bazmi's Six Stroke Engine with intake and Exhaust Valves, USPTO, 6789513, Pittsburgh.
-