

Tek Beklemeli Kam Eğrilerinde Supap Kursuna Bağlı Olarak Dinamik Açından En Uygun Kam Profillerinin Belirlenmesi

Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Konuralp Yerleşkesi 81620 DÜZCE

ÖZET

Kam mekanizmaları çeşitli makinelerde ihtiyaç duyulan periyodik alternatif hareketleri elde etmek için kullanılan mekanik sistemlerdir. Bir kam mekanizmasında kam profilinin fonksiyonu oluşturulacak harekete istenilen kinematik özellikleri kazandırmaktır. Tek bekleme kam profili tasarımında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, içten yanmalı bir motor için 2,338 radyan (134°) kam açısına (supap açık kalma süresi) ve 5, 6, 7 mm supap kurslarına sahip kam profilleri tasarlanmıştır. Kam profillerinin tasarlanmasında çift harmonik hareket ve 3-4-5-6 polinom yöntemleri kullanılmıştır. Her bir kam profili için minimum kam temel daire çapları belirlenmiştir. Supap iticisine verilen hareketin hız ve ivme karakteristikleri 1500 d/d kam mili devri için elde edilerek kıyaslanmıştır. Minimum kam temel daire çapları çift harmonik hareket eğrisi ile 5, 6 ve 7 mm supap kursları için sırasıyla 24, 28, 34 mm belirlenmiştir. 3-4-5-6 polinom yöntemi ile 5, 6 ve 7 mm supap kursları için sırasıyla 32, 36, 42 mm kam temel daire çaplarının uygun olacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Temel daire çapı, supap kursu, hız, ivme.

Determination of Optimum Cam Profiles Depend on Valve Stroke in Terms of Dynamic At The Single Dwell Cam Curves

ABSTRACT

Cam mechanisms are mechanical systems used to perform the periodic reciprocal motions needed in several machines. In a cam mechanism the function of the cam profile is providing the desired kinematic properties to the motion. There are several methods used in the design of single-dwell cam profiles. In these study, the cam profiles were designed regarding 2,338 radian (134°) cam angle (lifted-valve period) and 5,6,7 mm valve strokes for internal combustion engine. The double harmonic motion and 3-4-5-6 polynomial methods were used to design of cam profiles. The minimum base circle diameters were determined for each cam profile. The velocity and acceleration characteristics of the cam follower for 1500 rpm speed were determined, and compared with each other. The minimum cam base circle diameters were determined 24, 28, 34 mm for 5, 6, 7 mm valve strokes, respectively. It was seen that 32, 36, 42 mm cam base circle diameters were appropriate for 5, 6, 7 mm valve strokes with 3-4-5-6 polynomial method.

Keywords: The base circle diameter, valve stroke, velocity, acceleration.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dairesel hareketi alternatif doğrusal harekete dönüştüren kamlar makine tasarımında çok kullanılan makine elamanları olup, kullanıldığı yere göre farklı yapısal özellikler taşımaktadır. İçten yanmalı motor kam profillerinin tasarımında kam temel daire çapı, çalışma hızı, supap kursu ve kam açısı dikkate alınır. Kompakt bir tasarım için kam profilinin mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Kam milinin kütle atalet kuvvetinin büyüklüğüne kam temel daire çapı etki etmektedir. Bu nedenle kam profilinin boyutları sınırlandırılmalıdır. Dinamik açıdan uygun bir kam mekanizması için iticinin kam yüzeyine sürekli olarak tek noktadan temas etmesi gerekmektedir [1]. İstenen

boyutlardaki bir kam profilinin tasarımı için supap kursu ve kam temel daire çapı göz önüne alınmalıdır. [2-5]. Tsay ve Huey [6] kam profili tasarımında maksimum ivme değerlerini, iticinin kinematik davranışlarını, çeşitli devirlerde sistemde oluşan titreşimlerin özelliklerini ve temas kuvvetlerini dikkate almışlardır. Terauchi ve Shakery [7] tarafından yapılan bir çalışmada, supabın açılma ve kapanma zamanları esnasında kam ve izleyici arasındaki maksimum temas gerilimi araştırılmıştır. Kam tasarımı esnasında izleyicinin sıkışmasını önlemek için kam temel daire çapının, kamdan izleyiciye geçen kuvvetin ve yüzeyler arasındaki aşırı temas geriliminin oluşturduğu aşının göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir. Sarıdemir [1] kam profili tasarımında kullanılan hareket denklemlerini tanıtmıştır. Farklı supap kurs ve kam açıları için imal ettiği kam profillerinin motorun

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: suatsaridemir@duzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2013.16.2, 69-73

çalışmasına olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca Karabulut ve Sarıdemir [8], farklı supap açık kalma süreleri ve kursları için 5. dereceden klasik spline yöntemi kullanarak kam profilleri elde etmişlerdir. Elde edilen kam profilleri hız, ivme, sıçrama ve basınç açısı yönünden incelemiştir. İtıcinin hız, ivme, sıçrama değerlerinin ve basınç açısının supap açık kalma süresine bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Sarıdemir [10] tarafından yapılan bir başka çalışmada 5. dereceden klasik spline yöntemi kullanılarak 6 mm supap kursu ve 120°, 124° ve 128° supap açık kalma süreleri için farklı kam profilleri tasarlanmıştır. Tasarlanan profillerin 3000 d/d motor devri için hız ve ivme grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler birbirleri ile kıyaslanarak supap açık kalma süresinin hız ve ivme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sistemde 128° supap açık kalma süresi için en düşük hız ve ivme değerleri elde edilmiştir. Mandal ve Naskar [11], yüksek hızlarda iticinin ivme ve sıçrama değerlerinin optimizasyonu için Genetik Algoritma esaslı bir program geliştirmişlerdir. Kam ye değiştirme fonksiyonunun dizaynında 6.-7.-8. mertebeden klasik spline ve 6.-8. mertebeden B-spline metotlarını kullanmışlardır. Chavan ve Joshi [12], klasik spline profili ile kam profili tasarımında düğüm noktalarının iticinin hız, ivme ve sıçramasına olan etkilerini incelemiştir. Düğüm noktası yerleşiminin kam-itici ara yüzey kuvvetine olan etkisi matematiksel olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada içten yanmalı bir motorun kam profili, 2.338 radyan (134°) kam açısı ve farklı supap kursları için (5,6,7 mm) çift harmonik hareket ve 3-4-5-6 polinom yöntemleri ile elde edilmiştir. Elde edilen yer değiştirme eğrilerine bağlı olarak minimum kam temel daire çapları belirlenip, Matlab programı ile polar koordinatlarda kam profilleri çizilmiştir. Temel daire çaplarının belirlenmesinde dinamik açıdan uygun bir kam profili için, iticinin kama tek noktadan temas etme kriteri göz önüne alınmıştır. Elde edilen kam profillerinin hız ivme ve sıçrama grafikleri çizilerek kinematik açıdan kam profilleri kıyaslanmıştır.

2. KAM TASARIMI (CAM DESIGN)

2.1. Çift Harmonik Hareket (Double Harmonic Motion)

Çift harmonik hareket eğrisi, iki tane kosinüs teriminden ismini alır. Birinci terim harmonik periyodun yarısı, diğeri ise tam periyot dalgasıdır. Çift harmonik hareketin yer değiştirme, hız ve ivme denklemleri;

$$s = \frac{h}{2} \left[\left(1 - \cos \frac{\pi\theta}{\beta} \right) - \frac{1}{4} \left(1 - \cos \frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \right] \quad (1)$$

$$v = \frac{h}{2} \frac{\pi}{\beta} \left(\sin \frac{\pi\theta}{\beta} - \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \quad (2)$$

$$a = \frac{h}{2} \left(\frac{\pi}{\beta} \right)^2 \left(\cos \frac{\pi\theta}{\beta} - \cos \frac{2\pi\theta}{\beta} \right) \quad (3)$$

şeklinde verilmektedir [9].

2.2. 3-4-5-6 Polinomu (3-4-5-6 Polynomial)

Kam tasarımında kullanılmakta olan 3-4-5-6 polinomunda supabın açılış ve kapanış noktalarında hız ve ivme değerleri sıfıra eşittir. Genel hareket denkleminde sınır şartlarının yerine koyulmasıyla yer değiştirme, hız ve ivme grafikleri aşağıdaki eşitlikler ile elde edilir [9].

$$s = h \left[8 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 12 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 - \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 \right] \quad (4)$$

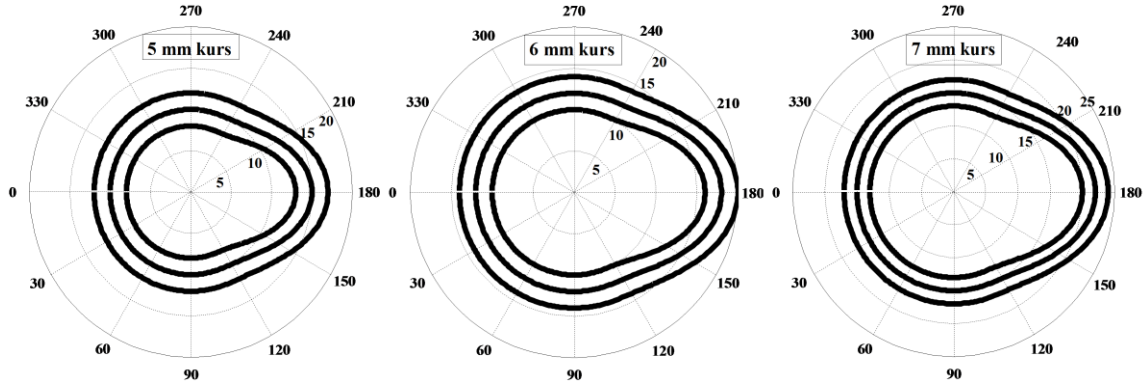
$$v = \frac{h}{\beta} \left[24 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 48 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 + 30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right] \quad (5)$$

$$a = \frac{h}{\beta^2} \left[48 \left(\frac{\theta}{\beta} \right) - 144 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 + 120 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 30 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 \right] \quad (6)$$

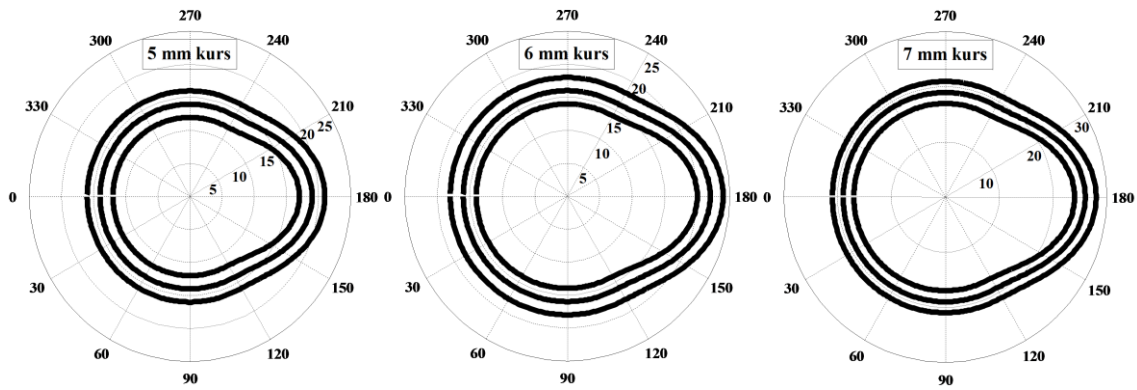
3. UYGULAMA VE BULGULARI TARTIŞMA (CASE STUDIES AND DISCUSSION OF RESULTS)

Şekil 1 ve 2'de 2.338 radyan kam açısı için supap kursuna bağlı olarak iki farklı yöntem ile elde edilen kam profilleri görülmektedir. Her bir kam profilinin temel daire çapları 4 mm fark ile çizilmiştir. Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi küçük temel daire çapına sahip kam profillerinde bir iç bükeylik oluşmuştur. Bu nedenle itici kama iç bükey bölgelerinde aynı anda farklı noktalardan temas edecektir. İtıcinin kama aynı anda farklı noktalarda temas etmesi supabın açılıp kapanma karakteristiğini bozarak motor performansını düşürür. Ayrıca kam mekanizmasında istenmeyen dinamik davranışların oluşumuna neden olur.

Bu nedenle itici kam yüzeyine sürekli olarak tek noktadan temas etmelidir. Kam profillerinde bir içbükeylik oluşmaması için her bir kam profili temel daire çapı, Şekil 1 ve 2'de görüldüğü gibi supap kursuna bağlı olarak büyümüştür. 5, 6 ve 7 mm supap kursları için minimum kam temel daire çapları çift harmonik hareket eğrisi ile sırasıyla 24, 28 ve 34 mm'de elde edilir iken 3-4-5-6 polinomu ile 32, 36 ve 42 mm'de elde edilmiştir. Bu nedenle çift harmonik hareket ile 3-4-5-6 polinomuna göre daha küçük çaplarda ve hacimlerde kam profilleri elde edilebilmektedir

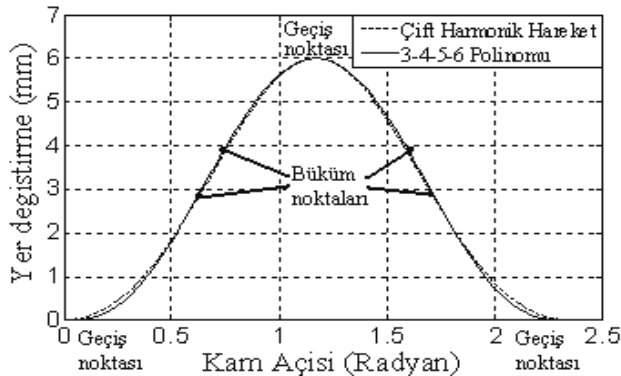


Şekil 1. Çift harmonik hareket ile elde edilen kam profilleri



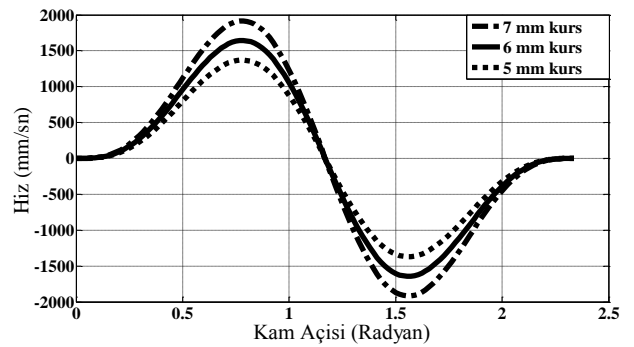
Şekil 2. 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen kam profilleri

Şekil 3'de 2.338 radyan kam açısı ve 6 mm supap kursu için elde edilen yer değiştirme grafikleri görülmektedir. Supabın açılma periyodunda büküm noktaları, çift harmonik hareket için 0,78 radyan ve 3-4-5-6 polinomu için 0,64 radyandır. Supabın kapanma periyodunda büküm noktaları, çift harmonik hareket için 1,55 radyan ve 3-4-5-6 polinomu için 1,69 radyandır

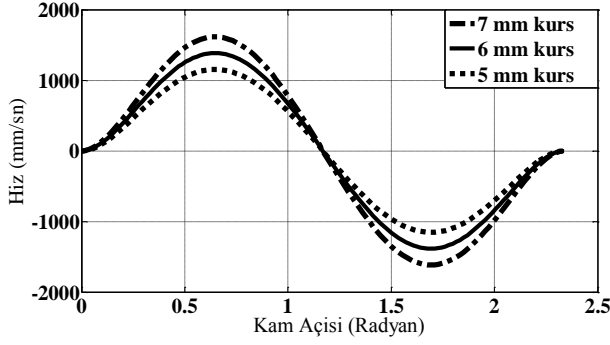


Şekil 3. Çift harmonik hareket ve 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen yer değiştirme eğrileri (The displacement curves obtained by double harmonic motion and 3-4-5-6 polynomial)

1500 d/d'da farklı supap kursları için elde edilen hız grafikleri Şekil 4 ve 5'te görülmektedir. Supabın açılması esnasında, büküm noktasına kadar hız değerleri artmış ve daha sonra azalarak maksimum supap açıklığındaki geçiş noktasında hız sıfır olmuştur. Supabın kapanması esnasında hız büküm noktasına kadar eksi yönde artmış ve supabın kapanmasıyla sıfır olmuştur.



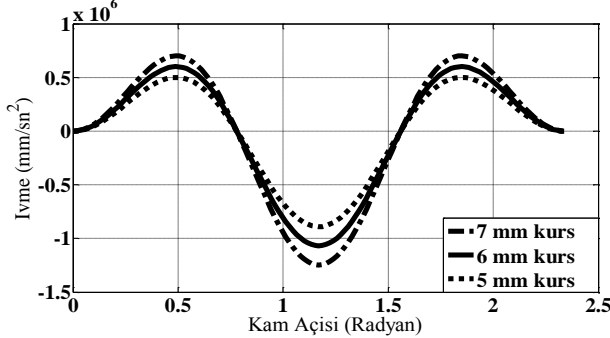
Şekil 4. Çift harmonik hareket eğrisi ile elde edilen hız eğrileri (Velocity curves obtained with double harmonic motion curve)



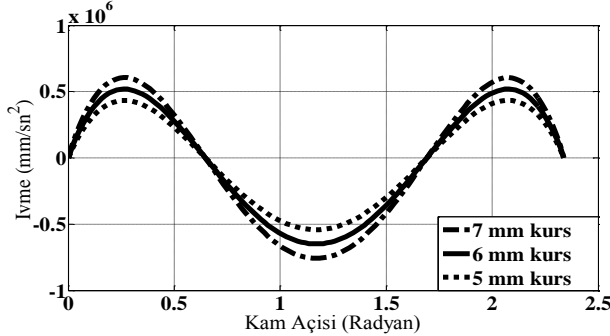
Şekil 5. 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen hız eğrileri (Velocity curves obtained with 3-4-5-6 polynomial method)

Supap kursu arttıkça maksimum hız değerleri de artmıştır. Aynı supap kursu için 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen hız değerleri, çift harmonik harekete göre daha düşük çıkmıştır.

Kam mekanizmalarında bekleme ve hareket eğrileri arasındaki geçiş noktalarında ivme değerinin büyüklüğü önem arz eder. Geçiş noktalarında sıfırdan farklı ivme değeri veren bir eğri, atalet kuvvetlerini aniden artırarak supabın sıçrama yapmasına neden olur. Bu durum motorun volumetrik verimini düşürmekle birlikte supap mekanizmasındaki parçaların kısa sürede aşınmasına neden olur. Supap sisteminde kullanılan yay sabitini atalet kuvvetlerinin büyüklüğü tayin eder. İvme değerinin büyük olması atalet kuvvetlerini artırır. Atalet kuvvetlerini yenmek için kullanılan sert bir yay sistemdeki sürtünme kuvvetlerini artırarak parçaların daha kısa sürede aşınmasına neden olur. Şekil 6 ve 7'de farklı supap kursları için elde edilen ivme grafikleri görülmektedir.

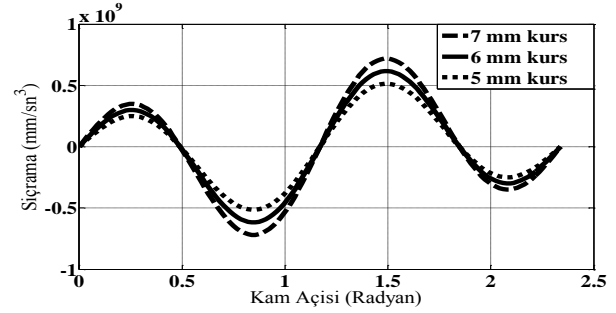


Şekil 6. Çift harmonik hareket eğrisi ile elde edilen ivme eğrileri (Acceleration curves obtained with double harmonic motion curve)

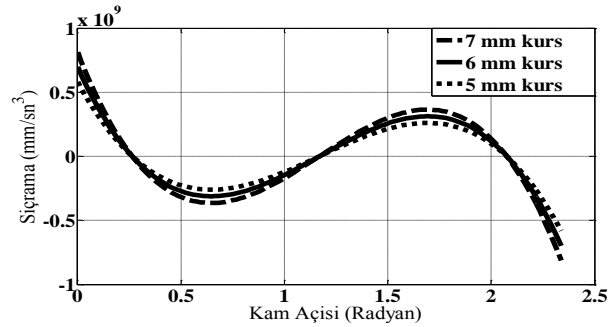


Şekil 7. 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen ivme eğrileri (Acceleration curves obtained with 3-4-5-6 polynomial method)

Supabın açılma ve kapanma anındaki geçiş noktalarında her iki eğri içinde ivme değeri sıfırdır. Supabın hızlanma sonu ve yavaşlama başlangıcındaki geçiş noktalarında hız anlık sabit kaldığı için ivme değerleri bu noktalarda sıfırdır. Supabın tam açık konumda olduğu 1,169 radyanda maksimum ivme değeri eksi yönde her iki eğri içinde maksimum değerdedir. Bu noktada çift harmonik hareket eğrisi, 3-4-5-6 polinomuna göre daha yüksek ivme değeri vermiştir. Şekil 8 ve 9'da farklı supap kursları için elde edilen sıçrama grafikleri görülmektedir. Maksimum sıçrama değerleri her iki yöntem ile elde edilen kam profillerinde supap kursuna bağlı olarak artmıştır. Eğer eğri sıfırdan başlayıp sıfırda biterse sürekli dir. Sıçramanın süreksizliği kam tasarım temel kuralını ihlal etmez fakat kam hareket mekanizmasının daha düzgün çalışması için sıçramanın sürekli olması tercih edilir [12]. Şekil 8 ve 9'da görüldüğü gibi çift harmonik hareket eğrisi ile elde edilen sıçrama eğrileri sürekli iken, 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen sıçrama eğrileri süreksizdir.



Şekil 8. Çift harmonik hareket eğrisi ile elde edilen sıçrama eğrileri (Jerk curves obtained with double harmonic motion curve)



Şekil 9. 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen sıçrama eğrileri (Jerk curves obtained with 3-4-5-6 polynomial method)

Farklı supap kursları için her iki hareket yöntemi ile elde edilen maksimum hız, ivme ve sıçrama değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Supap kursuna bağlı olarak elde edilen maksimum hız, ivme ve sıçrama değerleri (The maximum velocity, acceleration and jerk values obtained depend on valve stroke)

Çift Harmonik Hareket				3-4-5-6 Polinomu			
Supap Kursu	Hız (mm/s)	İvme (mm/s ²)	Sıçrama (mm/s ³)	Supap Kursu	Hız (mm/s)	İvme (mm/s ²)	Sıçrama (mm/s ³)
5 mm	1370	8,904.10 ⁵	5,136.10 ⁸	5 mm	1153	5,413.10 ⁵	5,817.10 ⁸
6 mm	1644	1,068.10 ⁶	6,163.10 ⁸	6 mm	1384	6,496.10 ⁵	6,981.10 ⁸
7 mm	1918	1,247.10 ⁶	7,19.10 ⁸	7 mm	1615	7,579.10 ⁵	8,144.10 ⁸

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada 2,338 radyan kam açısı ve 5,6,7 mm supap kurs miktarları için kam profilleri tasarlanmıştır. Her bir supap kursu için temel daire çapları belirlenip, yer değiştirme eğrilerine bağlı olarak kam profilleri polar koordinatlarda Matlab ile çizilmiştir. Kam temel daire çapının belirlenmesinde iticinin kama tek noktadan temas etme kriteri göz önüne alınmıştır. Her iki yöntemde de kam temel daire çapının supap kurs miktarına bağlı olarak büyüdüğü görülmüştür. Aynı supap kursu için çift harmonik hareket ile daha küçük temel daire çapına sahip kam profillerinin elde edilebileceği görülmüştür. Ayrıca 3-4-5-6 polinomu ile elde edilen maksimum hız ve ivme değerlerinin çift harmonik harekete göre daha düşük değerlerde iken maksimum sıçrama değerlerinin çift harmonik harekette daha küçük olduğu görülmüştür. Kam profili tasarımında sıçrama eğrisinin sürekli olması istendiğinden dolayı çift harmonik hareket eğrisi ile dinamik açıdan daha uygun kam profillerinin tasarlanabileceği görülmüştür. Ayrıca çift harmonik hareket ile 3-4-5-6 polinomuna göre daha küçük çaplarda ve hacimlerde kam profillerinin elde edilebileceği görülmüştür.

5. SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

s	Supap kursu, mm
v	Supap hareket hızı, mm/s
a	Supap ivmelenmesi, mm/s ²
h	Maksimum supap kursu, mm
θ	Kam dönüş açısı, radyan
β	Toplam kam açısı, radyan
ϕ	Yarıçapa bağlı dönüş açısı, radyan

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sarıdemir, S., İçten Yanmalı Dört Zamanlı Bir Motor İçin Supap Mekanizması Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
2. Wang, H.P., Lin, A.C., "Camex: An Expert System For Selecting Cam-Follower Design Parameters", The Int J Adv Manuf Tech, 4, 46-71, 1989.
3. Chan, Y.W., Sim, S.K., "Optimum Cam Design Using The Monte Carlo Optimization Technique", J Eng Design, 9, 29-45, 1998.
4. Carra, S., Garziera, R., Pellegrini, M., "Synthesis of cams with negative radius follower and evaluation of the pressure angle", Mech. Mach. Theory, 39, 1017-1032, 2004.
5. Navarro, O., Angeles, J., Wu, C.J., "The size-minimization of planar cam mechanisms", Mech Mach Theory, 36, 371-386, 2001.
6. Tsay, D.M., Huey, C.O., "Spline functions applied to the synthesis and analysis of nonrigid cam-follower systems", Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, 111, 561-569, 1989.
7. Terauchi, Y., Shakery, S.A.E., "A computer-aided method for optimum design of plate cam size avoiding undercutting and seperation phenomena-II: Design nomograms", Mech Mach Theory, 19, 235-241, 1984.
8. Karabulut, H., Sarıdemir, S., "Farklı Supap Açık Kalma Süreleri ve Kursları için Klasik Spline Yöntemi ile Elde Edilen Kam Profillerinin Karşılaştırılması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24, 509-515, 2009.
9. Norton, R.L., Cam Design and Manufacturing Handbook, Industrial Pres, Inc., New York, 45-160, 2002.
10. Sarıdemir, S., "Klasik Spline Yöntemi ile Tasarlanan Kam Profillerinin İncelenmesi", Politeknik Dergisi, 14 (4), 257-262, 2011.
11. Mandal, M., Naskar, T.K., "Introduction of Control Points in Splines for Synthesis of Optimized Cam Motion Program, Mech Mach Theory, 44, 255-271, 2009.
12. Chavan, U., Joshi, S., "Synthesis of Cam Profile Using Classical Splines and The Effect of Knot Locations on the Acceleration, Jump, and Interface Force of Cam Follower System, P I Mech Eng C-J Mec, DOI: 10.1177/0954406211405926