

Su Enjeksiyonu ile Egzoz Isısı Geri Kazanımlı Altı Zamanlı Motor İçin Kam Tasarımı

Emre ARABACI¹, Yakup İÇİNGÜR², Ahmet UYUMAZ^{3,*}

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez TBMYO, Otomotiv Programı, Burdur/TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak. Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara/TÜRKİYE

^{3*}Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Otomotiv Programı, Burdur/TÜRKİYE

Başvuru: 06/11/2013 Düzeltme: 29/04/2014 Kabul: 04/06/2014

ÖZET

Bu çalışmada altı zamanlı motorlarda kullanılacak kamların tasarlanmasında karşılaşılan problemler incelenmiştir. Tek silindirli, üstten supaplı buji ile ateşlemeli altı zamanlı motorda harmonik kam ile kam profili tasarımı gerçekleştirilmiş ve imal edilmiştir. Tasarlanan kamların yer değiştirme, hız, ivme ve jerk grafikleri elde edilmiştir. Kam profili tasarımında supap yüksekliği, supap açık kalma açısı ve temel daire çapının kam tasarımını etkilediği görülmüştür. Egzoz kamı tasarımında temel daire çapının fazla olması gerektiği görülmüştür. Bunun yanında temel daire çapı arttıkça balans problemlerinin arttığı görülmüştür. Sonuçta, altı zamanlı motorlarda kullanılacak olan kamlarda açılal sınırlamaların kam tasarımını etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Altı zamanlı motor, Kam tasarımı, Harmonik kam

ABSTRACT

In this study, facing with problems in cam designing using in a six-stroke engine were observed. Cam profile was designed and manufactured with harmonic cam in a single cylinder, overhead valve, six-stroke engine. The valve lift, velocity, acceleration and jerk graphs of designed cams were obtained. It was seen that valve lift, valve dwell angle and base circle diameter affected the cam design. Furthermore, balance problem was determined with the increase of base circle diameter. As a result, it was seen that angular limitations affected the cam profile using in the six-stroke engines.

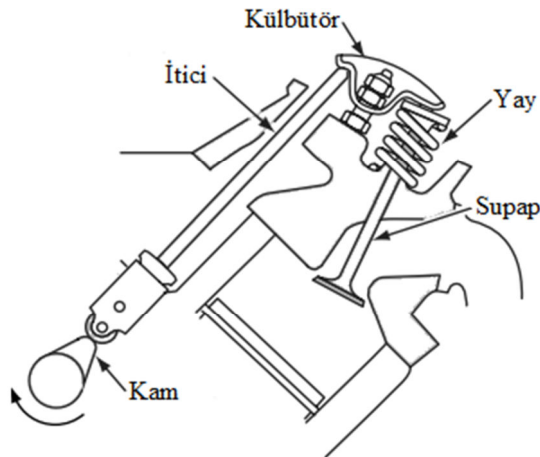
Keywords: Six-stroke engine, Cam design, Harmonic cam

1. GİRİŞ

Pistonlu içten yanmalı motorlarda çevrimin sürekliliği için bir madde alışverişi meydana gelmektedir. İki zamanlı motorlarda bu durum portlarla sağlanırken, dört zamanlı motorlarda supap mekanizması gibi ayrı bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Dört zamanlı motorlarda emme kanalında bulunan taze karışımın silindir içerisine alınmasını sağlayan emme supabı ve

yanmış karışımın silindir içerisinden egzoz kanalına iletimi sağlayan egzoz supabı bulunmaktadır. Bu supapların periyodik açılıp kapanma hareketleri kamlar sayesinde sağlanmaktadır. Kamlar dönen milden sürekli periyodik hareket üretmektedirler. Motorlarda kamlar bir mil üzerine konumlandırıldıklarından dolayı bu mil kam mili olarak adlandırılmaktadır [1-3]. Şekil 1'de otomotiv motorlarında kullanılan tipik bir kam mekanizması görülmektedir.

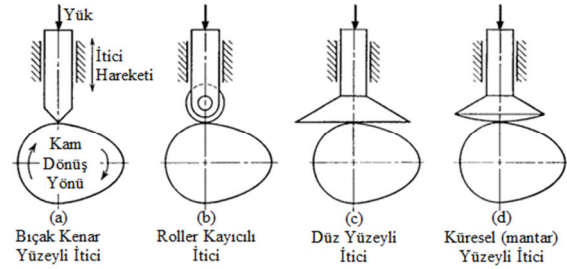
Kamların supaplara ilettikleri periyodik hareket silindirik içerisine alınan veya silindirik içerisinden atılan dolgu hareketinin karakteristiğini de etkilemektedir. Düşük hızla çalışan makineler için kamlar, yalnızca kuvvet ileten makine elemanlarıdır. 1920'li yıllara kadar kam profillerinin elde edilmesi için grafiksel ve deneysel metotlar kullanılmıştır. Ancak yüksek hızlı makineler için bu metotların kullanılması uygun değildir. Çalışma hızı arttıkça atalet kuvvetleri ve elastiki özelliklerin önemi de artmaktadır. Yüksek hızlı makinelerde bu kuvvetin etkisiyle oluşan titreşimler istenilen hareketi bozmakla birlikte aşınma, kırılma ve ses gibi arızaların da meydana gelmesine neden olmaktadır [1-4]. İçten yanmalı motorlar yüksek hızlı makineler olduğundan dolayı, kam profiline bağlı olarak kaminin hareket ettirdiği itici (izleyici) için çeşitli hareket eşitlikleri türetilmekte ve bu türetilen hareket eşitlikleri türevlendirilerek hız, ivme ve jerk (sarsım-sıçrama) eşitlikleri elde edilmektedir. Şekil 2'de farklı itici tipleri görülmektedir. Günümüzdeki otomotiv motorlarında kullanılan kam çeşitleri konveks, konkav, tanjant ve harmonik olarak sıralanmaktadır. Kullanılacak kam çeşitleri kaminin beraber çalıştığı iticinin yüzey şekline göre değişmektedir [3-5].



Şekil 1. Tipik bir kam mekanizması [5]

Bir kam profiline bütününün birkaç alt parçaya ayrılarak her bir parçanın matematiksel olarak tanımlanması ve tanımlanan parçaların uygun şartlarla birleştirilerek, kam profiline tamamının oluşturulması ilk olarak Angeles tarafından yapılmıştır [6]. Parçaların uygun şartlarla birleştirilmesi işlemine, sentezleme adı verilmiştir. Eğri parçalarının birleşim noktalarında, her bir parçayı tanımlayan fonksiyonların yerel değerinin aynı olması gerekmektedir. Mermelstein ve Acar tarafından yapılan bir çalışmada, kam profiline belirlenmesinde optimizasyon tekniği ile birlikte parçalı polinomlar kullanılmıştır. Bu çalışmada polinomik kam profillerinin birkaç düğüm noktasıyla tanımlanabildikleri belirtilmiştir [7]. Cardona ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, kam tasarımında dikkate alınması gereken hususlar tartışılmıştır. Yazarlar bu hususların başında, supaptaki yeterli akışın sağlanması olduğunu belirtmişlerdir. Akışın yeterli olup olmadığını belirlemek için teorik ve deneysel bir kriterin bulunmadığını vurgulamışlardır. Bu eksikğin bir akış metre kullanarak giderilebileceğini belirtmişlerdir. Supap kursunun azami değerinin supap

çapının en fazla % 40'ı kadar olabileceğinin tecrübe edildiğini ifade etmişlerdir [8].



Şekil 2. İtici tipleri [5]

Kam profillerinin tasarımında B-spline, klasik spline ve trigonometrik spline yöntemleri gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda supapların ivmelenme ve sıçrama eğilimleri minimuma indirilmeye çalışılarak sistemin verimi artırılmaktadır [2,9-11].

Bu çalışmada altı zamanlı motorlarda modifiye edilecek kam mekanizmasında ve kam profili tasarımında karşılaşılan problemler ele alınmaya çalışılmıştır. Altı zamanlı motorda kullanılmak üzere harmonik kam ile kam tasarımı gerçekleştirilmiş ve imal edilmiştir. Elde edilen kam profiline yer değiştirme, hız, ivme ve jerk grafikleri çizilmiştir. Altı zamanlı motorda kullanılacak olan kam tasarımında kam yüksekliği, supap açık kalma açısı, temel daire çapı parametrelerinin kam profiline etkilediği görülmüştür.

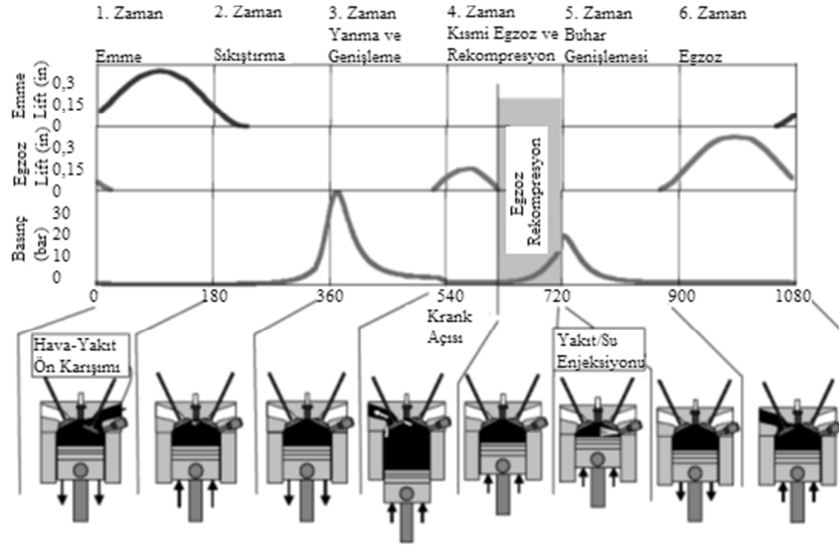
2. SU ENJEKSİYONU İLE EGZOZ ISISI GERİ KAZANIMLI ALTI ZAMANLI MOTORLAR

Pistonlu, içten yanmalı motorlar, çalışma prensiplerine göre iki ve dört zamanlı motorlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Günümüzde kullanılan termik motorların çok büyük bir kısmı bu prensiplere göre çalışan motorlardan meydana gelmektedir. Motorlara tarihsel çerçeveden bakıldığında altı zamanlı motor kavramı da iki ve dört zamanlı motorlar kadar eski bir geçmişi vardır. Altı zamanlı motor adı ilk kez 1883 yılında Griffin tarafından kullanılmış ve altı zamanlı motorların içten yanmalı ve buhar motorlarının birleşimi olarak yeni bir motor çalışma prensibi olarak tanıtılmıştır. Dört zamanlı bir çevrimde emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanları meydana gelirken, su enjeksiyonu ile egzoz ısı geri kazanımlı altı zamanlı çevrimde emme, sıkıştırma, birinci iş, kısmi egzoz, ikinci iş ve tam egzoz zamanları meydana gelmektedir [12-15].

İki zamanlı motorlarda bir çevrimin tamamlanması 360° krank açısında meydana gelirken, dört zamanlı motorlarda bir çevrim 720° krank açısında meydana gelmektedir. Altı zamanlı motorlarda bir çevrim oluşması için 1080° krank açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak iki ve dört zamanlı motorlardan farklı olarak altı zamanlı motorlarda her çevrim başına bir değil iki iş zamanı meydana gelmektedir. Şekil 3'de egzoz ısını tekrar kullanan altı zamanlı motorun çevrimi görülmektedir. Birinci iş zamanında emme zamanında içeriye karışım olarak alınan hava-yakıt

karışımının kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan büyük bir iş elde edilirken ikinci iş zamanında egzoz gazının kısmi olarak dışarıya atılması, içeride kalan egzoz gazlarının tekrar basınçlandırılması ve ardından sıcak sıvı su enjeksiyonu ile ek bir iş elde edilmektedir. Bu ek iş ile birlikte basınç-hacim diyagramındaki pozitif iş

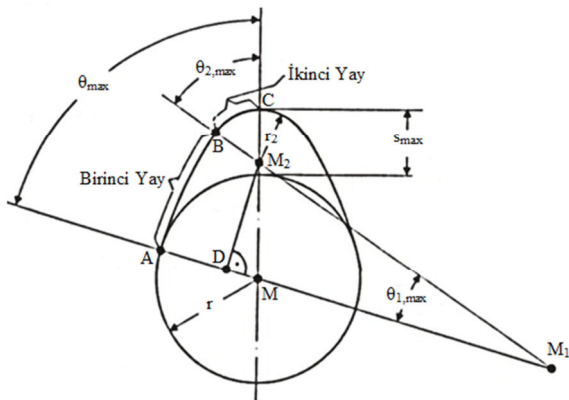
alanı artmaktadır. Başka bir ifade ile sistem içerisine sürülen enerjinin daha fazla bir bölümü faydalı işe dönüştürülmüş olacağından dolayı sistemin ısı verimi artmaktadır. Enerjisi azalmış egzoz gazları son olarak altıncı zamanda dışarıya atılarak çevrim tamamlanmış olmaktadır [13-16].



Şekil 3. Egzoz ısı geri kazanımı kullanılan altı zaman çevrimi [13]

3. HARMONİK KAM İLE KAM PROFİLİNİN ELDE EDİLMESİ

Dört zamanlı motorlarda krank mili dönüş hızının kam mili dönüş hızına oranı 2, altı zamanlı motorlarda ise bu oran 3'tür. Bu nedenle kam profili tasarımında yöntem değişmemesine rağmen açısal sınırlılıklar ve karakteristik eğriler değişmektedir [9-11]. Yapılan bu çalışmada tasarım parametreleri ve karakteristik eğriler araştırılıp incelenmiştir. Otomotiv motorlarında kullanılan kamlar farklı yöntemlerle tasarlanmaktadır. Bu çalışmada referans alınan dört zamanlı motor, düz yüzeyli bir iticiye sahiptir. Altı zamanlı motorda kullanılacak kam profilinin elde edilmesinde düz yüzeyli itici hareketine uygun olarak harmonik kam profili kullanılmıştır.



Şekil 4. Harmonik Kam Terminolojisi [17]

Harmonik kam tasarımında hareket eşitliklerin

türetilmesi için sınır şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Kullanılacak harmonik kam profili farklı iki merkezli yaydan oluşmaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi "r" yarıçaplı temel daire merkezi "M" ile ifade edilmektedir ve temel dairenin üzerinde iken itici hareketi söz konusu değildir. "M1" merkezli A-B noktaları arasındaki "r1" yarıçaplı yay birinci yay, "M2" merkezli B-C noktaları arasındaki "r2" yarıçaplı yay ise ikinci yay olarak adlandırılmaktadır. Kamın açık kalma süresi açısal olarak $2\theta_{max}$ ile ifade edilmektedir. θ_{max} açısı $\theta_{1,max}$ ile $\theta_{2,max}$ açılarının toplamı olarak ifade edilmektedir. $|MM_1|$ uzunluğu " b_1 " ve $|MM_2|$ uzunluğu " b_2 " olarak adlandırılmaktadır. Temel daire merkezi (M) ile birinci yay merkezi (M_1) arası uzaklık olan b_1 uzunluğunun θ_{max} açısına göre belirlenebilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir [17].

$$b_1 = \frac{b_2^2 - (r - r_2)^2}{2(r - r_2 - b_2 \cos \theta_{max})} \quad (1)$$

θ_{max} açısı ile $\theta_{1,max}$ açısı arasındaki ilişki sinüs teoremi yardımıyla aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\theta_{1,max} = \sin^{-1} \left(\frac{b_2 \sin \theta_{max}}{b_1 + r - r_2} \right) \quad (2)$$

A-B yayı aralığında kamın noktasal bir izleyiciye göre kurs miktarı s_{AB} 'nin θ_1 açısına göre değişimi aşağıdaki eşitliğe göre ifade edilmektedir.

$$s_{AB} = \sqrt{r_1^2 + b_1^2 - 2r_1 b_1 \cos \theta_1} - r \quad (3)$$

Düz yüzeyli bir itici için A-B yayı üzerinde çalışması esnasındaki itici hareket eşitliği aşağıdaki gibi

olmaktadır.

$$h_{AB} = b_1(1 - \cos\theta_1) \quad (4)$$

Birinci yay üzerinde itici hareketinin θ_1 açısı yerine θ açısı ile ifade edilmek istendiğinde θ_1 ile θ arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Şekil 5'de birinci yay üzerindeki itici hareketi görülmektedir.

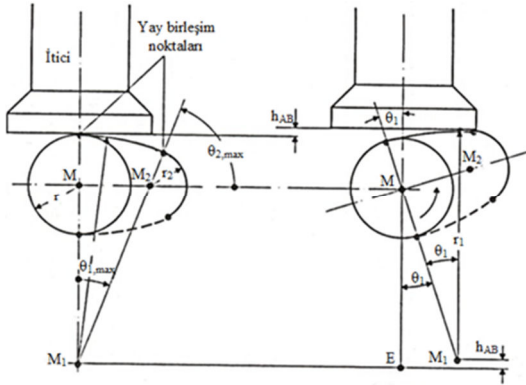
$$\theta_{AB} = \cos^{-1} \left\{ \frac{r - r_1(1 - \cos\theta_1)}{\sqrt{[r^2 + 2r_1b_1(1 - \cos\theta_1)]}} \right\} \quad (5)$$

Temel daire merkezi (M) ile ikinci yay merkezi (M_2) arasındaki uzaklık olan b_2 , aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$b_2 = r - s_{\max} - r_2 \quad (6)$$

İkinci daire yayı yarıçapı olan r_2 'nin değişimi birinci yay merkezinin yerini de değiştirdiğinden dolayı r_2 değeri değişimi ile kam karakteristiği belirlenmekte ve optimizasyon yapılabilmektedir. Şekil 6'da ikinci yay üzerindeki itici hareketi görülmektedir. B-C yay aralığında kamın noktasal bir izleyiciye göre kurs miktarı s_{AB} 'nin θ_1 açısına göre değişimi aşağıdaki eşitliğe göre ifade edilmektedir.

$$s_{BC} = \sqrt{(r_2 + b_2)^2 - 2b_2r_2(1 - \cos\theta_2)} - r \quad (7)$$



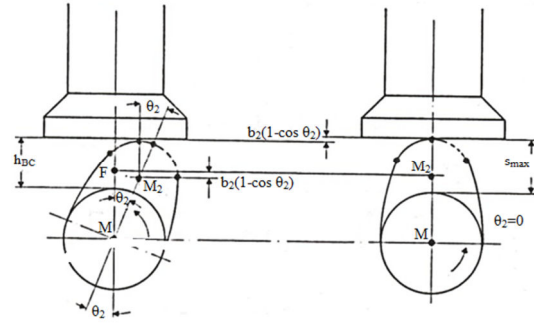
Şekil 5. Birinci yay üzerindeki itici hareketi [17]

Bu ifade θ_2 açısı cinsinden ifade edilmektedir. Kam profilinin elde edilmesi için θ_2 yerine θ açısı kullanılmalıdır. Bunun için θ ile θ_2 arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir:

$$\theta_{BC} = \cos^{-1} \left\{ \frac{b_2 + r_2 \cos\theta_2}{\sqrt{(r_2 + b_2)^2 - 2b_2r_2(1 - \cos\theta_2)}} \right\} \quad (8)$$

Düz yüzeyli bir itici için A-B yayı üzerinde çalışması esnasındaki itici hareket eşitliği aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$h_{BC} = s_{\max} - b_2(1 - \cos\theta_2) \quad (9)$$



Şekil 6. İkinci yay üzerindeki itici hareketi [17]

Eş. 4 ve eş. 9 kullanılarak iticiye ait hız, ivme ve jerk eşitlikleri elde edilebilmektedir. Belirli bir ω_N açısal hızı için hız ivme ve jerk eşitlikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İtici hareketi için hız, ivme ve jerk eşitlikleri

	A-B Yay Aralığı	B-C Yay Aralığı
Hız (v)	$v_{AB} = \frac{dh_{AB}}{dt}$ $= \omega_N b_1 \sin\theta_1$	$v_{BC} = \frac{dh_{BC}}{dt}$ $= -\omega_N b_2 \sin\theta_2$
İvme (a)	$a_{AB} = \frac{d^2h_{AB}}{dt^2}$ $= \omega_N^2 b_1 \cos\theta_1$	$a_{BC} = \frac{d^2h_{BC}}{dt^2}$ $= -\omega_N^2 b_2 \cos\theta_2$
Jerk (j)	$j_{AB} = \frac{d^3h_{AB}}{dt^3}$ $= -\omega_N^3 b_1 \sin\theta_1$	$j_{BC} = \frac{d^3h_{BC}}{dt^3}$ $= \omega_N^3 b_2 \sin\theta_2$

Kam profilinin tasarımında bazı şartlar bulunmaktadır. Bu ön şartlar; supap açılma zamanlaması, supap kapanma zamanlaması, supap kursu, külbütör oranı ve motor hızı olarak sıralanmaktadır. Aynı zamanda kam tasarımı supap boşluk açısı, supap boşluğu, maksimum ivme ve temel daire yarıçapı parametrelerinden etkilenmektedir [1-3,5,7].

4. ALTI ZAMANLI MOTOR İÇİN KAM PROFİLİ TASARIMI

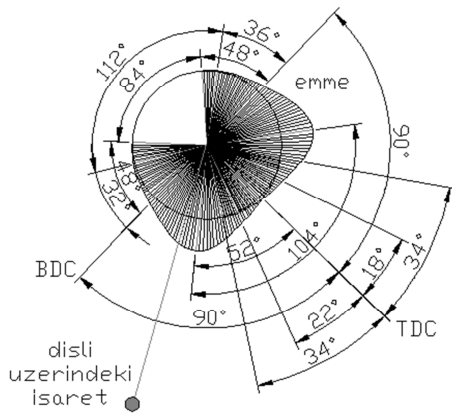
Altı zamanlı motorda kam profili tasarımı için tek silindirli ve buji ateşlemeli motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir. Kam profilinin belirlenmesi için rulman yataklı bir düzenek kurulmuş ve manyetik bir ayağa bağlanan komparatör yardımıyla açısal değişime göre kam yükseklikleri ölçülmüştür. Açısal değişim için kam dişlisi üzerine bir açıölçer yerleştirilmiş, 2 derece aralıklarla açılar ölçülmüştür.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor tipi	Dört zamanlı, tek silindirli, buji ile ateşlemeli
Silindir çapı (mm)	77
Strok (mm)	58
Maksimum güç	6,6 kW 3600 d/d
Maksimum tork	19,1 Nm 2500 d/d
Supap sistemi	Üstten supaplı

Deney motorunun orijinal emme supabı boşluğu 0,15 mm ve egzoz supabı boşluğu ise 0,20 mm'dir. Ölçümlerde supabın açıldığı noktadan itibaren katalogda belirtilen supap boşluk değerine kadar olan açı supap boşluk açısıdır. Tablo 3'de deney motoru üzerinden ölçülen kam profili değerleri görülmektedir.

Elde edilen kam profillerinin belirlenen referans noktaya göre üst üste yerleştirilmesiyle supap ayar diyagramı çizilebilmektedir. Şekil 7'de deney motorunun kam açıları ve supap ayar diyagramı görülmektedir.



Şekil 7. Kam açıları ve supap ayar diyagramı

Elde edilen kam profillerinin harmonik kam terminolojisine uygun hale getirilmesi için deneysel sonuçların fit edilmesi gerekmektedir. Tablo 4'de emme kamının fit edilmiş kam profili parametreleri görülmektedir. Fit edilmiş profil ile orijinal profil arasındaki hata miktarı maksimum değeri $\pm 0,25$ mm'dir.

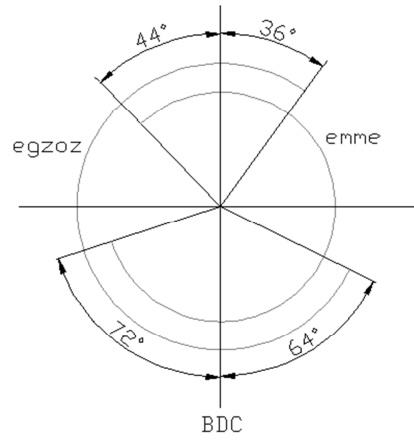
Tablo 4. Fit edilmiş kam profilinin parametreleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Temel daire çapı (mm)	26	Külbütör oranı	1:1
İzleyici hareketi (mm)	5,50	BC yay çapı (mm)	6
Supap boşluğu (mm)	0,15	AB yay çapı (mm)	42,27
θ (derece)	74	$\theta_{1,max}$ (derece)	59,42
α (derece)	12	θ_{AB} (derece)	81,82
Motor hızı (1/min)	3600	a_{max} (m/s ²)	556,05
Kontrol 1 (mm)	0,177	Kontrol 2 (m/s)	0,319

Bir kam profilinin sınır şartlarını belirleyen parametre izleyicinin karakteristiğidir. Kam profilinin elde

Tablo 3. Ölçümü yapılan kam profili için belirlenen değerler

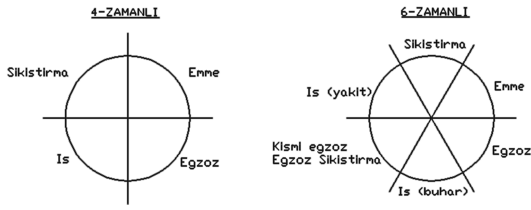
Özellik	Egzoz	Emme
Boşluklu açık kalma süresi (derece)	172	172
Boşluksuz açık kalma süresi (derece)	140 (@0,20mm)	148 (@0,15mm)
Maksimum kam yüksekliği (mm)	5,65	5,65
Maksimum supap açıklığı (mm)	5,45	5,50
Temel daire çapı (mm)	26	26



edilmesinde temasın sürekli aynı ekseninde olduğu kabul edilerek elde edilirken izleyicinin temas eksenine, izleyicinin temas yüzeyine göre değişiklik göstermektedir. Deney motorunun fit edilmiş emme kam profiline ait yer değiştirme, hız ivme ve jerk grafikleri şekil 8'de görülmektedir.

Şekil 8. Kam açısına göre emme kamının yer değiştirme, hız, ivme ve jerk değişimleri

Altı zamanlı motorun kam profiline ait sınır değerler bulunmaktadır. Dört zamanlı motorlarda her strok için gerekli kam açısı 90° iken altı zamanlı motorlarda bu açı 60° olmaktadır. Bu durum altı zamanlı motorların kam profillerinin belirlenmesinde hassasiyeti arttırmaktadır. Şekil 9'da dört ve altı zamanlı motorlarda teorik zamanların oluşumu görülmektedir.

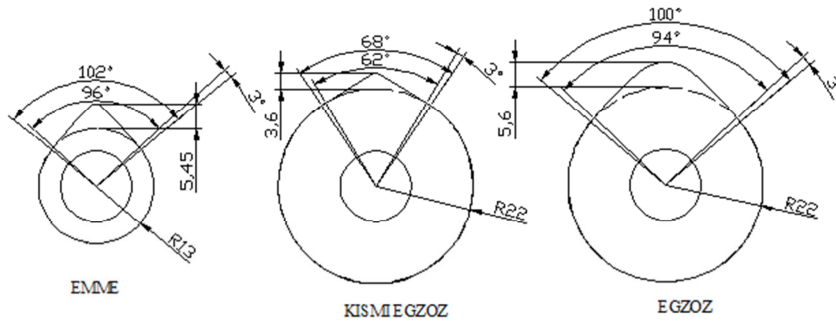


Şekil 9. Dört ve altı zamanlı motorlara ait teorik zamanlar

Altı zamanlı motorlarda egzoz kamı profilinin elde edilmesi diğer kam profillerinden farklıdır. Altı zamanlı motorlarda egzoz supabı kısmi ve tam olmak üzere iki kere açılmaktadır. Bu nedenle kam profili üzerinde iki lob bulunmaktadır. Ancak kısmi egzoz sürecindeki kam lobu için küçük bir açı bulunduğundan dolayı tasarımda temel daire çapının büyütülmesi ve/veya kam yüksekliğinin azaltılması gerekmektedir. Altı zamanlı motora ait kam profili parametreleri tablo 5’de görülmektedir.

Tablo 5. Altı zamanlı motora ait kam profili parametreleri

Özellik	Emme	K. Egzoz	Egzoz
Temel daire çapı (mm)	26	44	44
İzleyici hareketi (mm)	5,30	3,40	5,40
Supap boşluğu (mm)	0,15	0,20	0,20
θ (derece)	48	31	47
α (derece)	3	3	5
Motor Hızı (1/min)	3600	3600	3600
Kontrol 1 (mm)	0,158	0,185	0,217
Külbütör oranı	1:1	1:1	1:1
BC yay çapı (mm)	4	2	18
AB yay çapı (mm)	230,98	217,03	114,26
$\theta_{1,max}$ (derece)	5,80	5,21	12,06
a_{max} (m/s ²)	259,77	388,48	293,72
Kontrol 2 (m/s)	0,759	0,891	0,625

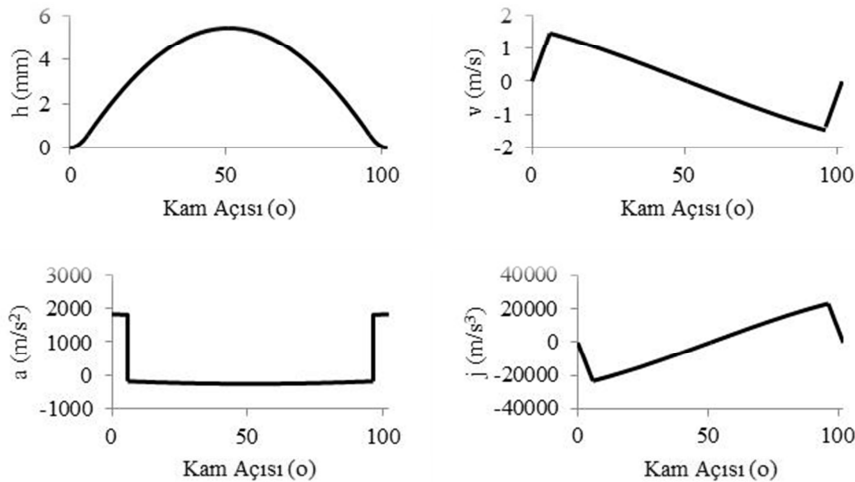


Şekil 10. Altı zamanlı motora ait kam profilleri

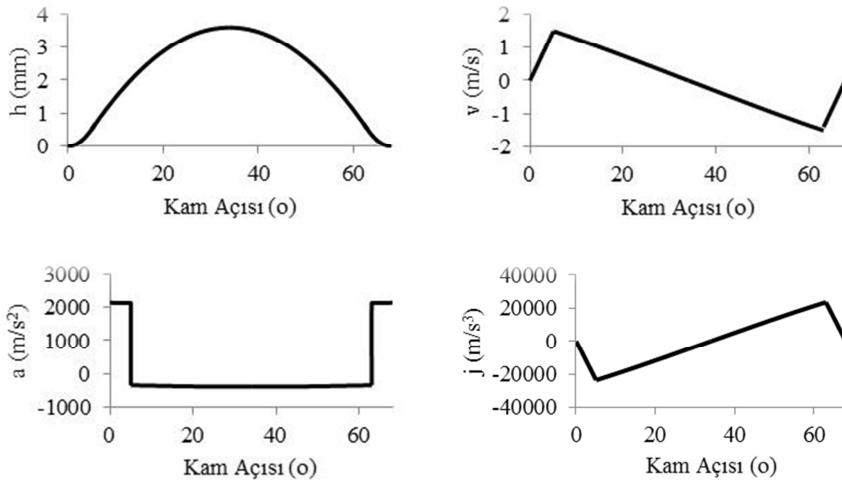
Belirlenen parametrelere göre altı zamanlı motor için tasarlanan kam profilleri Şekil 10’da görülmektedir.

Elde edilen emme kamı, kısmi egzoz kamı ve egzoz

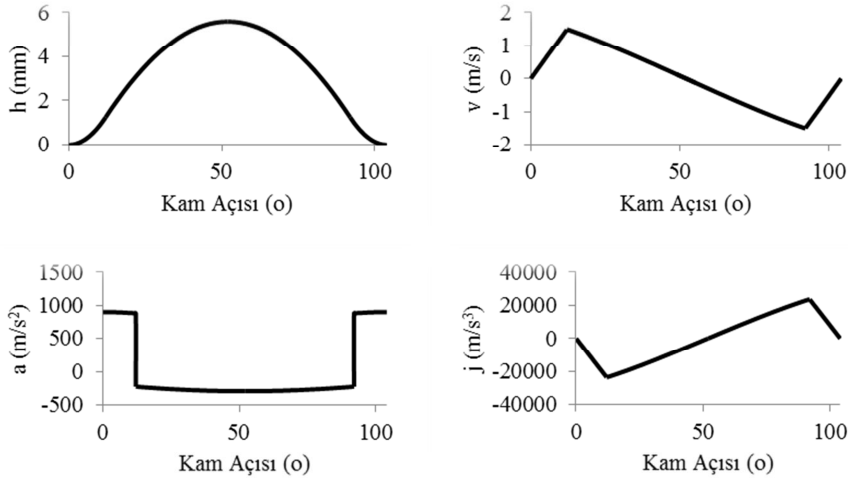
kamı profillerine ait yer değiştirme, hız, ivme ve jerk grafikleri sırasıyla Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 11. Kam açısına göre emme kamına ait yer değiştirme, hız, ivme ve jerk değişimleri



Şekil 12. Kam açısına göre kısmi egzoz kamına ait yer değiştirme, hız, ivme ve jerk Değişimleri



Şekil 13. Kam açısına göre egzoz kamına ait yer değiştirme, hız, ivme ve jerk değişimleri

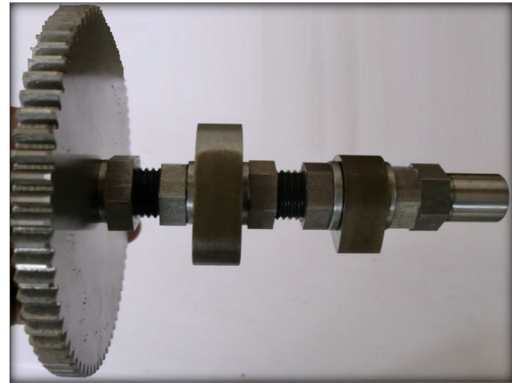
Egzoz stroku için ayrı ayrı kamlar kullanılabileceği gibi iki profil birleştirilerek tek bir kam profili de elde edilebilmektedir. Bu çalışmada iki egzoz kamı profili birleştirilerek tek bir profil elde edilmiştir. İmalatı yapılan kamlar şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. İmalatı yapılan kamlar

Altı zamanlı motor için tasarlanan kamlar Ç2080 takım çeliğinden üretilmiş, kam profili belirlendikten sonra CNC tel erozyon makinasında kestirilmiştir. Kestirilen kam profillerine ısıtım işlemi uygulanarak 40 HRC sertlik verilmiştir. İmal edilen kamların kam mili üzerine monte edilebilmesi için kam mili üzerine ve kamların iç

yüzeylerinde diş açılmıştır. Kamların mil üzerinde sabitlenmesini sağlamak amacıyla kontra somunlar kullanılmış, hareketleri sınırlandırılmıştır. Şekil 15'de altı zamanlı deney motorunda kullanılacak olan kam mili ve kamlar görülmektedir.



Şekil 15. Altı zamanlı motorun kam mili

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dört zamanlı motorların altı zamanlı motorlara dönüşümünde kam mekanizması modifiye edilmelidir. Bu çalışmada altı zamanlı motorda kullanılacak bir kam mili ve kam profili tasarımını etkileyen parametreler incelenmiştir. Altı zamanlı motorların kam profillerinin elde edilmesindeki en büyük problemin kam loblarının yerleştirileceği açılal bölgenin dört zamanlı motorların kam profillerine göre kısıtlı olmasıdır. Egzoz kamı üzerinde bulunan kısmı egzoz lobu için büyük bir problem oluşturduğu görülmüştür. Bu nedenle egzoz kamı için temel daire çapının büyütülmesi gerekmektedir. Temel daire çapının büyütülmesiyle kam mili üzerinde balans problemleri meydana gelebilmektedir. Bu balanssızlığın giderilmesi için özellikle egzoz kamı üzerinde hafifletme işleminin yapılması gerekmektedir.

Elde edilen kam profillerinin yer değiştirme, hız, ivme ve jerk grafikleri incelendiğinde iticinin maksimum hızı için yaklaşık aynı değer elde edilirken tasarlanan kam profillerine göre maksimum ivme değerinde artış buna karşın maksimum jerk değerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun en önemli nedeni aynı motor hızı için, altı zamanlı ve dört zamanlı motorlara ait kam milinin açılal hızlarının oranının 2/3 olmasıdır. Hız, ivme ve jerk ifadeleri açılal hız ile bağıntılı ifadeler olduğundan dolayı altı zamanlı motorlardaki açılal sınırlılıklar bu açılal hızın düşüklüğü ile telafi edilebilmektedir.

Altı zamanlı motorların kam profillerinin belirlenmesinde kam yüksekliği, supap açık kalma açısı, temel daire çapı parametrelerinden etkilenmektedir. Bu noktada altı zamanlı motorlarda kullanılacak kam profillerinin tasarlanmasında açılal sınırlamaların meydana getirdiği tasarım zorluğu problemi ile karşılaşılmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Karabulut H., Sarıdemir S., 2009, "Farklı Supap Açık Kalma Süreleri ve Kursları İçin Klasik ve Spline Yöntemi İle Elde Edilen Kam Profillerinin Karşılaştırılması", Gazi Üniversitesi MMF Dergisi, 24(509-515).
- [2] Norton, R.L., 2002, "Cam design and manufacturing handbook", Industrial Pres, Inc., New York, 45-160.
- [3] Grohe, H., 2010, "Otto- und Dieselmotoren", Vogel, 58-91, Reihe.
- [4] Moon, C., 1961, "Cam Design", Emerson, 7-23, USA, 1961.
- [5] Rothbart, H., 2004, "Cam design handbook", McGraw-Hill, New York, 27-54.
- [6] Angeles, J., 1983, "Synthesis of plane curves with prescribed local geometric properties using periodic splines", Computer Aided Design, 15: 147-155.
- [7] Mermelstein, S.P., 2004, "Optimising cam motion using piecewise polynomials", Engineering with Computers, 19: 241-254.
- [8] Cardone, A., 2002, "Optimal design of cams", Kluwer Academic Publishers, 7: 285-305.
- [9] Kohaupt, L., "Cam Design by Hyperbolic SplineFunctions of Fouerth Order", IMA Journal ofMathematics Applied in Business and Industry, Cilt 10, 245-263,1999.
- [10] MacCarthy, B.L., "Quintic Splines for Kinematic Design",Computer-aided Design, Cilt 20, 406-415, 1988.
- [11] Neamtu, M., Pottmann, H., Schumaker, L.L.,"Designing NURBS Cam Profiles Using Trigonometric Splines", Journal of Mechanical Design, Cilt 120, 175-179,1998.
- [12] Ziabazmi, A., 2004, "Bazmi's Six Stroke Engine with intake and Exhaust Valves", USPTO, 6789513, Pittsburgh.
- [13] Kelem, H., 2012, "Six Stroke Internal Combustion Engine and Method of Operation", USPTO, 7726268 B2, 1-5, Delray.
- [14] Dyer, L., 1920, "Internal Combustion Engine" USPTO, 1339176, Greenwich, 1-3.
- [15] Griffin S. 1889, "Method of operating gas engines" USPTO, 412883, France, 1-6.
- [16] Conklin, J., 2010, Szybist, J., "A Highly Efficient Six-Stroke Internal Combustion Engine Cycle with Water Injection for in-cylinder Exhaust Heat Recovery" Energy, Knoxville, 1658-1664.
- [17] Grohe, H., Otto ve Dizel Motorları, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 180-205,1999.