

ÇİTEN YANMALI MOTORLARDA ÇEVİRİSEL FARKLARIN ÖNEMİ

. Volkan ÖNER^{1*}, M. Akif CEVİZ²
Erdoğan GÜNER³, Hüseyin KÖKSAL⁴

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,
ivoner@atauni.edu.tr

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,
aceviz@atauni.edu.tr

³Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,
erdoganguner@atauni.edu.tr

⁴Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM,
huseyin.koksal@atauni.edu.

ÖZET

Buji atelemeli motorlarda bir çevrimden diğere silindir basıncı değişimi incelenmiş ve önemli seviyede farklılık olduğu görülmüştür. Çevrimsel farklar olarak adlandırılan bu değişimler, motor kararlı halde çalışırken bile vardır. Çevrimsel farklar, buji atelemeli motorların dizayn ve kontrol çalışmalarında dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Çevrimsel Farklar, Buji Atelemeli Motorlar.

CYCLIC VARIABILITY IN SPARK IGNITION ENGINES

ABSTRACT

There are significantly variations in cylinder pressure traces from cycle to cycle in spark ignition engines. The variations, named cyclic variability, exist even when engine is stable. Cyclic variability must be considered in the design and control of spark ignition engines.

Keywords: Cyclic Variability, Spark Ignition Engines.

1. GİRİŞ

Günümüzde içten yanmalı motorlar üzerine yapılan çalışmalar, motordan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek üzerine yoğunlaşmıştır. Motorun tüm çalışmaları sırasında efektif veriminin artırılması, güç kayıplarının en aza indirilmesi ve zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması araştırmaların temelini oluşturmaktadır.

* Sorumlu Yazar: ivoner@atauni.edu.tr

Otomotiv teknolojileri üzerine çalı anlar, ilgili di er disiplinlerle koordineli olarak performans, güvenlik ve konforu iyile tirirken, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve gürültü düzeyini azaltmayı, ayrıca, tüm bunları olabildi ince ta it maliyetine yansıtmadan yapmayı hedeflerler.

Performansın ve egzoz emisyonlarının iyile tirilmesi yanma olayının çok kısa bir zaman içinde verimli ekilde gerçekleşmesi ba lıdır. Yanma veriminin, motorun bütün çalı ma artlarında maksimum seviyede tutulması için mümkün olan çok sayıda parametrenin motorun çalı ma artlarına göre ayarlanması, yakıtın en verimli ekilde enerjiye dönü ümünü sa layacaktır. Bu amaçla motorlarda ate leme avansı, supap açılıp kapanma zamanları, sıkı tırma oranı ve hava/yakıt oranı gibi bazı i letme parametreleri motor hızına ve yüküne ba lı olarak de i tirilmektedir [1]

Bilindi i üzere, buji ate lemeli dört zamanlı bir motorda bir çevrim emme, sıkı tırma, yanma-geni leme ve egzoz zamanlarından oluşmaktadır. Motor çalı tı ı sürece bu zamanlar birbirini takip eder, fakat motor çalı ma artlarına ba lı olarak her bir çevrim özellikle yanma zamanında bir sonraki çevrimle aynı olmayıp farklılıklar gösterir. Her bir çevrim için krank mili açısına kar lık basınç grafikleri incelendi inde, ardı k çevrimlerin aynı yolu izlemedi i kolaylıkla görülecektir. Çevrimsel farklar olarak adlandırılan bu durum, buji ate lemeli motorların dizayn a masında göz önünde bulundurulması gereken parametrelerden birisidir. Çevrimsel farkların minimum miktarda tutulması istenir. Yapılan çalı malar çevrimsel farkların ortadan kaldırılması durumunda aynı yakıt tüketimi de eri için motor çıkı gücünde %10'a kadar artı olaca ını göstermektedir [2]

Çevrimsel farkların oluşmasında birçok kimyasal ve fiziksel faktör vardır. Silindir içerisinde bir önceki çevrimden kalan atık gaz oranı, hava-yakıt oranı, yakıtın bile imi ve yanma odası içerisinde yanmamı gazların hareketi bu faktörler arasında sayılabilir [3,4].

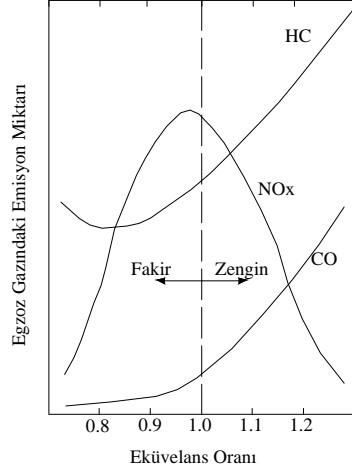
Bunun yanında çevrimsel farkların oluşumuna yol açan sebepler iki ana ba lık altında incelenebilir: 1- Atık gaz miktarındaki de i iklikler gibi bir önceki çevrim etkileri 2- Silindir içi akı karakteristiklerindeki de i iklikler gibi rastgele çevrim etkileridir. Her iki etki ekli de motorlarda sürekli cereyan etmekte ancak hangisinin daha baskın oldu u bilinmemektedir [5].

Çevrimsel farklar, özellikle fakir çalı ma artlarında önemli bir faktör haline gelmektedir. Fakir çalı ma durumu nitrojen oksit ve hidrokarbon emisyonlarını azaltmak ve yakıt ekonomisi sa lamak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, fakir yanma sınırına yakla tıkça çevrimsel farklar artmakta ve çevrim esnasında eksik yanmalar oluşmakta ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır. Bundan dolayı

çten Yanmalı Motorlarda Çevrimsel Farkların Önemi

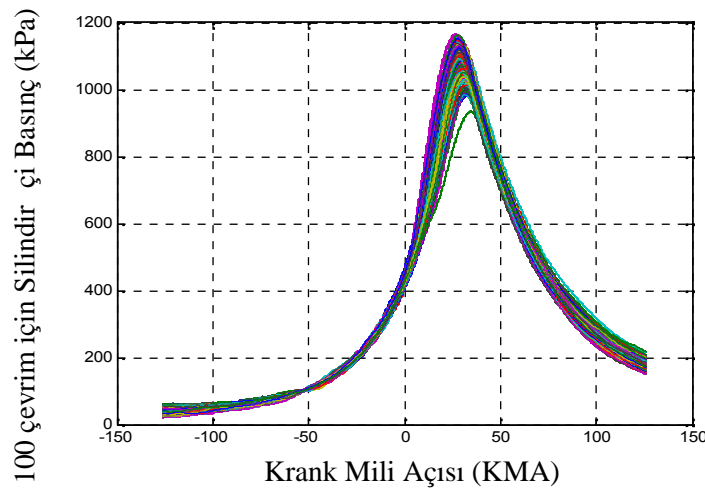
çevrimsel farkların minimizasyonu fakir yanmalı motorlarda özellikle verim açısından önemlidir [6].

Genel olarak, buji ate lemeli motorlarda emisyonlar, ekivelans oranına ba lıdır. ekil 1.1'de buji ate lemeli bir motorun emisyonlarının ekivelans oranı ile de i imi görülmektedir.



ekil 1.1. Buji ate lemeli bir motorun emisyonlarının ekivelans oranı ile de i imi [7]

Çevrimsel farklar sebebiyle, ortalama hava/yakıt oranı ve ate leme zamanlaması her zaman uyumlu olmalıdır. Silindir basıncındaki de i imlerin, araç sürü üyle yakından ilgili olan fren torkundaki de i imlerle ili kili oldu u söylenebilir. Silindir basıncındaki çevrimsel farkların bir örne i ekil 1.2'de gösterilmi tir. Orta yüklemeye veya orta hız noktasındaki birbirini takip eden çevrim için basınç krank açısının bir fonksiyonu olarak gösterilmi tir.



ekil 1.2. Krank mili açısı ile silindir içi basıncın de i imi.

Karı ımın a ırı hava ile fakirle mesi veya egzoz gazı resirkülasyonu ile seyreltilmesi ile, çevrimsel farkların büyüklü ü artar. Bazı çevrimler yeterli bir ekilde yava yanan çevrimlerdir, bunun sonucunda egzoz açıldı nda yanma tamamlanmamı tır, bu sebeple çevrimlerin bir kısmında kısmi yanmanın olu tu u bir rejim görülür. Fakir veya seyreltik karı ımlarda yanmama sınırına yakla ılır. Bu noktada, çevrimlerin bir kısmında karı ım tutu amaz. Buji ate lemeli motorlar, kısmi yanma veya yanmama rejimleri ile çalı maya devam etseler de, böylesine bir çalı ma durumu, efektif verim, zararlı egzoz emisyonları, tork-devir de i imleri ve motor efektif gücü açısından istenmez.

1.1. Çevrimsel Farkların Göstergeleri

Motor performans karakteristi i açısından en önemli olan yanma i lemindeki çevrimden çevrime farkların sonuçlarından biri indike ortalama efektif basınçtaki (IMEP) çevrimsel farklardır. ndike ortalama efektif basınç (IMEP), sırasıyla piston hareketinden dolayı silindir hacim de i imi ve silindir duvarlarındaki ısı kaybı, yanma i leminden serbest kalan ısı oranı gibi çe itli faktörleri belirleyen silindir basıncı ile ilgili bir parametredir.

[7] ve [8]'e 'a göre çevrimsel farklar, 4 parametreye göre gruplandırılır;

Basınç ile ilgili parametreler:

- Maksimum silindir basıncı, P_{max}
- Maksimum silindir basıncının olu tu u krank açısı, $\theta_{P_{max}}$
- Maksimum basınç artı hızı, $(dP/d\theta)_{max}$
- Maksimum basınç artı hızının görüldü ü krank mili açısı $\theta_{(dP/d\theta)_{max}}$
- Çevrimin indike ortalama efektif basıncı (IMEP)

Yanma ile ili kili parametreler:

- Maksimum ısı transferi, $(dQ/d\theta)_{max}$
- Maksimum kütleel yanma oranı, $(dX_b/d\theta)_{max}$
- Tutu ma gecikmesi, $\Delta_{\theta d}$
- Yanma süresi, $\Delta_{\theta b}$
- Belirli bir kütlenin tutu ma ile yanması arasında geçen zaman (krank açısında), $\Delta_{\theta xb}$

Alev cephesi ile ilgili parametreler:

- Alev cephesi pozisyonu,
- Silindirde iki belirli farklı noktaya alev cephesinin ulaşması sırasında krank açısının sapması,
- Farklı krank açısında kıvılcım boşluğundan alev çekirdeğinin merkezinin yer değiştirmesi.

Egzoz gazları ile ilgili parametreler:

- Egzoz içerisindeki farklı bileşenlerin konsantrasyonu,

Çevrimsel farkların meydana gelmesinde yukarıda söz edilen bütün parametreler aynı anda etkin olduğu bilinmekte olup, hangi parametrenin daha baskın olduğu hesaplanamamaktadır. Bu parametrelerden basınçla ilgili olanlar üzerine [8] tarafından bir analiz yapılmış ve sonrasında [7] tarafından geliştirilmiştir [9]

2. ÇEVİRİMSEL FARKLARIN GÖZLEMLENMESİ

Çevrimsel farkların gözlemlenmesinde ortalama indike efektif basınç değeri kullanılmaktadır. Silindir içerisinde ölçülen basınç verilerinden yola çıkılarak çevrimsel farklılıkların ifade edilmesi için varyans katsayısı $COV_{P_{mi}}$ kullanılmaktadır. Her çevrim için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerlerinin standart sapmasının ($\sigma_{P_{mi}}$), tüm çevrimler için hesaplanan indike ortalama efektif basınç değerinin ortalamasına (P_{mi}) oranı olarak tarif edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir [7]:

$$COV_{P_{mi}} = \frac{\sigma_{P_{mi}}}{P_{mi}} \times 100 \quad (1)$$

$COV_{P_{mi}}$ değeri yaklaşık %10'unu aşarsa zaman zaman genellikle sürümler konforunda problemler meydana gelir [7].

İndike ortalama efektif basınç, çevrim başına üretilen indike strok hacmine oranı ile hesaplanır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir:

$$P_{mi} = \frac{W_c}{V_d} \quad (2)$$

Burada W_c çevrim başına üretilen indike ve V_d strok hacmini göstermektedir. Çevrim başına üretilen indike ise:

$$W_c = \oint P dV \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

3. ÇEVİRİSEL FARKLARIN SEBEPLERİ

Çevrimsel farklar olarak adlandırılan bu durum, buji atelemeli motorların dizayn aşamasında göz önünde bulundurulması gereken parametrelerden birisidir. Çevrimsel farkların minimum miktarda tutulması istenir. Yapılan çalışmalar çevrimsel farkların ortadan kaldırılması durumunda aynı yakıt tüketimi de eri için motor çıkışı gücünde %10'a kadar artışı göstermektedir [2].

Genellikle, fakir karışımlarda elde edilen yüksek yanma hızı ve laminar yanma hızı sebebiyle oluşan motordaki çevrimsel farklar, karışımın ekivalans oranını etkileyen bir durumdur [2] Bu yüzden stokiometrik orandan herhangi bir sapma, tutulma gecikme zamanı ve çevrimsel farkların miktarındaki artışları olarak laminar yanma hızında azalmaya yol açar.

Buji atelemeli bir motorda çevrimsel farkları asgari düzeye indirmek önemli bir dizayn hedefidir. Çevrimsel farkların çok küçük bir miktarı dahi motorda hiç istenmeyen titreşimlere sebebiyet verebilir. Çevrimsel farkların büyük miktarı ise hidrokarbon emisyonlarının artmasına sebebiyet vermektedir. Motor üretim testi sonuçları çevrimsel farkların eksik yanmadan kaynaklandığını ileri sürmektedir [10]

Buji atelemeli motorlarda çevrimsel farklara etki eden faktörlerin bir özeti Çizelge 3.1'de verilmiştir [9]

Çizelge 3.1. Çevrimsel farklara sebep olan faktörlerin özeti [9]

Çevrimsel farka sebep olan faktör	Yanma esnasındaki etki; 1. Alev baskılaması ve kıvılcım 2. İlk alev çekirdeğinin gelişmesi 3. Türbülanslı alevin yayılması	Primer farkların sebebinin çeşidi	Bağıl katkı (aşağıdaki çizelgede açıklama için yıldızlar kullanılmıdır)
Türbülans şiddeti ve aralığı	2	Alev sıkı tırma, lokal baskılama, alev çekirdeği iletimi	Önemli
Toplam Hava/Yakıt Oranındaki çevrimsel fark	2	Alev çekirdeği büyüme oranının etkilediği laminar alev hızı	*
	3	Alev yayılma hızının etkilediği laminar alev hızı	Çalışmamı
Seyrelticilerin tüm ölçeklerindeki çevrimsel farklar	2	Alev çekirdeği büyüme oranının etkilediği laminar alev hızı	*
	3	Alev yayılma hızının etkilediği laminar alev hızı	**
Homojen olmayan uzaysal karışım	2	İk girdaplı yanmada karışım bileşimleri	Üniform olmayan skalaya dayalı
Silindir dolumundaki çevrimsel farklar	3	Her çevrimdeki yanma yakıtın miktarı	Anlamlı (Tek bir çalışmanın sonucudur)
Ortalama akı vektöründeki çevrimsel farklar	1	Kıvılcım boaltım karakteristiklerinin etkilediği kıvılcım boyunun uzunluğu	Küçük
	2	Çekirdek ilerleme hız vektörü	Küçük, ***
Kıvılcım boaltım karakteristiklerindeki çevrimsel farklar	1	Sıcak plazma çekirdeğinin baskılamadaki boyutu	Çalışmamı, ****
	2	Alev çekirdeği içinde depolanan enerji miktarı ve oranı	Çalışmamı, ****
Kıvılcım stresi	1	Kıvılcım bozunma enerjisinin etkilediği termodinamik artlar	Özellikle elektronik ateleme sistemlerinde önemsiz
	3	Çevrimdeki yanma evresi	

Yorumlar;

* Homojen olmayan karışımların etkisiyle beraber hem hava/yakıt oranındaki hem de seyreltiklerin bir kısmındaki çevrimsel farklar, lokal karışım örneklerini içeren çalımalardan çıkarılabilir. Bu birle tirilmi etki, önemli ölçüde tahmin edilebilir.

** Bu etki silindir emme sırasında çevrimsel farkların etkisi ile birle tirilir. (Çevrimdeki azalmı artık miktarı, ço unlukla yanma yakıtın miktarının artı na e lik eder, böylece toplam etki büyür.)

*** Alev çekirdeindeki çevrimsel farklara, hem rastgele türbülans dalgalanması hem de ortalama akı hızındaki çevrimsel farklar yol açar. Buradaki, ortalama akı hızındaki çevrimsel farkların daha az önemli oldu u dü ünülür.

**** Buji ate lemesi sırasındaki çevrimsel farklar, ço unlukla ortalama akı hızındaki çevrimsel farkların ikincil bir etkisidir.

4. SONUÇLAR VE ÖNER LER

Çevrimsel farklar, özellikle fakir çalı ma artlarında önemli bir faktör haline gelmektedir. Fakir çalı ma durumu, azot oksit ve hidrokarbon emisyonlarını azaltmak ve yakıt ekonomisi sa lamak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, fakir yanma sınırına yakla tıkça çevrimsel farklar artmakta ve çevrim esnasında eksik yanmalar olu maktadır ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır. Bundan dolayı çevrimsel farkların azaltılması fakir karışımı motorlarda özellikle verim açısından önemlidir. Ayrıca, çevrimsel farklar araç sürü konforuna etki eden titre imlerin ba lı ca nedenidir. Çevrimsel farkları azaltıcı bütün çalı malar, motor performansını arttırmaya ve zararlı egzoz emisyonlarını ise azaltmaya öncülük eder. Bu nedenle buji ate lemeli motorlarda çevrimsel farkları iyi anlamak ve böylelikle çevrimsel farkların zararlı etkilerini azaltmaya yönelik dizayn çalı maları yapmak önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Çelik, M.B., (1999), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara.
- [2] Young, M.B., (1981), *SAE Paper No:810020*.
- [3] Ceviz, M.A. ve Yüksel F., (2004), *8. Uluslar arası yanma sempozyumu*, Ankara.
- [4] Ceviz, M.A. and Yüksel F., (2005), *Applied Thermal Engineering* 25, 917-925.
- [5] Dai, W., Trigui N., and Lu Y., (2000), *International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition*, Paris, France, *SAE Paper No: 2000-01-2036*.
- [6] Öner .V., (2009), *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

çten Yanmalı Motorlarda Çevrimsel Farkların Önemi

[7] Heywood, J.B., (1998), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 1988. McGraw-Hill Book Co.

[8] Matekunas, F.A., (1983), *SAE Paper No: 830337*.

[9] Ozdor, N., Dulger M., and Sher E., (1994), *SAE Paper No:940987*.

[10] Scholl, D. and Russ S., (1999), *SAE Paper No: 1999-01-3513*.