



ÇOK SİLİNDİRLİ BİR MOTORDA EMME VE EGZOZ SİSTEMİ GEOMETRİSİNİN PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

(THE EFFECT OF GEOMETRIES OF INLET AND EXHAUST SYSTEMS ON THE
PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A MULTICYLINDER ENGINE)

Uğur KESGİN*

ÖZET/ABSTRACT

Çok silindirli bir motorda dolgu değişimi optimizasyonu sayesinde motor performans karakteristikleri iyileştirilebilir. Dolgu değişimi optimizasyonunda amaç; valf zamanlamasını, varsa aşırı doldurma grubu dahil emme ve egzoz sistemi geometrisini birlikte belirlemektir. Bir araştırma projesi kapsamında, bir doğal gaz motoru serisinin dolgu değişimi optimize edilmiştir. Emme ve egzoz sistemi dahil olmak üzere tüm motor sonlu farklar yönteminin kullanıldığı bir dolgu değişimi program sisteminde modellenmiştir. Öncelikle kullanılan sayısal yöntem ve seçilen motor modelinin doğruluğu deneylerle kanıtlanmıştır. Daha sonra, motor parametrelerinin performans etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, V20 silindirli bir motorda emme ve egzoz sistemi geometrisinin motor karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Özellikle egzoz sistemi geometrisinin motor verimine büyük bir etkisi olduğu görülmüştür.

The performance characteristics of a multicylinder engine can be improved by optimisation of gas exchange process. The aim of optimisation of gas exchange process is determination at the same time of valve timing and geometry of inlet and exhaust systems with inserting turbocharging system if exists. The gas exchange process of a natural gas engine's series has been optimised within a research project work. The whole engine including inlet and exhaust systems modelled in a engine cycle simulation code where finite difference method is used. Initially, numerical method and engine model used in this work have been verified by experiments. Then, the effects of engine parameters have been investigated for engine performance. In this paper, an V20 cylinder engine has been taken into account for investigation of inlet and exhaust systems on engine performance. Finally, it is shown that the geometry of exhaust system has an important effect on engine performance

ANAHTAR KELİMELER / KEY WORDS

Motor, Egzoz Sistemi, Dolgu Değişimi Prosesi

Engine, Exhaust System, Gas Exchange Processes

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorların geliştirilmesinde büyük ölçüde belirleyici olan yakıt tüketiminin düşürülmesi, egzoz ve gürültü emisyonları ile işletme karakteristiklerinin iyileştirilmesidir. Gittikçe zorlaşan yasal istekler ve rekabet koşulları içten yanmalı motordan beklenenleri artırmakta, aynı şekilde araştırma-geliştirme süresinin ve maliyetinin azaltılmasını gerektirmektedir.

Bu koşullar altında, motor optimizasyonu için kullanılan sayısal yöntemlerin önemi gittikçe artmaktadır. Sayısal yöntemlerle ilgili gelişmeler, tüm motor prosesine derinlemesine bir bakışı olanaklı kılmaktadır. Modern motor tasarımında yer alan çok yönlü istekler, motor optimizasyonu için farklı sayısal yöntemlerin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Farklı sayısal yöntemlerin etkili şekilde birlikte kullanımı araştırma-geliştirme başarısının anahtarıdır. Bir motor çevrimi göz önüne alındığında, dolgu değişimi hesaplarının öneminin büyük olduğu görülür. Ön ve seri araştırma döneminde dolgu değişimi hesaplarından genel motor parametrelerinin belirlenmesi için yararlanılmaktadır. Konstrüksiyon aşamasında ise, dolgu değişimi hesapları önemli geometrik büyüklüklerin belirlenmesine yaramaktadır.

Dolgu değişimi optimizasyonunda amaçlar şunlardır (Hannibal, 1995):

- § Emme/Egzoz borularının boyutlandırılması
- § Rezonans emme sisteminin belirlenmesi
- § Kam profili ve valf zamanlamasının belirlenmesi
- § Değişken valf zamanlamasının etkisinin incelenmesi
- § Farklı emme/egzoz kanallarının incelenmesi
- § Farklı aşırı doldurma sistemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi

Dolgu değişimi ile birlikte tüm motor çevrimini modellemek için kullanılan farklı yöntemler Çizelge 1’de sıralanmıştır (Sams, 1991).

Çizelge 1: Dolgu değişimi için kullanılan sayısal yöntemler ve özellikleri

Sayısal Yöntem	Model Özellikleri ve Temel Denklemler
<u>SIFIR-BOYUTLU</u> Doldur-Boşalt Yöntemi	<i>Sanki stasyonær akım ve hacimsel genleşmesi olmayan depo varsayımı yapılır. Her bir alt sistem içim enerji ve süreklilik denklemi ile akım fonksiyonu geçerli</i>
<u>BİR – BOYUTLU</u> Karakteristikler Yöntemi	<i>Basınç gradyanları düşük Boru içinde basınç dalgası ilerleme süreleri dikkate alınır Enerji-, süreklilik- ve momentum denklemleri ile akım fonksiyonu</i>
<u>BİR – BOYUTLU</u> Sonlu Farklar Yöntemi	<i>Zamana bağılı ve bir boyutlu yerel akım özellikleri belirlenebilir Enerji-, süreklilik-, momentum denklemleri ve akım fonksiyonu</i>
<u>ÇOK BOYUTLU</u> Sonlu Hacimler Yöntemi	<i>İki ve üç boyutlu olarak akım incelenebilir Enerji-, süreklilik-, momentum denklemleri ve Türbülans modeli</i>

Çizelge 1’de özetlenen sayısal yöntemlerin kullanım alanları incelenen sistemdeki fiziksel olaylar, modelleme teknikleri ve hesaplama süresi ile belirlenir. Sıfır boyutlu hesap yöntemleri emme ve egzoz devreleri olabildiğince kısa olan düşük ve orta devirli Diesel motorlar için kullanılabilir. Karakteristikler yöntemi ise, kesiti sabit boru devrelerindeki gaz akımını hesaplamaya yarar ve düşük devir sayılarında motor emme sistemlerinin modellemesinde kullanılabilir. Sonlu farklar yöntemi ile dolgu değişimi devreleri gerçeğe yakın olarak modellenebilir. Gaz akımını etkileyen tüm kısılma noktaları uygun sınır koşulları ile hesaplanabilir. Çok boyutlu yöntemler ise, çok uzun hesap süreleri ve yüksek kapasiteli bilgisayar gerektirmeleri nedeniyle, şu an için çok silindri motorların dolgu değişimini hesaplamakta ve modellemekte kullanılmamaktadırlar (Kesgin, 1996).

2. BİR BOYUTLU GAZ AKIMININ HESAPLANMASI: SONLU FARKLAR YÖNTEMİ

Yüksek devirli motorlarda dolgu değişiminin gerçeğe yakın olarak modellenmesi stasyonier olmayan gaz akımının uygun yöntemlerle hesaplanmasını gerektirmektedir. Bir boyutlu gaz akımını modelleyen süreklilik, enerji ve momentum denklemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler iki ana gruba ayrılırlar (Bulaty vd..., 1993).

Karakteristikler yönteminde çözüm, karakteristikler boyunca aranır ve kesit noktalarında tam doğrudur. Verilen bir noktadaki veya zaman adımıdaki değeri elde etmek için yapılan interpolasyon, hesap duyarlılığının azalmasına neden olmaktadır (Bulaty vd..., 1993).

Sonlu farklar yönteminde ise, süreklilik, enerji ve momentum denklemleri bir Taylor serisine açılır ve gerekli türevler farklar yardımıyla elde edilir. Çoğunlukla serinin ilk iki terimi dikkate alınması yeterlidir ve bu nedenle 2. dereceden bir hassasiyetten söz edilir (Bulaty vd..., 1993).

Sonlu farklar yöntemi ile gaz akımının hesaplanmasına ilişkin ayrıntılar hakkında daha fazla bilgi kaynaklardan elde edilebilir (Bulaty vd..., 1993; Heywood, 1988; Kesgin, 1996).

3. ÖNEMLİ GEÇİŞ (SINIR) KOŞULLARININ HESAPLANMASI

İçten yanmalı bir motorun emme ve egzoz boru sistemi, her biri alt sistem olarak ele alınabilecek farklı geçiş noktalarından oluşmaktadır. Bunlar, 'yüklenebilen ve yüklenemeyen geçiş noktası' olarak iki grupta toplanabilirler:

- § **Yüklenebilen geçiş noktası:** Geçiş noktasında (kontrol hacminde) kütle ve enerji depolanabilir (Örnek: Silindir, depo, boru sonu, egzoz türbini, kompresör).
- § **Yüklenemeyen geçiş noktası:** Geçiş noktasında (kontrol hacminde) kütle ve enerji depolanamaz (Örnek: Boru kavşağı, boru içinde kısılma noktası)

Farklı sınır koşullarının hesaplanmasına ilişkin ayrıntılar kaynaklarda bulunmaktadır (AVL-List, 1995; Kesgin, 1996; Pischinger, 1989; Seifert, 1990).

4. DOLGU DEĞİŞİMİNİN ÖNEMLİ KARAKTERİSTİKLERİ

Dolgu değişimini karakterize eden önemli büyüklükler Çizelge 2' de tanımlanmıştır.

Çizelge 2: Dolgu değişimini karakterize eden büyüklükler (Pischinger vd..., 1989)

İç Verim : Ekonomikliğin bir ölçüsüdür ve hacim değiştirme işininin, $\int pdV$,verilen yakıt enerjisine , $m_{Kr} H_u$, oranı olarak tanımlanır.	$ETA_i = \frac{\int pdV}{m_{Kr} H_u}$
Hacimsel Verim : Hacimsel verim dolgu değişiminin başarısını belirtir ve dolgu değişiminden sonra silindirde kalan taze dolgu kütlelerinin, m_{Fr} , dış ortam koşullarında , (r_o, T_o) , strok hacminin , V_h , alabileceği kütleyle oranıdır.	$LG = \frac{m_{Fr}}{r_o V_h}$
Dolgu Değişimi İçin Ortalama İç Basınç (4-Zamanlı Motor): Ortalama iç basınç, motor çevriminin dolgu değişimi (alçak basınç) ve yüksek basınç kısımları için ortalama iç basınçların bir toplamıdır. Dolgu değişimi için ortalama iç basınç; dolgu değişimi boyunca ortaya çıkan hacim değiştirme işininin strok hacmine oranıdır.	$P_{mi-LW} = \frac{\int pdV}{V_h}$

5. BİR MOTORUN MODELLENMESİ VE HESAPLANMASI

Çok silindirli motorlarda her bir silindirin dolgu değişimi diğerlerinden büyük ölçüde etkilenir. Ayrıca, emme ve egzoz sistemindeki kısılma noktaları, dönüşler ve kesit değişimleri basınç kayıplarına ve basınç dalgalarının yansımalarına neden olmaktadır.

Dolgu değişimi program sistemleri yardımıyla bir motorun hesaplanması sayesinde motorun emme ve egzoz sistemindeki fiziksel olayların gerçeğe yakın analizi olanaklıdır. Ayrıca, böylelikle hem motorun zayıf yönleri ortaya çıkarılabilmekte hem de gelişme potansiyeli elde edilebilmektedir.

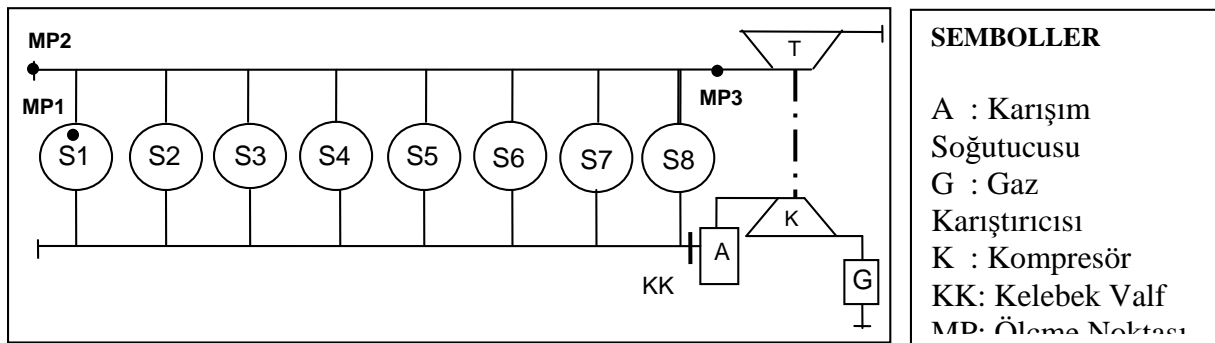
Eğer uygun bir hesap modelinde geometrik ve fiziksel başlangıç ve sınır koşulları gerçeğe yakın alınmışsa, içten yanmalı bir motorun dolgu değişiminin sayısal optimizasyonu başarıyla gerçekleştirilebilir. Seçilen sayısal yöntem tüm kısılma noktalarının uygun akış katsayıları ve motor parametreleri yardımıyla hesap modelinde dikkate alınmasına olanak vermektedir. Benzer bir hesap modelinin belirlenmesinde ve deney sonuçları yardımıyla doğruluğunun kanıtlanmasında, hem deneysel sonuçlar hem de kullanılan sayısal ve geometrik yaklaşımlar büyük belirsizlikleri de beraberinde getirir. Bu sorunun giderilmesi için duyarlık analizleri yapılır. Böylelikle hem açık veya belirsiz olan motor parametrelerinin etkisi inceleyebilir hem de motor deneylerinden elde edilen sonuçlar ile iyi bir karşılaştırma elde edilebilir.

Aşağıda önce karışım aşırı doldurmalı bir gaz motoru, sonlu farklar yöntemiyle gaz akımını hesaplayan dolgu değişimi program sistemi BOOST (AVL-List, 1995) ile hesaplanmıştır. Daha sonra sayısal sonuçlar deneylerden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Motor (Hesap) Modeli

Modeli geliştirilen motor (16 silindirli, V yapı tarzında, ortalama efektif basınç 14 bar, çap 190 mm, strok 220 mm, devir sayısı 1500 d/d) birleşik ısı-güç santralleri için üretilmiş olup, jeneratör tahrikinde kullanılmaktadır.

Her bir silindir sırası için ayrı bir aşırı doldurma grubu mevcut olduğundan, ‘sadece bir silindir sırası’ modellenmiştir (Şekil 1). Hesap modelinde 8 silindir, 1 aşırı doldurma grubu, bir karışım soğutucusu, çok sayıda boru parçası, 4 boru sonu (ikisi açık, ikisi kapalı), 16 boru kavşağı, bir gaz karıştırıcısı ve çok sayıda kısılma noktası ile ölçme noktası bulunmaktadır.



Şekil 1: V16-Silindirli Motora Ait Hesap Modeli

Motor, metan sayısı 96 olan doğal gazla çalıştırılmaktadır. Karışım oluşumu için kompresörün önünde karbüratör gibi çalışan bir gaz karıştırıcısı (G) vardır. Kompresörden sonra ise karışım soğutucusu (A) bulunmaktadır. Gaz karıştırıcısı hesap modelinde, yakıt girişli bir kısılma noktası olarak alınmıştır.

Yük ayarı, karışım soğutucusu ile 'V-hacmi' arasında bulunan bir kelebek valf yardımıyla yapılmaktadır. 'V-Hacmi' silindir sıraları arasındaki hacim olup, silindirler karışımı buradan emmektedirler. Hesap modelinde V-hacmi boru olarak göz önüne alınmıştır.

Her bir silindir için 2 emme ve 2 egzoz valfi mevcuttur. Valf strokuna bağlı olarak valf eğrileri ve ilgili akış katsayıları veri olarak girilmiştir.

Yanma, emme valfi önünde ve silindirde ölçülen zamana bağlı basınç gidişlerinin ve ilgili diğer deney sonuçlarının ve motor parametrelerinin veri olarak kullanılmasıyla MOSES (Motor Simulation and Evaluation System) program sisteminden elde edilen yanma gidişi ile modellenmiştir (Wehinger vd..., 1992).

Silindir içindeki ısı transferi için Woschni eşitliği kullanılmıştır (Pischinger vd..., 1989). Yanma odası eleman sıcaklıkları deney sonuçlarından elde edilmiştir.

Bu motor serisi için 'sabit basınç aşırı doldurma' sistemi seçilmiştir. Her bir silindirden akan egzoz gazları ortak bir egzoz toplama borusunda toplanmakta ve buradan tek girişli bir egzoz türbinine akmaktadır. Aşırı doldurma grubu için hem türbin ve kompresörün karakteristik alan eğrileri hem de deney sonuçları veri olarak kullanılmıştır.

İkiden fazla borunun birleştiği bağlantılar boru kavşağı olarak modellenmiştir.

Türbinden sonra, gürültü ve egzoz gazı sistemleri bulunmaktadır. Türbinden sonra bulunan bu sistemler hesap modelinde dikkate alınmamış olup, hesap modeli türbinden sonra susturucu girişine kadardır. Bu sistemlerin kısma etkisi, türbin arkasındaki çevre basıncı yükseltilerek modellenmiştir. Böylelikle, hesap için gerekli süre de kısaltılmıştır.

5.2. Hesap ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Alçak ve yüksek basınç ölçümleri modern bir deney düzeneğinde ve modellenen V16 silindirli motorda yapılmıştır. Ayrıca, alçak ve yüksek basınç verilerinin yanı sıra, genel motor bilgileri, aşırı doldurma grubu verileri, yağlama yağı ve soğutma suyu sistemlerine ait sıcaklıklar ve basınçlar, egzoz emisyonları vb gibi integral ölçme sonuçları da elde edilmiştir.

İyi bir karşılaştırma yapabilmek için, şekil 1' deki hesap modeline uygun olarak aşağıdaki noktalarda zamana bağlı basınçlar ölçülmüştür:

- § 1 Numaralı silindirin yanma odası (MP 1)
- § Egzoz borusunda türbin önündeki ölçme noktası (MP3)
- § Egzoz borusunun kapalı ucundaki ölçme noktası (MP2)

Bu ölçme sonuçlarından hareketle önce MOSES program sistemi ile yanma gidişi elde edilmiş ve bu yanma gidişi BOOST program sisteminde veri olarak kullanılmıştır.

Hesap modelinin doğruluğunun kanıtlanması için yapılan duyarlılık analizleri (Kesgin, 1996) burada tartışılmayacaktır.

Hesaplanan ve ölçülen işletme değerlerinin ayrıntılı bir karşılaştırması Çizelge 3' de gösterilmiştir. Çizelge 3' de görülen hesaplanan ve ölçülen ana değerler arasındaki karşılaştırma hem kullanılan sayısal yöntemin hassasiyetini hem de hesap modelinde seçilen parametrelerin ve değerlerin gerçeğe yakınlığını kanıtlamaktadır.

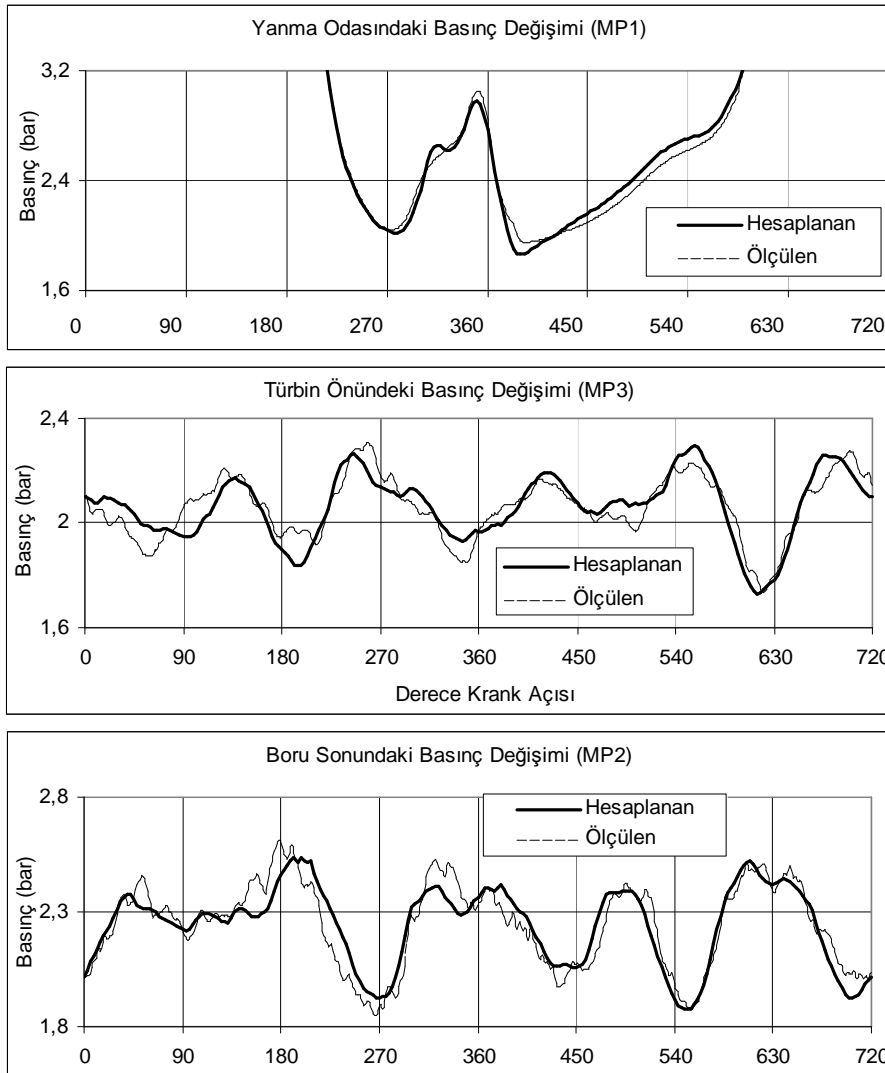
Çizelge 3'de verilen karşılaştırmanın yanı sıra; şekil 1'de verilen ölçme noktalarına uygun olarak 1 numaralı silindirin yanma odasında, türbin önünde ve egzoz borusunun kapalı ucunda ölçülen basınçlar hesaplananlar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Şekil 2'de, ölçülen ve hesaplanan basınç değişimleri arasında hem genlik hem de faz açısından çok iyi bir yakınlık görülmektedir.

Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki uygunluk kullanılan sayısal yöntemin hassasiyetini ve seçilen hesap modelinin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Bu hesap modeli kullanılarak farklı motor parametrelerinin ve geometrik özelliklerin etkisi incelenebilir.

Çizelge 3: Hesaplanan ve ölçülen değerlerin karşılaştırması

Büyüklik	Hesaplanan (H)	Ölçülen (Ö)	Fark (H-Ö)
Kompresör önündeki basınç (bar)	0.906	0.903	0.003
Kompresör önündeki sıcaklık (K)	289	290	-1
Kompresör arkasındaki basınç (bar)	2.620	2.620	0.000
Kompresör arkasındaki sıcaklık (K)	414	419	-5
Kelebek valf arkasındaki basınç (bar)	2.558	2.555	0.003
Kelebek valf arkasındaki sıcaklık (K)	324	324	0
Türbin önündeki basınç (bar)	2.063	2.042	0.021
Türbin önündeki sıcaklık (K)	846	839	7
Türbin arkasındaki basınç (bar)	0.983	0.999	-0.016
Türbin arkasındaki sıcaklık (K)	736	706	30
(*) Ortalama basınç (bar)	15.59	14.05	1.54
Hava fazlalık katsayısı (-)	2.04	2.04	0.00
Motor verimi (%)	39.8	39.7	0.1
Yakıt tüketimi (g/s)	44.70	44.76	-0.06

(*) Hesaplanan değer iç basıncı, ölçülen değer efektif basıncı göstermektedir. Aradaki fark sürtünme basıncıdır.



Şekil 2: Hesaplanan Ve Ölçülen Basınç Değişimlerinin Karşılaştırılması

6. EMME VE EGZOZ SİSTEMİ GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

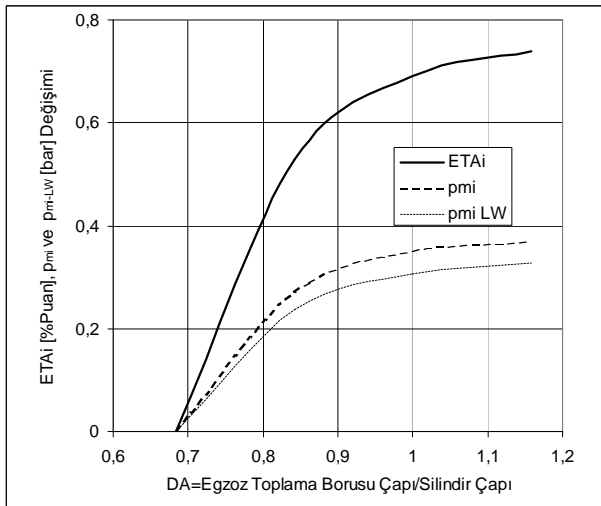
Kullanılan sayısal yöntem ve seçilen hesap modeli esas alınarak, araştırma projesinin daha sonraki aşamalarında, gaz motoru serisinin farklı silindir sayılarındaki (V12, V16, V20) versiyonlarının valf zamanlamaları, kam profilleri, emme ve egzoz sistemi geometrileri, aşırı doldurma grubu parametreleri ile emme ve egzoz kanalları optimize edilmiştir. Ayrıca, geleceğe yönelik olarak motor verimi ve işletme parametrelerinin iyileştirme potansiyeli ortaya konmuştur. Burada, V20 silindirli bir motorda, emme ve egzoz sisteminin geometrik özelliklerinin motor parametrelerine etkisi incelenmiştir. V20 Silindirli motorun hesap modeli, V16 silindirli motorun modeline 2 silindir daha eklenerek elde edilmiştir (Şekil 1).

6.1. Egzoz Toplama Borusu Çapının Etkisi

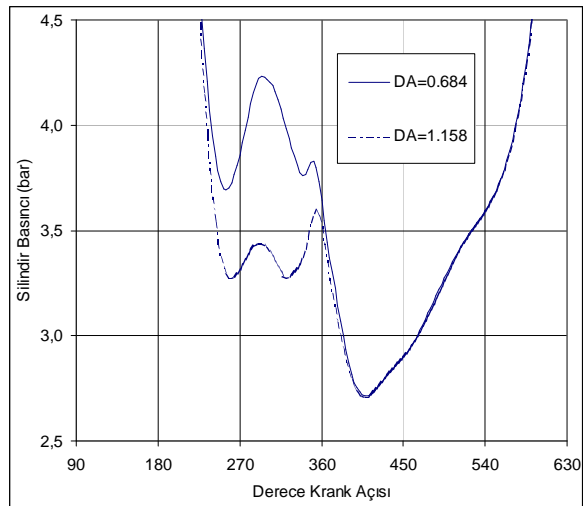
Araştırılan gaz motoru serisi için ‘sabit basınç aşırı doldurma sisteminin’ seçildiği daha önce belirtilmişti. İdeal sabit basınç aşırı doldurma sistemini gerçekleştirmek için egzoz toplama borusunun çapı optimize edilmiştir.

Egzoz toplama borusu çapının etkisini elde etmek için, hesap modelinde boru çapının silindir çapına oranı (DA) yaklaşık 0.7’ den 1.2’ ye kadar değiştirilmiştir.

Motor iç verimi, ortalama iç basınç (p_{mi}) ve dolgu değişimi için ortalama iç basınç ile ilgili sonuçlar şekil 3’ te gösterilmiştir. Buradan, motor iç verimi ve benzer olarak ortalama iç basıncının artan boru çapı ile yaklaşık doğrusal olarak arttığı ve yaklaşık DA=1.1 oranından sonra etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Bu, egzoz toplama borusunun boyutlandırılması için önemli bir bilgidir.



Şekil 3: Egzoz Toplama Borusu Çapının Motor Parametrelerine Etkisi

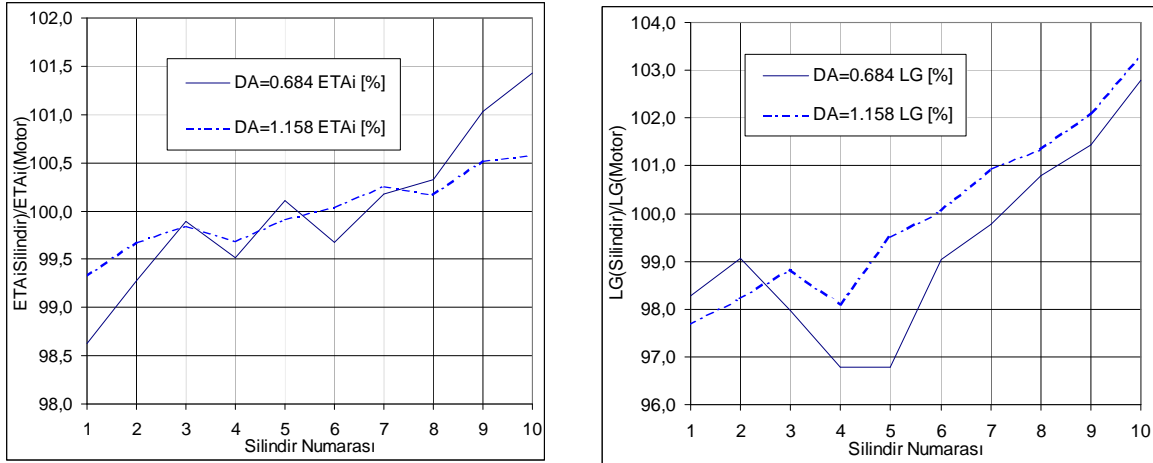


Şekil 4: Egzoz Toplama Borusu Çapının Silindir İçi Basınç Değişimine Etkisi

Egzoz toplama borusu çapının silindir çapına oranı, elbette toplama borusuna bağlı olan silindir sayısı ve motor yüküne (ortalama basıncına) bağlıdır. V12 Silindirli motor göz önüne alınırsa, aynı motor yükünde motor iç verimi DA=0.9 için en yüksek değerine erişmektedir.

Motor iç veriminin artan boru çapı ile artmasının nedeni aslında dolgu değişimi için ortalama iç basıncın artmasıdır. Dolgu değişimi için ortalama iç basınç artışı göstermek amacıyla şekil 4’ te farklı egzoz toplama borusu çap oranları için dolgu değişimi periyodundaki silindir basınçları çizilmiştir. Egzoz strokundaki silindir içi basınç seviyesinin artan boru çapı ile düştüğü şekilden görülmektedir.

Çok silindirli motorların emme ve egzoz sisteminin optimizasyonunda amaç, silindirlerin olabildiğince eşit çalışmasını sağlamaktır. Şekil 5'te, farklı egzoz toplama borusu çap oranları için her bir silindire ait iç verim değerleri, tüm silindirlere ait ortalama değerler olarak gösterilmiştir. İki farklı çap oranı (0.684 ve 1.158) için çizilen sonuçlar, motor silindirlerinin artan egzoz toplama borusu çap oranıyla daha eşit çalıştıklarını göstermektedir. En kötü ve en iyi çalışan silindirlerin iç ve hacimsel verimleri arasındaki fark, çap oranının 0.684 olması durumunda sırasıyla % 2.8 ve % 6 iken, çap oranının 1.158 olması durumunda yine sırasıyla % 1.25 ve % 5.6 olmaktadır.



Şekil 5: Egzoz Toplama Borusu Çap Oranının Her Bir Silindirin İç ve Hacimsel Verimine Etkisi

6.2. Emme Ve Egzoz Borularının Uzunluklarının Etkisi

Emme hacminden silindir kafasına olan emme borusu uzunluğu ile silindir kafasından egzoz toplama borusuna olan egzoz borusu uzunluğunun etkisi araştırılmıştır.

Emme borusu uzunluğunun artırılması ile motor iç veriminin çok az düştüğü görülmüştür.

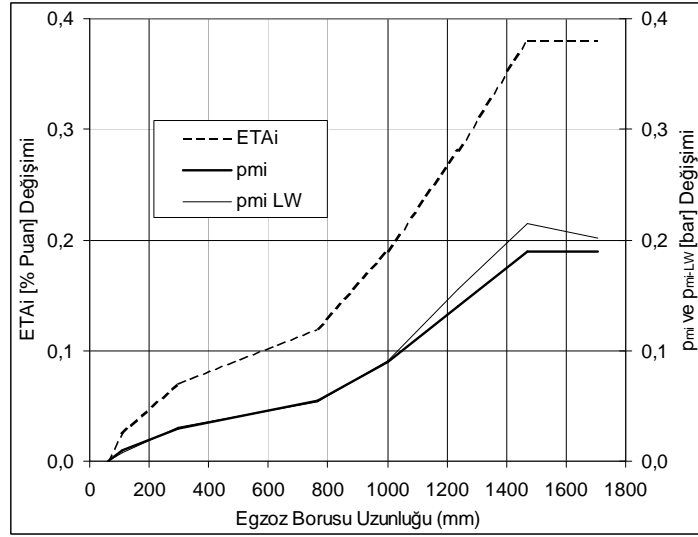
Egzoz borusu uzunluğunun motor iç verimine, ortalama iç basınca ve dolgu değişimi için ortalama iç basınca etkisi şekil 6'da görülmektedir. Artan egzoz borusu uzunluğu ile motor iç verimi artmaktadır. Bunun nedeni, silindir arasındaki basınç dalgası erişim zamanının artan boru uzunluğu ile artması ve silindirlerin birbirlerini karşılıklı olarak daha az etkilemesidir. Bu ise, dolgu değişimi için ortalama iç basıncın, dolayısıyla motor ortalama iç basıncının artması demektir.

6.3. Türbin Arkasındaki Boru Çapının Etkisi

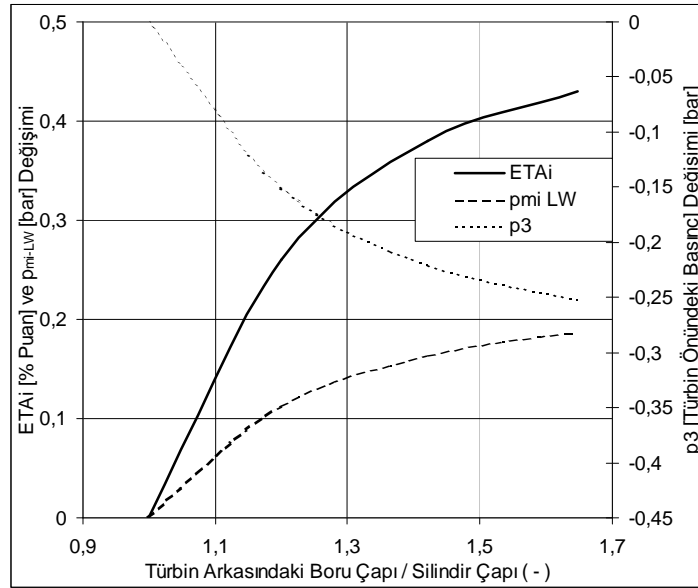
Egzoz sistemi geometrisini tamamen optimize etmek için, türbin arkasındaki boru çapının etkisi araştırılmıştır. Bunun için V20 silindirli motorda egzoz toplama borusu çapı silindir çapına eşit (190 mm) alınarak, türbin arkasındaki boru çapının etkisi hesap modelinde incelenmiştir.

Yapılan hesapların sonuçları şekil 7' de gösterilmiştir. Şekil 7' den görüldüğü gibi, motor iç verimi artan boru çapı ile artmaktadır.

Türbin arkasındaki boru çapının silindir çapına oranı 1.0 dan 1.6' ya çıkarılırsa, motor iç veriminde 0.43 puanlık bir artış sağlanır. Aynı zamanda, türbin önündeki basınç (p_3) 0.25 bar civarında düşer ve bu nedenle de dolgu değişimi için ortalama iç basınç 0.25 bar civarında artar. Dolgu değişimi için ortalama iç basıncın artması iç verim artışının da nedenidir.



Şekil 6: Egzoz Borusu Uzunluğunun Motor Parametrelerine Etkisi



Şekil 7: Türbin Arkasındaki Boru Çapının Motor Parametrelerine Etkisi

7. SONUÇ

Sabit basınç aşırı doldurma yönteminin uygulandığı çok silindirli bir motorda, emme ve egzoz sistemi geometrisinin performans parametrelerine etkisinin incelendiği bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- § Emme boruları mümkün mertebe kısa
- § Egzoz toplama borusu çapı yaklaşık olarak silindir çapına eşit
- § Türbin arkasındaki egzoz borusu çapı, türbin önündekinin en az 1.6 katı
- § Egzoz boruları en az silindir çapının 7 katı uzunlukta olmalıdır.

SEMBOLLER

r	Yoğunluk
DA	Egzoz Toplama Borusu Çapı/Silindir Çapı Oranı
ETA_i	Motor iç verimi
H_u	Yakıt alt ısı değeri
LG	Hacimsel Verim
m_{kr}	Çevrim başına motora verilen yakıt miktarı
p	Basınç
p_{mi}	Motor ortalama iç basıncı
p_{mi-LW}	Dolgu değişimi için ortalama iç basınç
T	Sıcaklık
V	Hacim
V_h	Strok hacmi

8. KAYNAKLAR

- AVL-LİST (1995): "User Manuel for AVL BOOST", AVL List GmbH, Department for Applied Thermodynamics
- BULATY, T.; WİDENHORN, M.; CORBERAN, J.M. (1993): Berechnung der instationären Strömung in verzweigten Auspuffsystemen, "Motortechnische Zeitschrift", Nr.4/1993
- HANNİBAL, W.; LUKAS, F. (1995): Rechnergestützte Auslegung des Audi-Fünfventil-Zylinderkonzeptes, "Motortechnische Zeitschrift", Sonderdruck 1995, s. 22-29
- HEYWOOD, J.B. (1988): Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York
- KESGİN, U. (1996): Rechnerische Methoden zur Ladungswechseloptimierung am Beispiel von Grossgasmotoren, Dissertation der TU Graz
- PİSCHİNGER, R.; KRASSNİG, G.; TAUCAR, G.; SAMS, T. (1989): "Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine", Springer Verlag, Wien
- SAMS, T. (1991): Fragen zur praxisbezogenen Motorprozessrechnung, Habilitation TU Graz
- SEİFERT, H. (1990): 20 Jahre erfolgreiche Entwicklung des Programmsystems PROMO, "Motortechnische Zeitschrift", Nr.11/1990
- STANSKİ, U.; MELCHER, TH.; BERTHOLD, J.(1985): Rechnergestützte Ladungswechselauslegung, "Motortechnische Zeitschrift", Nr.12/1985
- WEHİNGER, D.; REGNER, G. (1992): "Motorprozeßrechensystem:MOSES - 2 Bedienungsanleitung", Institut für VKM und Thd TU Graz, 1992