

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA SUPAP HAREKET
KARAKTERİSTİKLERİNİN PERFORMANSA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞULE ÖZTÜRK

DENİZLİ, MART - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA SUPAP HAREKET
KARAKTERİSTİKLERİNİN PERFORMANSA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞULE ÖZTÜRK

DENİZLİ, MART - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ŞULE ÖZTÜRK

ÖZET

BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA SUPAP HAREKET KARAKTERİSTİKLERİNİN PERFORMANSA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞULE ÖZTÜRK

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. EMRE ARABACI)

DENİZLİ, MART - 2024

Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda supap hareket karakteristiklerinin performansa etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Supap hareket karakteristikleri olarak supap zamanlaması, supap kalkma miktarı (lift) ve supap açık kalma süresi değişkenlerinin motorun tam yük karakteristiği performansına etkileri modellenerek incelenmiştir. Modelleme için 1-boyutlu gaz dinamiği simülasyon araçlarından birisi olan WAVE simülasyon programının kullanımı tercih edilmiştir. Değişkenlerin simülasyon tasarımı için Taguchi deney tasarımı metodu uygulanmıştır. Motor performansı ile supap hareket karakteristikleri arasındaki ilişki için varyans analizi yapılmıştır. Ardından regresyon analizi yapılarak motor performansı ile supap hareket karakteristikleri arasındaki ilişki için lineer regresyon denklemleri elde edilmiştir. Her motor hızı için 25 çözüm olmak üzere toplam 125 simülasyon çözümü yapılmıştır. Motor performans parametresi olarak fren torku, fren ısı verimi ve hacimsel verim tercih edilmiştir. Varyans analizi ile bu üç motor performans parametresinin eş zamanlı olarak yüksek olabileceği optimum supap hareket karakteristiği belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi neticesinde motor performansı üzerinde en etkili olan parametrenin supap bindirmesi ve emme supabı açık kalma süresi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte referans motorun orijinal konfigürasyonundaki performansı ile kıyaslandığında supap bindirmesinin artırılması ve emme supabı açık kalma süresinin azaltılmasının motor performansını iyileştirdiği görülmüştür. Optimum değerler ile referans motorun orijinal değerleri için motor performansı karşılaştırması yapılmıştır. Yüksek motor hızında referans motorun orijinal değerleri ile daha iyi performans ortaya çıkmıştır. Ancak düşük ve orta motor hızında belirgin bir motor performansı iyileşmesi görülmüştür. Düşük ve orta hız için fren gücü ve fren torkunda %8,1 iyileşme, fren ısı veriminde %1,5 iyileşme ve hacimsel verimde ise %6,8 iyileşme tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: buji ateşlemeli motor, supap hareketi, supap karakteristiği, motor performansı

ABSTRACT

EFFECTS OF VALVE MOTION CHARACTERISTICS ON PERFORMANCE IN SPARK IGNITION ENGINE

MSC THESIS

ŞULE ÖZTÜRK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

AUTOMOTIVE ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. EMRE ARABACI)

DENİZLİ, MARCH 2024

In this study, it was aimed to examine the effects of valve motion characteristics on performance in spark ignition engines. The effects of valve timing, valve lift, and valve duration variables as valve motion characteristics on the full load characteristic performance of the engine were modeled and examined. For modeling, the use of the WAVE simulation program, one of the 1-dimensional gas dynamics simulation tools, was preferred. Taguchi's experimental design method was applied for the simulation design of variables. Analysis of variance was performed for the relationship between engine performance and valve motion characteristics. Then, regression analysis was performed and linear regression equations were obtained for the relationship between engine performance and valve motion characteristics. A total of 125 simulation solutions were made, 25 solutions for each engine speed. Brake torque, brake thermal efficiency, and volumetric efficiency were preferred as engine performance parameters. By variance analysis, the optimum valve motion characteristic in which these three engine performance parameters can be simultaneously high was determined. As a result of the variance analysis, it was determined that the most effective parameters on engine performance were valve overlap and intake valve open time. However, it has been observed that increasing the valve overlap and reducing the intake valve duration improves the engine performance when compared to the performance of the reference engine in its original configuration. Engine performance comparison was made for the optimum values and the original values of the reference engine. Better performance was achieved with the original values of the reference engine at high engine speed. However, a significant engine performance improvement was seen at low and medium engine speeds. For low and medium speeds, the improvement in brake power and brake torque was determined as 8.1%, the improvement in brake thermal efficiency as 1.5%, and the improvement in volumetric efficiency as 6.8%.

KEYWORDS: spark ignition engine, valve motion, valve characteristic, engine performance

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. SUPAP SİSTEMİ TERMİNOLOJİSİ.....	3
2.1 İçten Yanmalı Motorlarda Supap Sistemi İhtiyacı	3
2.2 Öteleme Hareketi Yapan Supap Sistemleri	5
2.3 Supapların Temel Hareket Karakteristikleri.....	6
2.4 Supap Zamanlaması	9
3. LİTERATÜR TARAMASI	11
4. MATERYAL VE METOT	15
4.1 Hesaplamalarda Kullanılan Program.....	15
4.2 Modelin Oluşturulması.....	16
4.3 Referans Motor İçin Supap Hareketlerinin Modellenmesi.....	17
4.4 Değişkenlerin Belirlenmesi ve Deney Tasarımı.....	22
5. BULGULAR	25
5.1 Referans Motorun Performans Karakteristiği	25
5.2 Bağımsız Değişkenlerin Motor Performansına Etkileri	26
5.2.1 Supap Bindirmesi Açısız Süresi Değişimi.....	26
5.2.2 Emme Supabı Maksimum Kalkma Miktarı Değişimi	28
5.2.3 Emme Supabı Açık Kalma Süresi Değişimi.....	29
5.2.4 Egzoz Supabı Maksimum Kalkma Miktarı Değişimi.....	30
5.2.5 Egzoz Supabı Açık Kalma Süresi Değişimi	31
5.3 Deney Tasarımına Göre Elde Edilen Simülasyon Sonuçları.....	32
5.3.1 Optimum Koşulların Belirlenmesi ve Varyans Analizi.....	32
5.3.2 Regresyon Analizi.....	35
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	37
7. KAYNAKLAR.....	39
8. EKLER.....	43
EK A Simülasyon Sonuçları Detayları.....	43
EK B Taguchi Deney Tasarımına Göre Simülasyon Sonuçları	64
9. ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda gaz değişim süreci	4
Şekil 2.2: Kam mekanizmaları hareketleri	5
Şekil 2.3: Supap sistemi ve kam profili boyutları	7
Şekil 2.4: Örnek supap sistemi için hareket karakteristikleri	8
Şekil 4.1: WAVE simülasyon programının arayüzü.....	15
Şekil 4.2: Tek silindirli motor için oluşturulan model	16
Şekil 4.3: Referans motora ait orijinal supap hareketleri	18
Şekil 4.4: Kosinüs fonksiyonunun normalize açığa bağlı olarak normalize hareket karakteristikleri.	19
Şekil 4.5: Referans motora ait orijinal supap hareketleri	19
Şekil 4.6: Hareket değerleri ile kosinüs fonksiyonu değerlerinin karşılaştırması	20
Şekil 4.7: Emme supabı için hız ve ivme karakteristik eğrileri	20
Şekil 4.8: Egzoz supabı için hız ve ivme karakteristik eğrileri.....	20
Şekil 5.1: Referans motorun orijinal ve modifiye supap hareketi için performansı	25
Şekil 5.2: Supap bindirmesi değişiminin motor performansına etkisi	27
Şekil 5.3: Emme supabı kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi.....	28
Şekil 5.4: Emme supabı açık kalma süresi değişiminin motor performansına etkisi.....	29
Şekil 5.5: Egzoz supabı kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi.....	30
Şekil 5.6: Egzoz supabı açık kalma süresi değişiminin motor performansına etkisi.....	31
Şekil 5.7: Optimum değerler ile referans motorun orijinal değerleri için motor performansı.....	35
Şekil A.1: Referans motorun orijinal değerleri için PV diyagramı.....	43
Şekil A.2: Referans motorun orijinal değerleri için TS diyagramı	43
Şekil A.3: Modifiye edilmiş supap hareketi için PV diyagramı	46
Şekil A.4: Modifiye edilmiş supap hareketi için TS diyagramı.....	46
Şekil A.5: Supap bindirmesi süresi etkisi için PV diyagramı	49
Şekil A.6: Supap bindirmesi süresi etkisi için TS diyagramı.....	49
Şekil A.7: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için PV diyagramı	52
Şekil A.8: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için TS diyagramı.....	52
Şekil A.9: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için PV diyagramı.....	55
Şekil A.10: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için TS diyagramı	55
Şekil A.11: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için PV diyagramı.....	58
Şekil A.12: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için TS diyagramı	58
Şekil A.13: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için PV diyagramı	61
Şekil A.14: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için TS diyagramı.....	61

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Örnek supap hareket karakteristikleri eşitlikleri.....	7
Tablo 2.2: Konvansiyonel ve yüksek performanslı otomobil motorları için supap zamanlaması	5
Tablo 4.1: Simülasyon modeli için kullanılan motorun önemli boyutsal özellikleri	17
Tablo 4.2: Deney tasarımı için kullanılması planlanan değişkenler	22
Tablo 4.3: Taguchi deney tasarımı.....	24
Tablo 5.1: 954 rpm motor hızı için SNR değerleri	32
Tablo 5.2: Varyans analizi sonuçları.....	33
Tablo 5.3: En iyi motor performansı için gerekli değerler	34
Tablo 5.4: Regresyon eşitliği için belirlenen katsayılar.....	36
Tablo A.1: Referans motorun orijinal değerleri için genel sonuçlar.....	44
Tablo A.2: Modifiye edilmiş supap hareketi için genel sonuçlar	47
Tablo A.3: Supap bindirmesi süresi etkisi için genel sonuçlar	50
Tablo A.4: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için genel sonuçlar	53
Tablo A.5: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için genel sonuçlar	56
Tablo A.6: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için genel sonuçlar.....	59
Tablo A.7: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için genel sonuçlar	62
Tablo B.1: 954 rpm için simülasyon sonuçları	64
Tablo B.2: 1909 rpm için simülasyon sonuçları	64
Tablo B.3: 2864 rpm için simülasyon sonuçları	65
Tablo B.4: 3819 rpm için simülasyon sonuçları	65
Tablo B.5: 4774 rpm için simülasyon sonuçları	66

SEMBOL LİSTESİ

KrA	:	Krank açısı
KmA	:	Kam açısı
ÜÖN	:	Üst ölü nokta
AÖN	:	Alt ölü nokta
EmA	:	Emme supabı açılması
EmK	:	Emme supabı kapanması
EgA	:	Egzoz supabı açılması
EgK	:	Egzoz supabı kapanması
VVT	:	Değişken supap zamanlaması
VVL	:	Değişken supap kalkması
CVVL	:	Sürekli değişken supap kalkması
NSB	:	Negatif supap bindirmesi
HCCI	:	Homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli motor
POEB	:	Pompalama ortalama efektif basınç
FOEB	:	Fren ortalama efektif basınç
FÖYT	:	Fren özgül yakıt tüketimi
SNR	:	Sinyal-gürültü oranı
RSM	:	Yanıt-yüzey metodu
R²	:	Determinasyon katsayısı

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, bilgi ve deneyim birikimimizi derinleştirmek adına gerçekleştirilmiş bir çaba sonucudur. Bu süreçte emeği geçen herkese teşekkür etmek istiyorum.

İlk olarak tez danışmanım Doç. Dr. Emre ARABACI hocama özel teşekkürlerimi sunarım. Sayın Doç. Dr. Emre ARABACI hocamın bilgi birikimi, sabrı ve yönlendirmeleri olmadan bu çalışma aynı zenginliği kazanamazdı.

Ayrıca, aileme babam Bülent ÖZTÜRK ve annem Selime ÖZTÜRK'e sonsuz sevgi, sabır ve anlayışları için minnettarlığımı ifade etmek isterim. Onların destekleri, bu yolculukta karşılaştığım her zorluğu aşmama yardımcı oldu.

Nişanlım Muhammed AKAR bu yolculukta elimden tutarak çok büyük destek sağladı. Nişanlıma çok teşekkür ederim.

Son olarak, bu tez çalışması benim için sadece bir akademik başarı değil, aynı zamanda bir öğrenme ve gelişim yolculuğu oldu. Tüm destekleriniz için minnettarım. Gelecekteki başarıları paylaşmak dileğiyle.

Saygılarımla.

1. GİRİŞ

1763 yılında James Watt tarafından buharla çalışan makinenin icadı birinci sanayi devrimi için en önemli gelişmedir. Bu makinenin gelişmiş biçimi makine çağının başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. Teknoloji devrimi olarak da bilinen ikinci sanayi devriminde ise basit makinelerden karmaşık makinelere geçiş olmuş ve bununla birlikte petrol ve elektrik kullanımı yaygınlaşmıştır. İçten yanmalı motorlar da ikinci sanayi devriminin önemli bir ürünüdür (Koca 2020, Davutoğlu 2020).

Buhar makinelerinde temel ısı kaynağı motor dışındadır ve yakıttan bağımsızdır. Bu nedenle buhar makinesinin mekanik olarak senkronize olması yeterlidir. Çünkü buhar makinelerinde ısı kaynağı sürekli olarak bulunmaktadır ve herhangi bir senkronizasyona ihtiyaç yoktur. Buhar makinelerinde ısı kaynağı olarak su buharı kullanılmaktadır. Bu su buharının buhar makinesine alınması ve sonrasında atılması için bir akış kontrol sistemi oluşturulmak zorundadır. Bu akış kontrolü için ya sürekli bir akış sağlayacak türbin sistemi ya da basit supap sistemleri kullanılmaktadır (Britannica, 2023).

İçten yanmalı motorlar buhar makinelerine kıyasla oldukça karmaşık makinelerdir. Çünkü enerji dönüşümü silindir içerisinde gerçekleşmektedir. Bunun için gaz değişim süreci olarak adlandırılan emme ve egzoz süreçlerine ek olarak yakıt-hava karışımı miktarı, konsantrasyonu, homojen dağılımı ve yakılması gibi durumların da kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bununla birlikte emme sürecindeki akışkan ile egzoz sürecindeki akışkanın cinsi, basıncı ve sıcaklığı birbirinden farklıdır (Caton 2015, Heywood 2018). Bu nedenle içten yanmalı motorlarda gaz değişim süreci buhar makinelerinde gerçekleşen gaz değişim sürecinden oldukça karmaşık yapıdadır. Günümüzdeki içten yanmalı motorlar farklı hız, yük ve ortam koşullarında çalışmaktadır ve bu da gaz değişim sürecini doğrudan etkilemektedir. Bu gaz değişim sürecindeki zamanlama ve boyutlandırma tasarımları hacimsel verim ve artık gaz miktarı gibi motor performansını doğrudan etkileyen parametreleri düzenlemektedir (Heywood 2018, Ferguson 2015).

İdealleştirilmiş motor çevrimi modellerinde, ısı atma işleminin sabit hacimde gerçekleştiği varsayılmakta ve emme ve egzoz supaplarının açılıp kapatıldığında meydana gelen gaz akışı ihmal edilmektedir. Ancak bu emme ve egzoz süreçleri enerji denklemleri kullanılarak teorik olarak modellenenmektedir. Bu modellemeler için emme ve egzoz supaplarının çalışmasıyla ilgili bazı varsayımlarda bulunmaktadır. Egzoz süreci sırasında egzoz supabının alt ölü noktada (AÖN) açıldığı ve üst ölü noktada (ÜÖN) kapandığı varsayılmaktadır. Benzer şekilde, emme süreci sırasında emme supabının ÜÖN’de açıldığı ve AÖN’ye kadar açık kaldığı varsayılmaktadır. Emme ve egzoz supaplarının çakışması, yani aynı anda açık oldukları (supap bindirmesi) sürenin bu nedenle sıfır olduğu kabul edilmektedir (Ferguson ve Kirkpatrick 2015). Bu tür bir modelde supap bindirmesi, supap açık kalma süresi, supap kalkma miktarı gibi supap sistemi tasarım kriterlerinin etkilerin görülmesi mümkün değildir. Halbuki supap sistemi çalışma şartları değiştirilerek genişleme sürecinin sıkıştırma sürecinden daha uzun olduğu modern Atkinson çevrimli motorlar ya da ekonomi odaklı konsept altı zamanlı motorlar elde edilebilmektedir. Bununla birlikte emme ve egzoz süreçlerinin hacimsel verime de doğrudan etkisi bulunmaktadır.

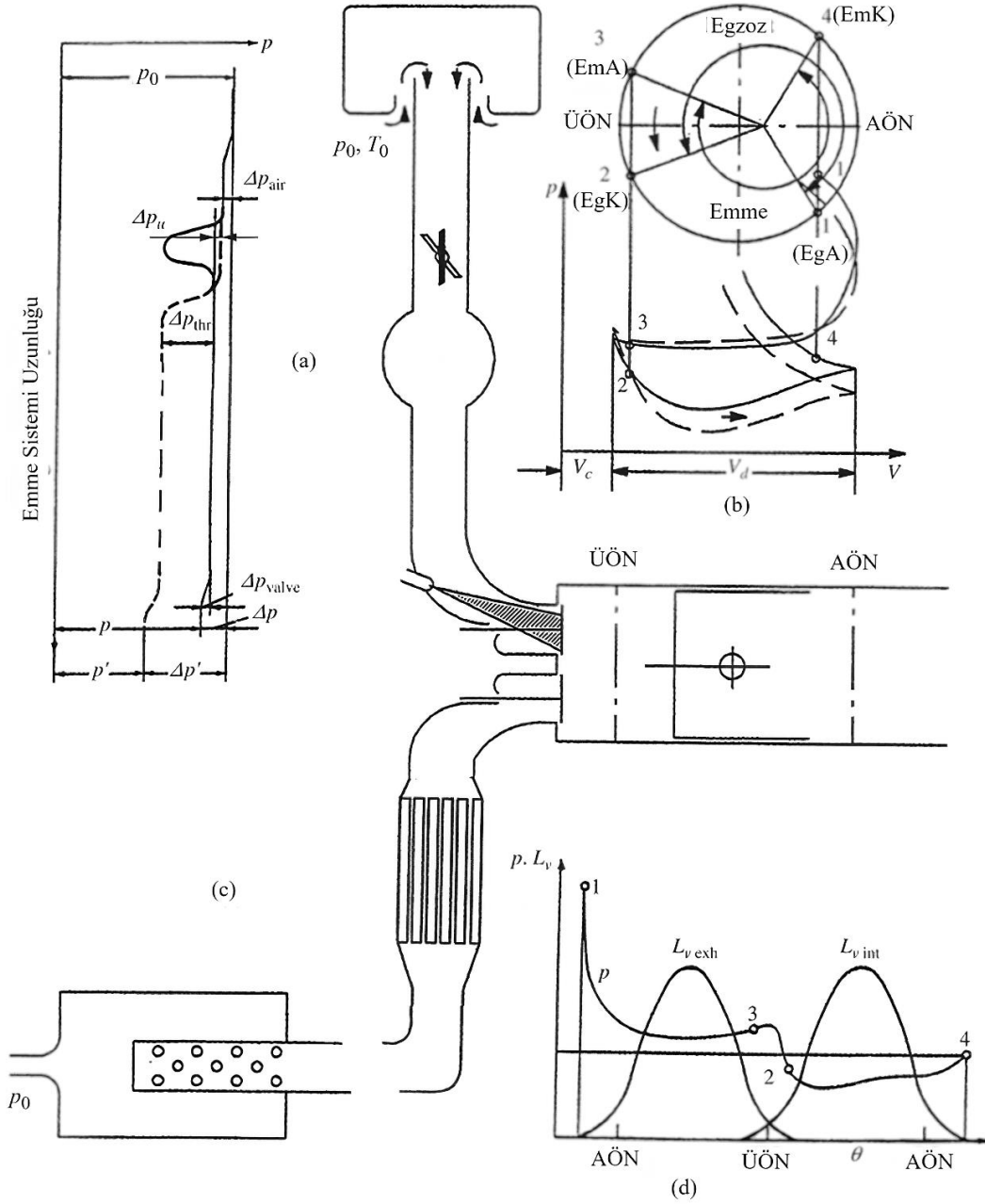
Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda supap hareket karakteristiklerinin performansa etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Supap hareket karakteristikleri olarak supap zamanlaması, supap kalkma miktarı (lift) ve supap açık kalma süresi değişkenlerinin motorun tam yük hız karakteristiği performansına etkileri modellenerek incelenmiştir. Modelleme için 1-boyutlu gaz dinamiği simülasyon aracı olan WAVE simülasyon programının kullanımı tercih edilmiştir. Değişkenlerin simülasyon tasarımı için Taguchi deney tasarımı metodu uygulanmıştır. Motor performansı ile supap hareket karakteristikleri arasındaki ilişki için varyans analizi yapılmıştır. Ardından regresyon analizi yapılarak motor performansı ile supap hareket karakteristikleri arasındaki ilişki için lineer regresyon denklemleri elde edilmiştir.

2. SUPAP SİSTEMİ TERMİNOLOJİSİ

2.1 İçten Yanmalı Motorlarda Supap Sistemi İhtiyacı

Günümüzde yaygın olarak kullanılan dört zamanlı motorlarda bir çevrimin meydana gelmesi için gerçekleşen gaz değişim süreci (egzoz ve emme süreci) supap sistemi tarafından yönetilmektedir. Örneğin günümüz buji ateşlemeli motorların teorik çevrimi olan ideal sabit hacim çevrimi (Otto çevrimi) kapalı bir çevrimdir ve gaz değişim süreci yoktur. Bu tür ideal çevrimlerde ısı girişi ve ısı çıkışı yapılarak çevrimin gerçekleştirildiği kabulü vardır. Gerçek motor çevrimlerinde ise silindir içerisine hava-yakıt karışımı yakılarak iş elde edildiği için her çevrim için yanmış gazların silindir içerisinden atılması (egzoz) ve taze hava-yakıt karışımının silindir içerisine alınması (emme) süreçlerinin kontrollü olarak gerçekleşmesi gerekmektedir (Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

Dört zamanlı ateşlemeli bir motorun emme sistemi genellikle bir hava filtresi, bir hava kanalı, bir gaz kelebeği, bir emme manifoldu ve her bir emme portundaki veya silindir kafasındaki yakıt enjektörlerinden oluşmaktadır. Emme süreci sırasında, karışımın her bir bileşen veya parçanın yanından geçerken basınç kayıpları meydana gelmektedir. Emme portu ve supabının üzerinden önemli bir basınç düşüşü meydana gelmektedir. Egzoz sistemi genellikle bir egzoz manifoldu, egzoz borusu, emisyon kontrolü için bir veya daha fazla katalitik konvertör ve bir veya daha fazla susturucu içermektedir. Şekil 2.1, supap açma ve kapanma krank açılarının belirli değerlerde sabit olduğu konvansiyonel bir ateşlemeli motorun emme ve egzoz gazı akış süreçlerini göstermektedir. Günümüzdeki birçok modern içten yanmalı motorlar değişken kam mili mekanizması içermektedir. Bu nedenle supap açma ve kapanma zamanlamaları değiştirilebilir. Her silindire akan akışlar dalgalıdır. Ancak, bu akışların birçok yönü neredeyse sabit bir temelde analiz edilebilir ve Şekil 2.1a'daki emme sisteminde gösterilen basınçlar çok silindirli bir motor için zaman ortalamalı değerleri temsil etmektedir (Heywood 2018).



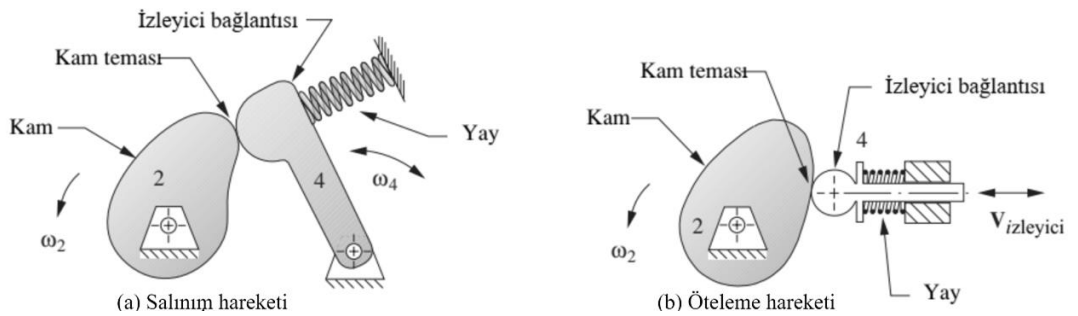
Şekil 2.1: Dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda gaz değişim süreci (a. Emme sistemi, b. Supap zamanlaması ve basınç-hacim grafiği, c. Egzoz sistemi, d. Krank açısına bağlı silindir basıncı ve lift) (Heywood 2018).

Emme sistemi boyunca basınç düşüşü, motor hızına, sistemin elemanlarının akış direncine, taze karışımın hareket ettiği kesit alanına ve karışım yoğunluğuna bağlıdır. Şekil 2.1d, emme ve egzoz supabı kalkma (lift) miktarını krank açısına bağlı göstermektedir. Genellikle, supap açık fazlarını emme ve egzoz süreçlerinin ötesine uzatmak, silindirlerin boşaltılmasını ve doldurulmasını iyileştirmek ve emme ve egzoz sistemlerindeki gazların ataletini en iyi şekilde kullanmak için yaygın bir uygulamadır. Egzoz süreci genellikle alt ölü noktadan (AÖN) 40 ila 60° önce başlar

(Nokta 1, EgA, Şekil 2.1b) önce 40 ila 60° başlamaktadır. Yaklaşık olarak AÖN'ye kadar yanmış silindir gazları, silindir ile egzoz sistemi arasındaki basınç farkı nedeniyle boşaltılmaktadır. AÖN'den sonra, silindir pistonun üst ölü noktaya (ÜÖN) doğru hareket etmesiyle temizlenmektedir. Egzoz sürecinin bu iki aşamasını belirtmek için blowdown (puflama) ve yer değiştirme terimleri kullanılmaktadır. Genellikle, egzoz supabı ÜÖN'den yaklaşık 15° sonra (Nokta 2, EgK, Şekil 2.1b) kapanmaktadır ve emme supabı ÜÖN'den 10 ila 15° önce (Nokta 3, EmA, Şekil 2.1b) açılmaktadır. Supap bindirmesi durumunda her iki supap da açık kalmaktadır ve $p_i/p_e < 1$ olduğunda, egzoz gazının silindire ve silindir gazının emme sistemine geri dönmesi meydana gelmektedir. Supap bindirmesinin avantajı, daha uzun supap açık kalma periyotlarının hacimsel verimi artırdığı yüksek motor hızlarında ortaya çıkmaktadır. Piston ÜÖN'nin sonrasında hareket ettiğinde ve silindir basıncı emme basıncının altına düştüğünde, gaz emme sisteminden silindire akmaktadır. Emme supabı, AÖN'den 50 ila 60° sonrasına kadar (Nokta 4, EmK, Şekil 2.1b) genellikle açık kalmaktadır, böylece daha yüksek motor hızlarında AÖN'den sonra taze karışımın silindire akmasına devam edebilir (Heywood 2018).

2.2 Öteleme Hareketi Yapan Supap Sistemleri

İçten yanmalı motorlarda supap hareketi kam mekanizmaları ile sağlanmaktadır. Arzu edilen supap hareketi için çeşitli kam mekanizmaları geliştirilmiştir. İçten yanmalı motorlardaki supaplar yay kuvveti ile kapanmaktadır. Bununla birlikte bu supap sistemlerinin kam mekanizmaları genellikle öteleme hareketi yapacak şekilde tasarlanmışlardır (Şekil 2.2) (Norton 2002).



Şekil 2.2: Kam mekanizmaları hareketleri (Norton 2002).

Supap sistemindeki kamlar arzu edilen hareket için tasarlanmış cihazlardır. Kamların bu profilleri sayesinde izleyiciler hareket etmektedir. İzleyicilerin bu hareketleri de supaplara aktarılmaktadır. Öteleme hareketi yapan supap sistemlerinde kam radyal (eksantrik) hareket yaparken izleyici doğrusal hareket yapmaktadır. Bununla birlikte supap açılma hareketi doğrudan kam ile sağlanırken kapanma için bir geri dönüş yayı gereksinimi vardır. Burada yay sayesinde izleyicinin kam ile sürekli teması sağlanmaktadır. Böylelikle supabın açılma-kapanma hareketi kam profiline bağlı olarak gerçekleşmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir başka durum ise kam profili ile supap hareket profiline birbirinden farklı kavramlar olduğudur. İzleyicinin kama temas ettiği yüzey bu hareket profiline farklı olmasına neden olmaktadır. Yaygın olarak izleyici yüzeyleri düz, makara veya mantar şekilli olabilmektedir. Otomotiv endüstrisinde düşük sürtünme için yaygın olarak makara şekilli izleyiciler tercih edilse de yapısal basitliği nedeniyle tek silindirik veya düşük güçlü motorlarda düz yüzeyli izleyiciler tercih edilmektedir (Norton 2002).

2.3 Supapların Temel Hareket Karakteristikleri

Belirli bir yer değiştirme (hareket) fonksiyonuna sahip supap sistemi için hareket karakteristikleri olarak hız ($v(t)$), ivme ($a(t)$) ve jerk ($j(t)$), karakteristikleri kullanılmaktadır. $f(\theta) = y$ supap hareket fonksiyonuna sahip bir supap sistemi için temel karakteristikler genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$v(t) = \frac{dy}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega \frac{dy}{d\theta} = \omega f'(\theta) \quad (2.1)$$

$$a(t) = \frac{dv}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^2y}{d\theta^2} \frac{d\theta^2}{dt^2} = \omega^2 \frac{d^2y}{d\theta^2} = \omega^2 f''(\theta) \quad (2.2)$$

$$j(t) = \frac{da}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^3y}{d\theta^3} \frac{d\theta^3}{dt^3} = \omega^3 \frac{d^3y}{d\theta^3} = \omega^3 f'''(\theta) \quad (2.3)$$

Supap hareket fonksiyonu bir supap sistemi için parçalı olarak birden fazla tanımlanabilir. Bu tanımlama kam profili ve izleyici yüzey şekli ile karakterizedir. Bununla birlikte supap için açılma hareketi ile kapanma hareketi için farklı fonksiyonlar oluşturulabilir. Bu nedenle supaplar için temel hareket karakteristikleri için (2.1), (2.2) ve (2.3) eşitlikleri kullanılırken supap hareket fonksiyonu sınırlarına

dikkat edilmelidir. Örnek olarak düz yüzeyli izleyiciye sahip bir supap sistemi için çift yay kamı oluşturulduğu varsayalım. Supap açılma (kalkma) hareketinin $(0, \theta_2)$ aralığında gerçekleşmektedir. Birinci yay kamındaki supap hareketi $(0, \theta_1)$ aralığında, ikinci yay kamındaki supap hareketi ise (θ_1, θ_2) aralığında meydana gelmektedir. Buna göre supap kalkma hareketinin iki farklı fonksiyona bağlı olduğu görülmektedir. Bu fonksiyonlar birinci ve ikinci yay için fonksiyonlar aşağıdaki gibidir.

$$f_1(\theta) = b_1(1 - \cos(\theta)) \quad \theta \rightarrow [0, \theta_1] \quad (2.4)$$

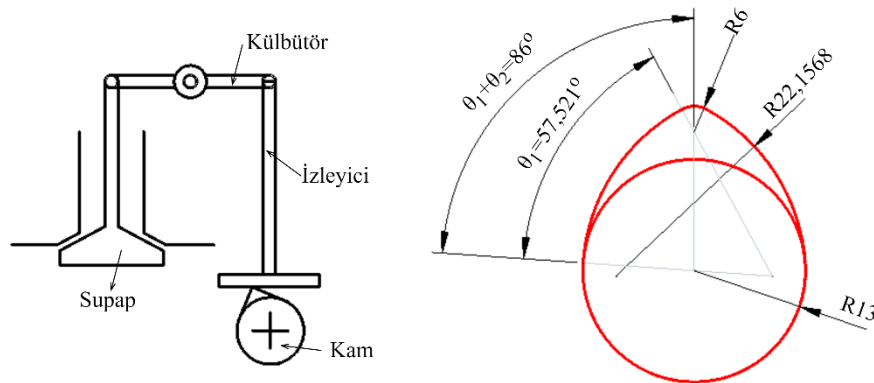
$$f_2(\theta) = f_2(\theta_2) - b_2(1 - \cos(\theta_2 - \theta)) \quad \theta \rightarrow [\theta_1, \theta_2] \quad (2.5)$$

Burada b_1 ve b_2 değerleri tasarlanan kam profiline göre geometrik olarak hesaplanan sabit sayılardır. (2.4) ve (2.5) hareket eşitliklerine göre supap hareket karakteristikleri eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.1: Örnek supap hareket karakteristikleri eşitlikleri

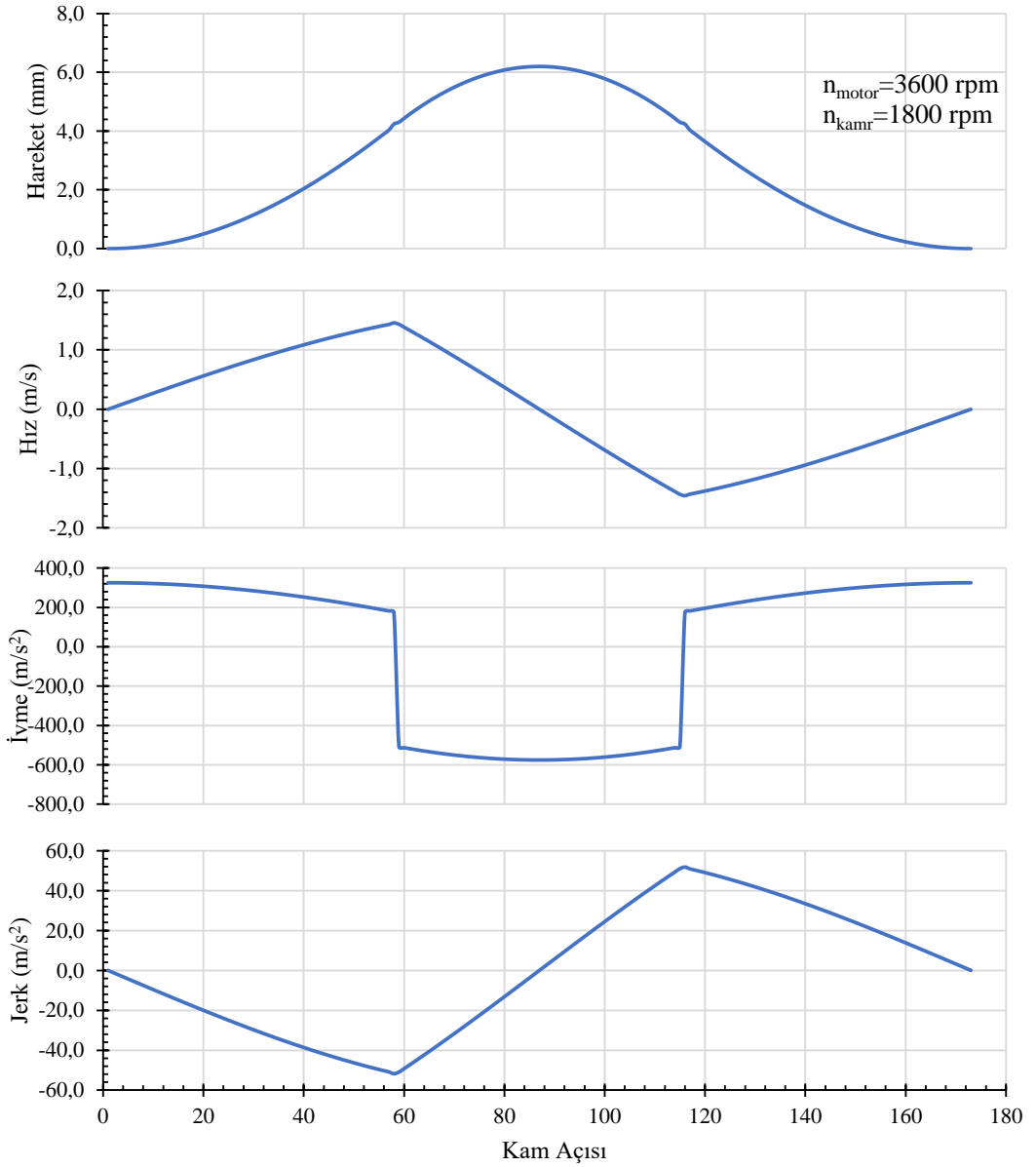
Karakteristik	$f_1(\theta) \quad \theta \rightarrow [0, \theta_1]$	$f_2(\theta) \quad \theta \rightarrow [\theta_1, \theta_2]$
Hız	$v = \omega b_1 \sin(\theta)$	$v = -\omega b_2 \sin(\theta - \theta_2)$
İvme	$a = \omega^2 b_1 \cos(\theta)$	$a = -\omega^2 b_2 \cos(\theta - \theta_2)$
Jerk	$j = -\omega^3 b_1 \sin(\theta)$	$j = \omega^3 b_2 \sin(\theta - \theta_2)$

Örnek olarak temel daire çapı 26 mm, supap kalkma miktarı 6 mm, supap boşluğu 0,2 mm, supap açılma süresi 86° KmA ve külbütör oranı 1:1 için $b_1 = 9,1568$ mm ve $b_2 = 16,2000$ mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca $\theta_1 = 57,521^\circ$ KmA olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Supap sistemi ve kam profili boyutları

Örnek kam profili ölçülerine bağlı olarak supap için hareket karakteristikleri Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Supap hareketinin hızına bakıldığında önce hızlanma ve daha sonra yavaşlama gözlenmektedir. Bununla birlikte negatif ivme değeri genel olarak sınırlandırılmaktadır. Çünkü ivmenin negatif olduğu durumda kam ile izleyici temasının kesilmesi söz konusu olabilmektedir. Jerk ise sıçramayı ifade etmektedir. Bu jerk değerinin makul bir değerde olması arzu edilmektedir. Yüksek jerk değerlerinde supap ile izleyici arasındaki ani darbeler supap sisteminin arızalanmasına neden olabilmektedir.



Şekil 2.4: Örnek supap sistemi için hareket karakteristikleri

Jerk ifadesi supap sistemi için her ne kadar önemli bir kavram olsa da supap sistemi tasarımında kam profili geometrisi sayesinde hız ve ivme değeri sınırlandırıldığından dolayı çoğu zaman jerk değerinin belirlenmesine gerek kalmamaktadır.

2.4 Supap Zamanlaması

Teorik olarak emme supabı ÜÖN'de açılır ve AÖN'de kapanır (180°KrA) ve benzer şekilde egzoz supabı AÖN'de açılır ve ÜÖN'de kapanır (180°KrA). Ancak gerçek motorlarda bu durum biraz farklıdır. İyi bir hacimsel verim sağlamak için supaplar 180°KrA 'dan daha fazla olmaktadır. Bu nedenle egzoz supabı AÖN'den önce açılır ve ÜÖN'den sonra kapanır ve benzer şekilde emme supabı ÜÖN'den önce açılır ve AÖN'den sonra kapanır. ÜÖN'de hem emme hem de egzoz supabının açık olduğu bir supap bindirmesi vardır (Heywood 2018, Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

Buji ateşlemeli motorların kısmi yük koşullarında egzoz basıncı kısılmış emme basıncından daha büyük olduğundan dolayı egzoz hattından emme hattına doğru bir geri akış meydana gelir. Bu durum hacimsel verimi azaltmaktadır (Heywood 2018, Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

Buji ateşlemeli motorların tam yük koşullarında emme basıncı egzoz basıncından daha büyük olduğundan dolayı, emme dolgusunun bir kısmı doğrudan egzoz hattına bir miktar kısa devre olmaktadır. Yakıtın bir kısmı silindirde yanmadığından bu durum tam yük performansını azaltmaktadır (Heywood 2018, Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

Konvansiyonel ve yüksek performanslı bir otomobilin buji ateşlemeli motoru için tipik supap zamanlama açıları Tablo 2.2'de verilmiştir. Yüksek performanslı motor, güç ve hacimsel verimin önemli faktörler olduğu, tam yükte çok daha yüksek piston hızlarında çalışırken, konvansiyonel motor, rölanti ve kısmi yük performansının önemli olduğu daha düşük motor hızında çalışır. Bu nedenle, yüksek performanslı motorun emme supabı, konvansiyonel motorun emme supabından yaklaşık 25°KrA önce açılır ve geleneksel motorun emme supabına göre yaklaşık

30°KrA sonra kapanır. Motor tasarım hızı arttıkça, emme ve egzoz süreçleri sırasında maksimum supap açıklığını korumak için emme ve egzoz supapları yaklaşık 230°KrA'dan yaklaşık 285°KrA'ya kadar daha uzun bir süre boyunca açıktır. Egzoz supabının erken açılması genişleme (genleşme) oranını azaltmaktadır ancak aynı zamanda egzoz sürecindeki pompalama işini de azaltmaktadır (Heywood 2018, Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

Tablo 2.2: Konvansiyonel ve yüksek performanslı otomobil motorları için supap zamanlaması

Motor	Supap	Açılma	Kapanma	Süre
Konvansiyonel	Emme	ÜÖN'den 5°KrA önce	AÖN'den 45°KrA sonra	230°KrA
	Egzoz	AÖN'den 45°KrA önce	ÜÖN'den 10°KrA sonra	235°KrA
Yüksek Performans	Emme	ÜÖN'den 30°KrA önce	AÖN'den 75°KrA sonra	285°KrA
	Egzoz	AÖN'den 70°KrA önce	ÜÖN'den 35°KrA sonra	285°KrA

Motor boyutunu en aza indirmek ve belirli bir tork-hız eğrisini (sabit termal verimde hacimsel verimle orantılı torkla) üretmek için, supap zamanlamasını motor hızıyla değiştirebilmek açıkça arzu edilir. Değişken supap zamanlaması (VVT), belirli bir gaz kelebeği ve motor hızı aralığında optimum motor performansı elde etme sorununu çözebilen bir tekniktir. VVT, hız ve yük koşullarına bağlı olarak emme ve egzoz supaplarının değişen açılarda açılıp kapanmasına olanak tanır. Rölantide, neredeyse kapalı bir gaz kelebeğiyle, egzozun geri akışını azaltmak için emme ve egzoz supaplarının çakışması en aza indirilir. Düşük hızda, hacimsel verimi ve torku artırmak için emme supapları daha erken kapatılır. Yüksek hızda, gaz kelebeği açıkken, hacimsel verimi ve gücü artırmak için emme supapları daha geç kapatılır (Heywood 2018, Ferguson ve Kirkpatrick 2015).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Supap hareket karakteristikleri bu çalışmada genel olarak supap kalkma miktarı, supap zamanlaması, supap bindirme süresi ve supap açık kalma süreleri olarak sınırlandırılmıştır. Bu bağlamda yapılan literatür taramasında bu çalışmaya katkısı olacak bazı önemli çalışmalar ham literatür özeti olarak değerlendirilmiştir. Literatür taraması için son on yıldaki (2014-2024) çalışmalar referans alınmış ve kronolojik olarak sunulmuştur.

Sarıdemir ve Saruhan (2014) yapmış oldukları çalışmada, içten yanmalı motorlarda kam-izleyici mekanizmasında maksimum supap kalkmasının etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bunun için farklı supap kalkma değerleri ve çalışma hızları için kam-izleyici sisteminin dinamik davranışları zaman ve frekans alanı analiz tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. 8 ve 10 mm'lik supap kalkma değerleri için 450, 930, 1440, 1950 ve 2430 rpm çalışma hızları test edilmiştir. Sonuç olarak çalışma hızı arttıkça genlik değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yazarlar, elde edilen verilerin istatistiksel analizi yardımıyla, 10 mm supap kalkmasının 8 mm supap kalkmasından çok daha fazla güç ürettiğini gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Çınar ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda HCCI yanmasını sağlamak için değişken kam mekanizması yöntemini tercih etmişlerdir. 800-1900 rpm aralığında çalıştırılan motorda HCCI çalışma aralığını genişletmek amacıyla dört farklı kam yüksekliği (supap kalkması) kullanılmıştır. Sonuç olarak, vuruntulu ve tekleyen çalışma bölgelerinde düşük yükseklikte kam kullanılarak HCCI çalışma aralığının genişletilebileceğini rapor etmişlerdir.

Dalla ve diğ. (2016) yapmış oldukları çalışmada, emme ve egzoz supabı zamanlamaları ve kalkma miktarlarının motor performansı ve gaz değişim süreci üzerindeki etkileri 800-2000 rpm motor hızı aralığı için araştırılmıştır. Sonuç olarak daha uzun emme ve egzoz supabı açık kalma sürelerinin, dolgu saflığını ve dolayısıyla daha yüksek motor hızlarında torku arttırdığını ve bununla birlikte, daha düşük hızlarda, daha kısa supap açık kalma süreleri daha düşük hava kısa devresi nedeniyle tahmini aşırı doldurma cihazı güç tüketimini azalttığını raporlanmıştır.

Li ve diğ. (2018) yapmış oldukları çalışmada, sürekli değişken supap kalkması (CVVL) ve değişken supap zamanlamasının (VVT) motorların gaz değişim sürelerine etkileri incelenmiştir. İki tip motorda pompalama kaybı mekanizması ve etki faktörleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, emme işlemindeki pompalama kaybının teorik sınırlamaları çıkarılmış ve teorik minimuma yaklaşma önerileri önerilmiştir. Sonuç olarak motorun indike ortalama efektif basıncının hem konvansiyonel gaz kelebeği kontrol stratejisi hem de erken emme supabı kapatma stratejisi için AÖN'deki silindir basıncı ile yaklaşık olarak orantılı olduğu gösterilmiştir. CVVL ve VVT motorlar arasındaki pompalama kayıpları farkı emme işleminden kaynaklanmaktadır. Emme modlarındaki farklılıklar nedeniyle CVVL motor, doğası gereği VVT motora göre daha düşük emme kaybına sahiptir. CVVL motorunun emme sürecindeki pompalama kaybı teorik minimum değere çok daha yakındır ve CVVL motorunun fren özgül yakıt tüketimi emme supabının maksimum kaldırmasının artırılmasıyla 2000 rpm ve 2,3 bar indike ortalama efektif basınçta %20'den fazla azaltılabilir olduğu rapor edilmiştir.

Sawant ve Bari (2018) yapmış oldukları çalışmada, tek silindirli, yakıt enjeksiyonlu, içten yanmalı motorun standart bir modeli, stok motor performansını ve tam açık gazda (WOT) özgül yakıt tüketimini haritalamak için Ricardo Wave yazılım paketinde modellenmiş ve simüle edilmiştir. Temel simülasyon modeli deneysel okumalara göre %98 doğrulukla sağlanmıştır. Yanma odasındaki dalga ve gaz dinamiklerine önemli katkı sağlayan emme supabı zamanlamaları (EmA, EmK), supap kalkması ve profili, hacimsel ve termal verimi artırmak için güçlendirilmiş indüksiyon basınç dalgasını yakalamak üzere tüm motor hızlarında değiştirilmiştir. Sonuç olarak, motor performansının (tork ve güç), motorun çalışma hızı aralığı boyunca ortalama yüzde 6,02 oranında arttığı, 3000-4000 rpm düşük hız aralığındaki iyileşmenin yaklaşık %18,72 olduğu rapor edilmiştir.

Bayramoğlu ve diğ. (2019) yapmış oldukları çalışmada, dört zamanlı tek silindirli dizel bir motorun emme supabı kalkma miktarını değiştirerek yanma özelliklerine ve egzoz gazı emisyonlarına etkisini incelemiştir. Yanma analizi ve farklı supap kalkma değerlerinde analiz sonuçlarının görselleştirilmesi, yanma sistemi analizi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanan ANSYS-Forte yazılımı ve yanmanın reaksiyon kinetiği için kullanılan ANSYS-Chemkin yazılımı

kullanılarak uygulanmıştır. Sayısal analiz sonuçları daha önceki deneysel verilerle karşılaştırılmış ve doğrulanmış modele dayalı olarak parametrik çalışmalar uygulanmıştır. Silindir basınç ve sıcaklık değerlerinin literatürde incelenen verilerle paralel olduğu görülmüştür. Yazarlar supap kalkma miktarının artırılması ile brüt indike gücün, indike ortalama efektif basıncın ve yanma veriminin arttığını raporlamışlardır.

Polat ve diğ. (2020) yapmış oldukları çalışmada, negatif supap bindirmesi (NSB) stratejisi kullanan bir HCCI motorun çalışma aralığı, hava fazlalık oranı, tork ve ısı verim haritaları elde edilmiş ve ayrıca silindir içi sıcaklık, ısı salınım hızı dikkate alınarak NSB'nin HCCI yanması üzerindeki etkileri elde edilmiştir. Ayrıca farklı supap bindirmesi değerlerinde CO, HC ve NO_x emisyonlarının değişimi değerlendirilmiştir. Deneylerde +8, -8 ve -16 KrA olmak üzere üç farklı supap bindirmesi kullanılmıştır. Test sonuçlarında, silindir içi basıncın ve ısı salınımının NSB ile azaldığını, test motorunun NSB uygulamasıyla vuruntu olmadan çalışabildiğini, NVO ile HCCI'nin çalışma aralığının genişlediğini ve diğer supap bindirmelerine kıyasla -16°KrA supap bindirmesiyle efektif termal verimliliğin arttığı rapor edilmiştir.

Babagiray ve diğ. (2022) yapmış oldukları çalışmada, supap mekanizmasının ve giriş hava sıcaklığının HCCI motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkileri yanıt-yüzey metodu (RSM) kullanarak analiz etmişlerdir. Yapılan çalışmada 5,5 mm ve 3,5 mm supap kalkma değeri kullanılmıştır. En yüksek arzu edilirlilik fonksiyonu %72 olarak bulunmuş ve 1168,82 rpm motor hızında, 0,971 lambda değerinde, 100,07°C giriş hava sıcaklığında, emme kalkması 5,5 mm, egzoz kalkması 3,5 mm değerinde elde edildiği rapor edilmiştir.

Zhou ve diğ. (2023) yapmış oldukları çalışmada, metanol/benzin karışımıyla stokiyometrik yanma ve zayıf yanma altında farklı supap hareket stratejilerinin motor performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, stokiyometrik yanma altında orijinal gaz kelebeği durumuyla karşılaştırıldığında, supap kalkma miktarının azaltılmasının daha uzun bir yanma süreciyle sonuçlandığını göstermiştir. Ekonomi performansı emisyonların tümü, emme ve/veya egzoz supabı kalkmalarının ayarlanmasıyla değişen derecelerde iyileştirilebilir olduğu, ayrıca ekonomi performansı için en uygun supap stratejisinin her yakıt için farklı olduğu ifade

edilmiştir. Optimum strateji kapsamında M100, M50 ve M0 kullanıldığında efektif özgül yakıt tüketiminin sırasıyla en fazla %5,6, %4,7 ve %6,8 oranında iyileştirildiği rapor edilmiştir.

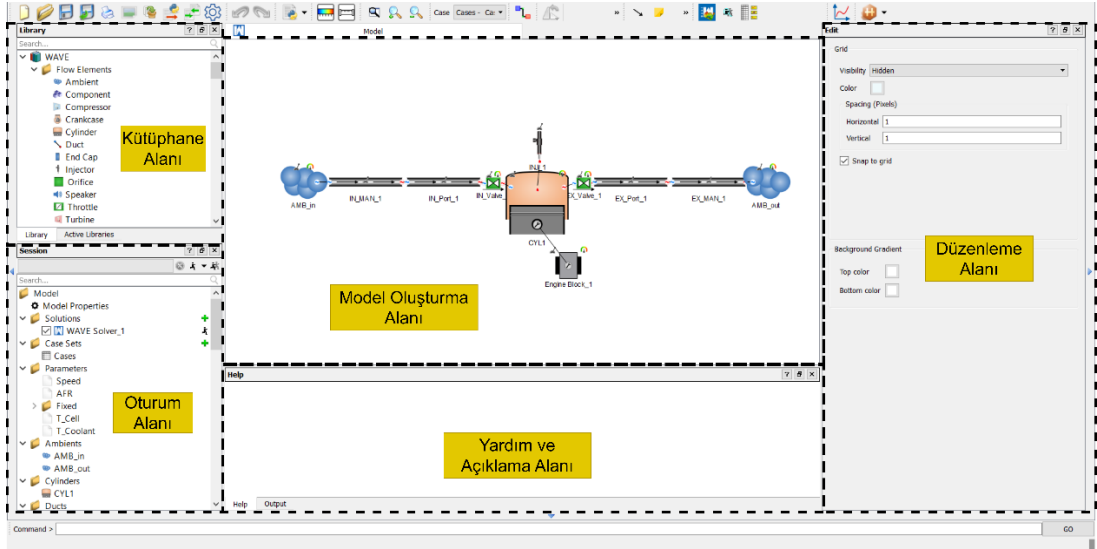
Gültekin ve diğ. (2024) yapmış oldukları çalışmada, hidrojen-dizel çift yakıtlı modda hidrojen enerji oranı ve emme supabı kaldırma miktarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sabit hız ve farklı yük koşullarında farklı emme supabı kalkma değerleri için yapılmıştır. Yapılan çalışmada saf dizel yakıtı 9 Nm yük ve standart supap kalkma değeri koşulları ile hidrojen enerji oranı %7 olduğunda ve supap kalkma değeri %10 artırıldığında is emisyonlarında %40, CO emisyonlarında ise %33 azalma olduğu rapor edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalar supabın zamanlaması, kalkma miktarı, bindirme süresi ve açık kalma süresi gibi parametrelerin motor performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Hem egzoz hem de emme supabı için yapılan bu çalışmalarda motor performansı düşük yükler ve tam yük koşullarında ve farklı motor hızlarında test edilmiştir. Motor performansı olarak hacimsel verim, termal verim, özgül yakıt tüketimi, ortalama efektif basınç ve emisyonlar genel olarak incelenen değerlerdir. Ayrıca farklı yanma stratejileri ve alternatif yakıtlar için de supap hareket karakteristikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Hesaplamalarda Kullanılan Program

Bu çalışmada 1-boyutlu gaz dinamiği simülasyon aracı olan WAVE simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program dünya çapında kara taşımacılığı, demiryolu, motor sporları, denizcilik ve enerji üretimi gibi sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır ve neredeyse her türlü emme, yanma ve egzoz sistemi konfigürasyonu için performans ve akustik analizleri gerçekleştirebilmektedir (Alqahtani ve diğ. 2015). Ayrıca bu program, sıkıştırılabilir gaz akışları için kütle, momentum ve enerji transferini yöneten Navier-Stokes denklemlerinin 1-boyutlu formunu çözmekte ve yanma ve emisyonlar için alt modeller içermektedir (Claywell ve diğ. 2006). Programının arayüzü Şekil 4.1'deki gibidir.



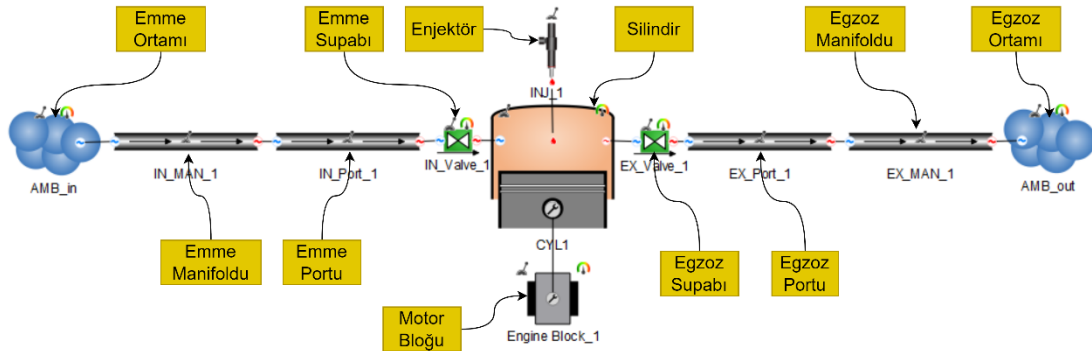
Şekil 4.1: WAVE simülasyon programının arayüzü

Programda simülasyon modelinin oluşturulması için Şekil 4.1'de görülen alanlarda işlem yapılması gerekiyor. Burada Kütüphane alanından gerekli komponentler model oluşturma alanına sürüklenir. Ardından model oluşturma alanındaki komponentler ilişkilendirilir. Bu ilişkilendirme için hangi komponent seçilirse yardım ve açıklama alanında gerekli açıklamalar yazmaktadır.

İlişkilendirmelerden sonra komponentlerde boyut, giriş, çıkış gibi parametrelerin ayarlanabilmesi için istenilen komponent seçildikten sonra komponente ait ayar seçenekleri düzenleme alanında görülmektedir. Model ile ilgili sabitler, değişkenler, ayarlamalar, hesaplama, çözümlene gibi tüm seçenekler ise oturma alanında görülmektedir. Bu simülasyon programında istenilen parametreler (motorla ilgili çalışma koşulları, boyutlar, konumlar gibi) için çeşitli durumlar oluşturularak değişken değişiminin etkisi de karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca model üzerine çeşitli sensörler eklenerek arzu edilen ölçümler izlenebilmektedir.

4.2 Modelin Oluşturulması

Bu çalışmada tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorun modeli kullanılmıştır. Bunun için program içerisinde bulunan ve doğruluğu daha önce sınanmış hazır bir motor modeli referans alınmıştır. Tüm komponentlerin ilişkilendirilmesi Şekil 4.2'deki gibi yapılmıştır.



Şekil 4.2: Tek silindirli motor için oluşturulan model

Şekil 4.2'de oluşturulan model ham halde olup hesaplamaların yapılması için yeterli değildir. Hesaplamalar için gerekli parametrelerin belirlenmesi ve modele bu parametrelerin eklenmesi gerekmektedir. Bunun için her bir komponent için ayrı ayrı karakteristik özelliklerin ve alt modellerin belirlenmesi gerekmektedir. Modelde birbiri ile ilişkilendirilmiş toplam 11 komponent bulunmaktadır. Bu komponentler silindir, motor bloğu, enjektör, ortam (emme ve egzoz için), emme hattı (manifold, port ve supap) ve egzoz hattı (manifold, port ve supap) olarak sıralanabilir. Her bir

komponent için ayrı ayrı özellik ve alt model tanımlaması yapılmıştır. Motorla ilgili çeşitli boyutsal bilgiler Tablo 4.1’de sunulmuştur.

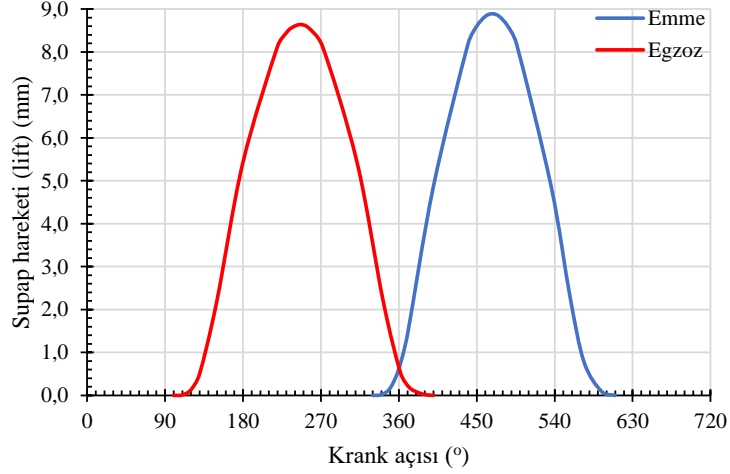
Tablo 4.1: Simülasyon modeli için kullanılan motorun önemli boyutsal özellikleri

Özellik	Değer
Kurs	82 mm
Silindir çapı	78,1 mm
Biyel uzunluğu	150 mm
Sıkıştırma oranı	10:1
Kurs hacmi	393 cm ³
Emme portu çapı	35 mm
Egzoz portu çapı	28 mm
Emme süresi	280°KrA
Egzoz süresi	300°KrA
Emme başlangıcı	330°KrA
Egzoz başlangıcı	100°KrA
Emme supabı boşluğu	0,15 mm
Egzoz supabı boşluğu	0,20 mm
Emme supabı maksimum hareket	8,89 mm
Egzoz supabı maksimum hareket	8,64 mm
Külbütör oranı	1:1
Enjeksiyon başlangıcı	-100°KrA
Enjeksiyon süresi	20°KrA
Enjeksiyon basıncı	20 bar

Tez kapsamına göre burada emme ve egzoz supabı ile ilgili süre, başlangıç ve lift değerleri bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Bununla birlikte motor hızı da bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir.

4.3 Referans Motor İçin Supap Hareketlerinin Modellenmesi

Referans motor için supap hareketleri Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Burada 330-400°KrA aralığı supap bindirmesidir. Tez kapsamına göre bu supap hareketlerinde açısız açık kalma süresi, maksimum hareket ve zamanlama değiştirilecektir. Bunun için supap hareketleri için belirli bir fonksiyon benzetimi yapılmıştır. Yapılan denemeler neticesinde bu eğilimdeki supap hareketinin kosinüs fonksiyonuna çok benzediği görülmüştür. Öncelikle supap hareketleri ayrı ayrı olarak (-1,1) aralığında normalize edilmiştir. Elde edilen normalize değerler kosinüs fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3: Referans motora ait orijinal supap hareketleri

Burada (-1,1) aralığında normalizasyon işlemi için aşağıdaki fonksiyon kullanılmıştır:

$$x_n = 2 \left(\frac{x - \min x}{\max x - \min x} \right) - 1 \quad (4.1)$$

Ayrıca kosinüs fonksiyonunun da (-1,1) aralığında normalize olarak elde edilmesi için fonksiyon yeniden düzenlenmiştir. Bunun için açısal değerler de (4.1) eşitliği yardımıyla normalize edilmiştir. Bununla birlikte kosinüs fonksiyonu radyan olarak değil derece olarak yeniden düzenlenmiştir. Buna kosinüs fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$f(x_n) = \cos \theta = \cos(x_n \pi) = \cos \left(2\pi \left(\frac{x - \min x}{\max x - \min x} \right) - \pi \right) \quad (4.2)$$

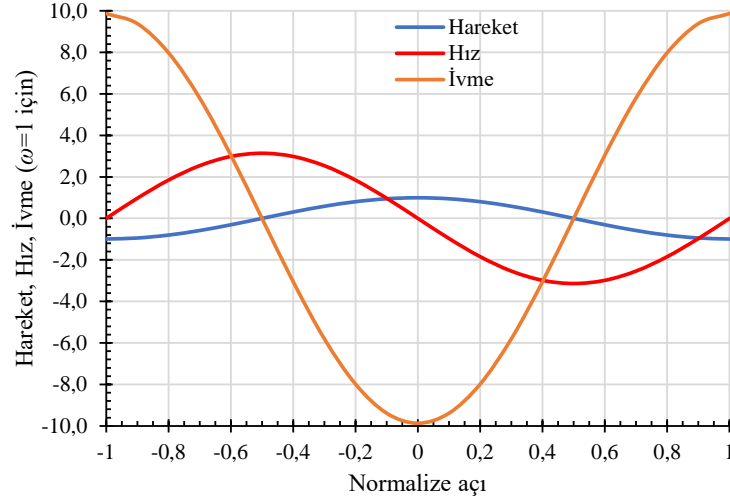
Kosinüs fonksiyonunun önemli bir avantajı kolay türevlenebilmesidir. Buna göre supapların anlık hız ve ivme değişimleri aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$v_n = -\omega \pi \sin(x_n \pi) \quad (4.3)$$

$$a_n = -\omega^2 \pi^2 \cos(x_n \pi) \quad (4.4)$$

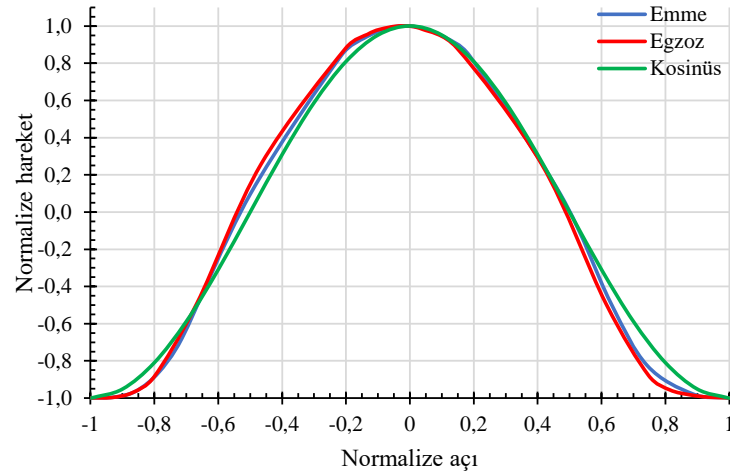
Buradaki değerler normalize bir durum için gösterilmektedir. Sınır koşullara (maksimum hareket değeri ve açık kalma süresi) göre (4.3) ve (4.4) eşitlikleri

düzenlenebilir. Açısal hız $\omega = 1$ için hareket, hız ve ivmenin açıya bağlı değişimi Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.



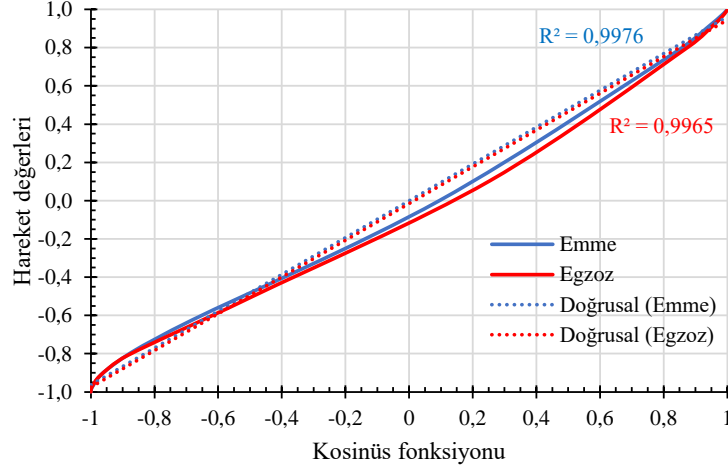
Şekil 4.4: Kosinüs fonksiyonunun normalize açıya bağlı olarak normalize hareket karakteristikleri.

Emme ve egzoz supaplarının normalize hareketleri ve kosinüs fonksiyonu ile karşılaştırma Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Burada emme ve egzoz için normalize hareketin kosinüs fonksiyonuna oldukça benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5: Referans motora ait orijinal supap hareketleri.

Hareket değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırması Şekil 4.6'da sunulmuştur. Doğrusal eğilim çizgisi ile yapılan karşılaştırmada hem emme hem de egzoz için determinasyon katsayısı $R^2 \cong 1$ olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında supap hareketi kosinüs fonksiyonu olarak modellenmiştir.



Şekil 4.6: Hareket değerleri ile kosinüs fonksiyonu değerlerinin karşılaştırması

Gerçek değerlerle işlem yapabilmek ve parametrik olarak supabın maksimum hareketi ve açık kalma süresi parametrelerinin değiştirilebilmesi için (4.2), (4.3) ve (4.4) eşitlikleri aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$s(\theta) = \frac{\max s}{2} \left(\cos \left(\frac{2\pi\theta}{\max \theta} - \pi \right) + 1 \right) \quad (4.5)$$

$$v(t) = \frac{\pi\omega_{kam} \max s}{2000} \sin \left(\frac{2\pi\theta}{\max \theta} \right) \quad (4.6)$$

$$a(t) = \frac{(\pi\omega_{kam})^2 \max s}{2000} \cos \left(\frac{2\pi\theta}{\max \theta} \right) \quad (4.7)$$

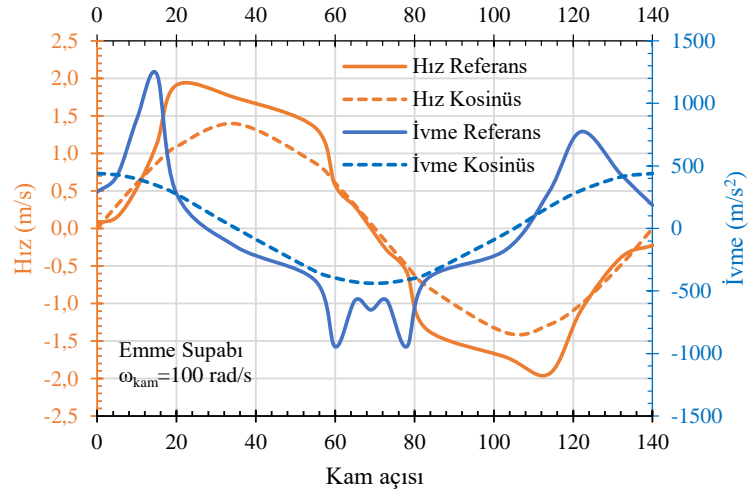
Burada s yer değiştirme (hareket) ve θ derece cinsinden kam açısıdır. $v(t)$ ve $a(t)$ ise sırasıyla hareket, hız ve ivmenin t 'ye bağlı olarak anlık değeridir. ω_{kam} ise kam milinin açısal hızıdır. $\max s$ ve $\max \theta$ değerleri sırasıyla hareket ve açısal açık kalma süresi için maksimum değerleri ifade etmektedir. Burada $s(\theta)$, $v(t)$ ve $a(t)$ için birimler sırasıyla mm, m/s ve m/s² olarak formülize edilmiştir.

Referans supap hareket verilerinden anlık hız ve anlık ivme değerlerinin hesaplanabilmesi için merkezi fark sayısal türev kullanılmıştır. Hız ve ivme için sırasıyla birinci ve ikinci derece türevlerin hesaplanması gerekmektedir. Merkezi fark sayısal türev ifadesi Taylor serisinden türetilmektedir. Buna göre birinci ve ikinci dereceden sayısal türev için aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir:

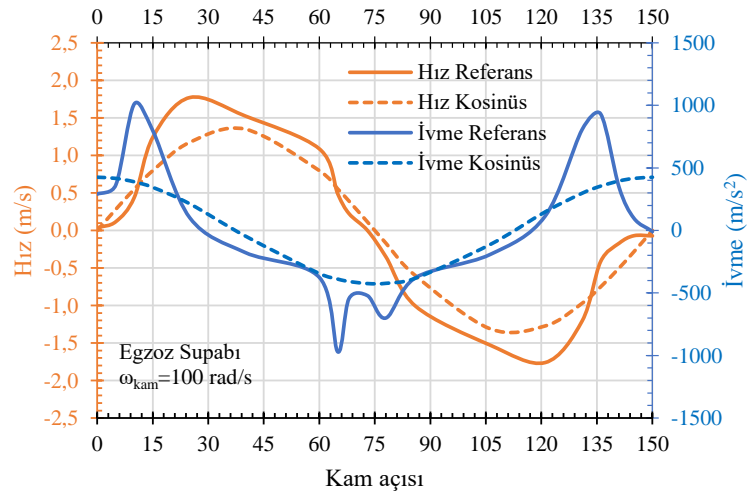
$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_{i-1}))}{2h} + E \quad (4.8)$$

$$f''(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i) + f(x_{i-1}))}{h^2} + E \quad (4.9)$$

Burada E hata miktarını göstermektedir ve türev adımı küçüldükçe hata miktarı azalmaktadır. Şekil 4.7'de emme supabı için Şekil 4.8'de egzoz supabı için hız ve ivme karakteristik eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 4.7: Emme supabı için hız ve ivme karakteristik eğrileri



Şekil 4.8: Egzoz supabı için hız ve ivme karakteristik eğrileri

Referans supap hareket verilerindeki açısal adımlar çok büyük olduğu için hız ve ivme karakteristik eğrileri büyük bir hata miktarı varlığında hesaplanmıştır. Ancak

referans supap hareketi verilerinin kosinüs fonksiyonuna benzetimi sonrasındaki hız ve ivme verilerinin daha düzenli olduğu görülmektedir. Burada ifade edilen supap bindirmesinin (θ_{sb}) açısal değeri ise aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$\alpha_{sb} = 2(\theta_{EgK} - \theta_{EmA}) \quad (4.10)$$

(4.10) eşitliğinde θ_{EgK} ve θ_{EmA} sırasıyla egzoz supabı kapanma açısı ve emme supabı açılma açısını (kam açısı cinsinden) ifade etmektedir. Başka bir ifade ile ($\theta_{EgK}, \theta_{EmA}$) aralığında supap bindirmesi meydana gelmektedir. α_{sb} değerinin pozitif olması arzu edilmektedir. Referans motor dört zamanlı olduğu için krank açısı ile kam açısı arasındaki ilişkinin $\alpha = 2\theta$ olduğu hatırlanmalıdır.

4.4 Değişkenlerin Belirlenmesi ve Deneysel Tasarımı

Deneysel tasarımı, elde edilmek istenen çıktı (ürün veya sonuç) için göz önünde bulundurulması gereken sistem değişkenlerinin belirli bir düzen içerisinde değerlendirilmesi ve işlenmesidir (Aydın 2023). Deneysel tasarımlarında öncelikli olarak deneye etki eden değişkenlerin sayıları belirlenmektedir. Buradaki değişkenler faktör ve seviye olarak adlandırılan gruplar içerisinde dağıtılmaktadır.

Daha önce yukarıda sunulan (4.5), (4.6) ve (4.7) eşitlikleri ω , $\max s$ ve $\max \theta$ kontrol değişkenlerine göre ifade edilmiştir. Bununla birlikte (4.10) eşitliği ile α_{sb} supap bindirmesi ifade edilmiştir.

Tablo 4.2: Deneysel tasarımı için kullanılması planlanan değişkenler

Değişken (Faktörler)	Değerler (Seviyeler)					Birim
Motor hızı ($\omega = 2\omega_{kam}$)	100	200	300	400	500	rad/s
Supap bindirmesi açısal süresi (α_{sb})	40	55	70	85	100	°KrA
Maksimum supap kalkması ($\max s$) (emme)	7,5	8,2	8,9	9,6	10,3	mm
Supap açısal açık kalma süresi (α_{aks}) (emme)	240	260	280	300	320	°KrA
Maksimum supap kalkması ($\max s$) (egzoz)	7,2	7,9	8,6	9,3	10,0	mm
Supap açısal açık kalma süresi (α_{aks}) (egzoz)	260	280	300	320	340	°KrA

Burada belirtilmeyen diğer değerler referans motor ile aynıdır. Supapların açılma başlangıcı değerleri supap bindirmesine ve supap açılma süresine göre değişmektedir. Simülasyonda kullanılmak üzere 6 bağımsız değişken (faktör) için 5 seviye belirlenmiştir. Bunun için belirlenen faktörler içerisinde motor hızı haricindeki diğer 5 faktör supap hareketi karakteristiği ile ilgilidir. Ancak supap hareketi karakteristiği ile motor hızı arasında motor gaz değişimi süreci esnasındaki akış hızlarının değişmesi nedeniyle doğrudan bir ilişki vardır. Bu çalışmadaki temel amaç supap hareket karakteristiklerinin motor performansına etkileri olduğundan dolayı motor hızı haricindeki 5 faktör için deney tasarımı yapılmıştır. Buna göre her bir motor hızı için $5^5 = 3125$ deney yapılması gerekmektedir. Bu tür bir ortogonal dizi tablosu için bu kadar deney yapmak yerine, “robust” tasarım metodu olarak da bilinen Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi metodu mühendislikte karar verme için sıklıkla tercih edilen istatistiksel bir metottur. Böylelikle 3125 deney yerine yalnızca 25 deney yaparak supap hareket karakteristiklerinin motor performansına etkileri istatistiksel olarak belirlenebilmekte ve optimum tasarım parametrelerine karar verilebilmektedir. Taguchi deney tasarımı için Minitab istatistiksel veri analizi programı kullanılmıştır. Bu çalışmada her bir motor hızı için oluşturulan L_{25} ortogonal dizisi için oluşturulan Taguchi deney tasarımı Tablo 4.3’te gösterilmektedir. Taguchi deney tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt sinyal gürültü oranıdır (SNR). Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılmayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. SNR’deki temel amaç gürültü faktörünü minimum yapmak, başka bir ifade ile SNR değerini maksimum yapmaktır (Serençam ve Uçurum 2019). Deneylerdeki SNR değerlerine bakılarak deneylere en çok etki eden faktörler belirlenebilmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen SNR’den sonra her bir faktör için varyans analizi yapılır. Böylelikle faktörlerin çıktı üzerindeki değişim etkileri belirlenmektedir. Varyans analizi sonuçları yorumlanırken F değeri ve P değeri iki önemli değerdir. P-değeri faktörün anlamlılık düzeyini göstermektedir ve %95 güven aralığı için P-değerinin 0,05’ten daha küçük olması ilgili faktörün istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. F-değeri ise şansa göre elde etme olasılığının belirlenmesi için kullanılmaktadır ve önem değeri olarak

bilinmektedir. Burada F-değeri ne kadar yüksek olursa karşılık gelen P-değeri de o kadar düşük olur.

Tablo 4.3: Taguchi deney tasarımı

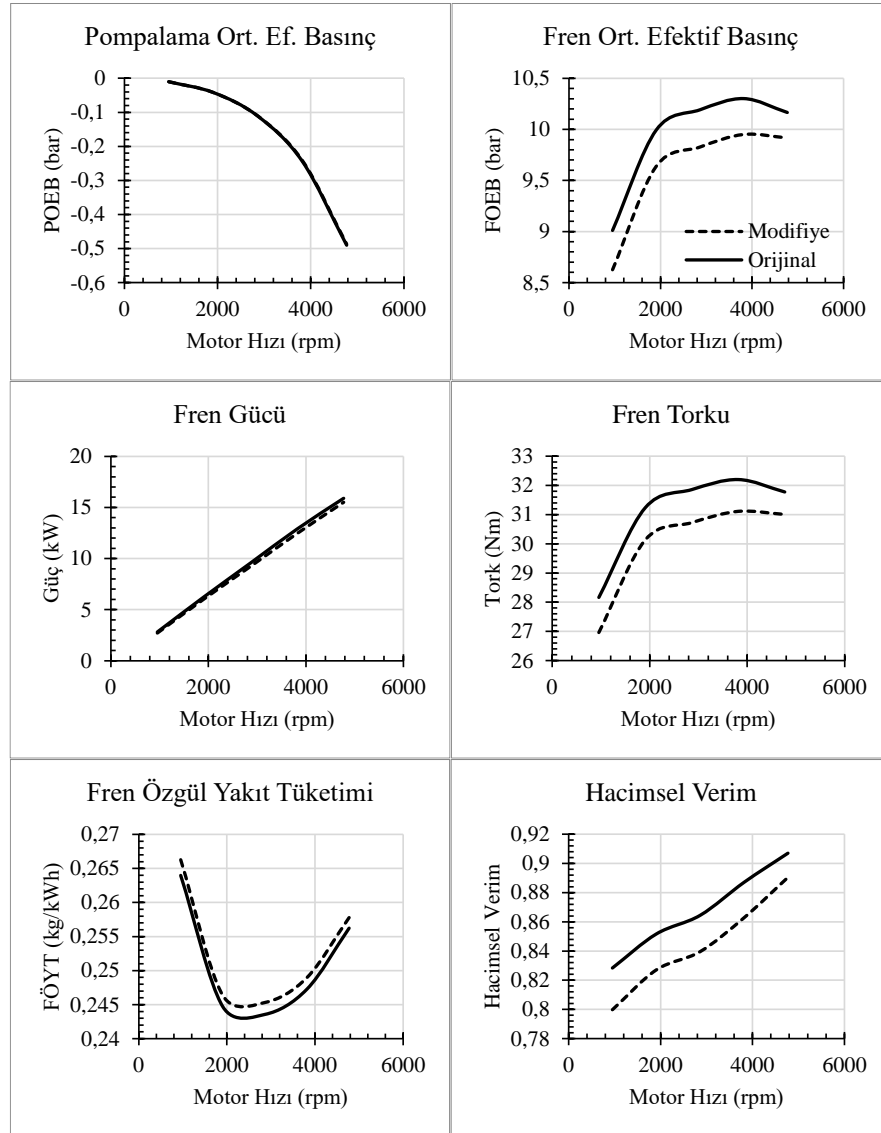
Supap bindirmesi	Emme Supabı		Egzoz Supabı	
	Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi	Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi
40	7,5	240	7,2	260
40	8,2	260	7,9	280
40	8,9	280	8,6	300
40	9,6	300	9,3	320
40	10,3	320	10,0	340
55	7,5	260	8,6	320
55	8,2	280	9,3	340
55	8,9	300	10,0	260
55	9,6	320	7,2	280
55	10,3	240	7,9	300
70	7,5	280	10,0	280
70	8,2	300	7,2	300
70	8,9	320	7,9	320
70	9,6	240	8,6	340
70	10,3	260	9,3	260
85	7,5	300	7,9	340
85	8,2	320	8,6	260
85	8,9	240	9,3	280
85	9,6	260	10,0	300
85	10,3	280	7,2	320
100	7,5	320	9,3	300
100	8,2	240	10,0	320
100	8,9	260	7,2	340
100	9,6	280	7,9	260
100	10,3	300	8,6	280

Kullanılan simülasyon programında hesaplanan birçok parametre bulunmasına rağmen bu deney tasarımı için pompalama ortalama efektif basıncı (POEB), fren ortalama efektif basıncı (FOEB), fren gücü, fren torku, fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) ve hacimsel verim parametreleri motorun temel performans parametresi olarak belirlenmiştir. Böylelikle her bir motor hızı için 25 durum olmak üzere toplam 125 durum için deney tasarımı yapılmıştır. Simülasyon verileri detaylı olarak EK A'da sunulmuştur.

5. BULGULAR

5.1 Referans Motorun Performans Karakteristiği

Bu bölümde referans motorun temel motor karakteristikleri elde edilmiştir. Bununla birlikte referans motorun supap hareketi eğrisinin kosinüs fonksiyonuna göre elde edilmiş hali ile aynı koşullarda tekrar temel motor karakteristikleri elde edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Referans motorun orijinal ve modifiye supap hareketi için performansı

Şekil 5.1’de orijinal supap hareketi ile modifiye supap hareketi kullanılarak elde edilen durum karşılaştırılmıştır. Referans motorun orijinal ve modifiye supap hareketi için performansı eğrilerine göre pompalama ortalama efektif basınç (POEB) değerleri neredeyse aynı çıkmıştır. Bununla birlikte supap hareket karakteristiğindeki değişiklik fren ortalama efektif basınç (FOEB), fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) ve fren gücünde yaklaşık %3’lük bir azalmaya, fren özgül yakıt tüketiminde (FÖYT) ise yaklaşık %3’lük bir artışa neden olmuştur. Bunun başlıca sebebi ise modifiye edilen supap hareketi nedeniyle hacimsel verimde yaklaşık %3’lük bir azalma meydana gelmesidir.

Buradaki performans düşüklüğünün nedeni için Şekil 4.5 daha detaylı incelenebilir. Bu çalışmada orijinal supap hareketi kosinüs fonksiyonuna benzetilmişti. Her ne kadar hareket eğrisindeki ortalama hata %1’den daha düşük olsa da hacimsel verim bakımından orijinal supap hareketinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle supap hareketi için ilk kalkış ve maksimum supap kalkması durumlarının yanında ilk hareketten maksimum supap kalkmasına kadar gerçekleşen sürecin de hacimsel verim üzerinde etkisi olduğu aşıkardır. Bu çalışmanın bundan sonraki kısmındaki performans karşılaştırmalarında kosinüs fonksiyonu ile modifiye edilen supap hareketi referans alınacaktır.

5.2 Bağımsız Değişkenlerin Motor Performansına Etkileri

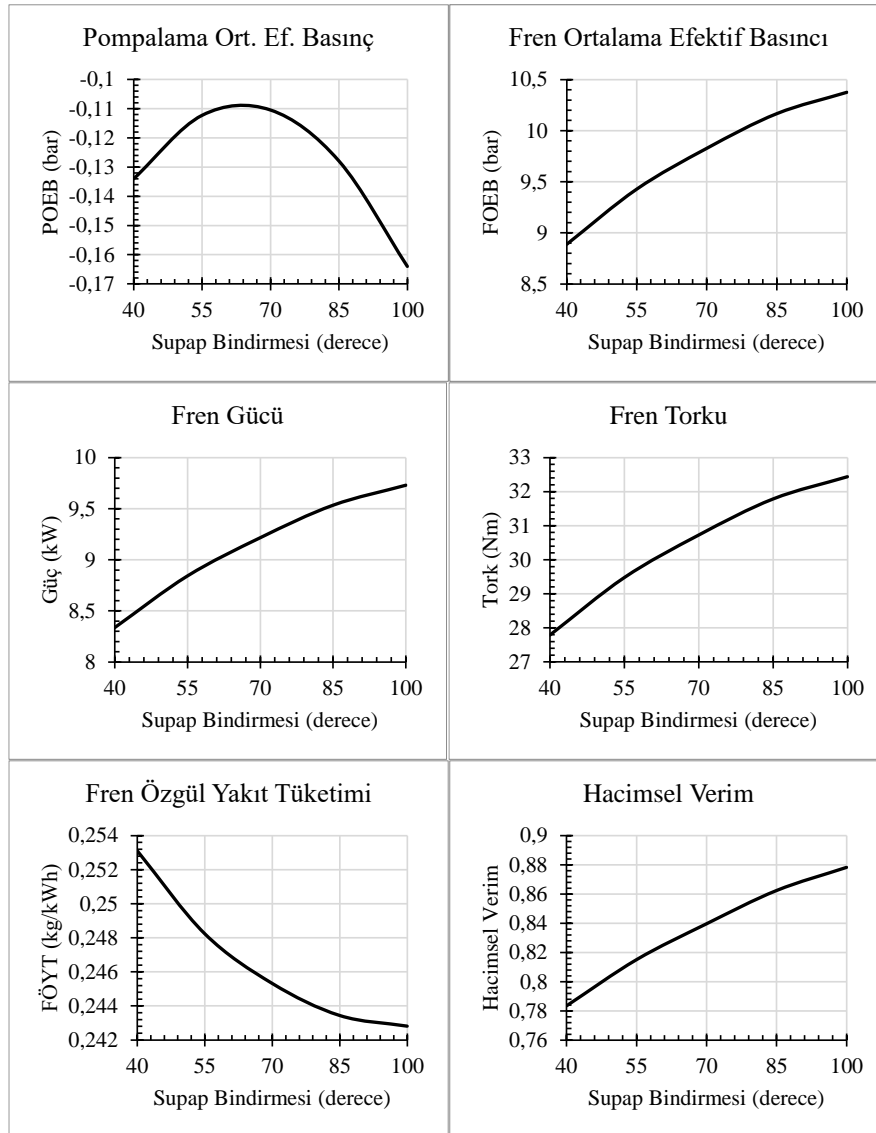
Bu bölümde önce belirlenen her bir bağımsız değişkenler için motor performansına etkileri ele alınmıştır. Simülasyonda tek bir parametre için durumlar oluşturulmuş ve diğer parametreler sabit bırakılmıştır.

5.2.1 Supap Bindirmesi Açısal Süresi Değişimi

Yalnızca supap bindirmesi açısal süresinin değiştirilmesi ile birlikte emme ve egzoz supabının açılma ve kapanma anları değişmiştir. Referans motorun orijinal değeri olan 70°KrA olan supap bindirmesi değerinin 40°KrA’sı egzoz supabı kapanması gecikmesi ve 30°KrA’sı ise emme supabı açılması avansıdır. Supap

bindirmesi açılmal süresi 40 ila 100°KrA aralığında değıştirilirken bu 30/40 oranı sabit tutulmuştur.

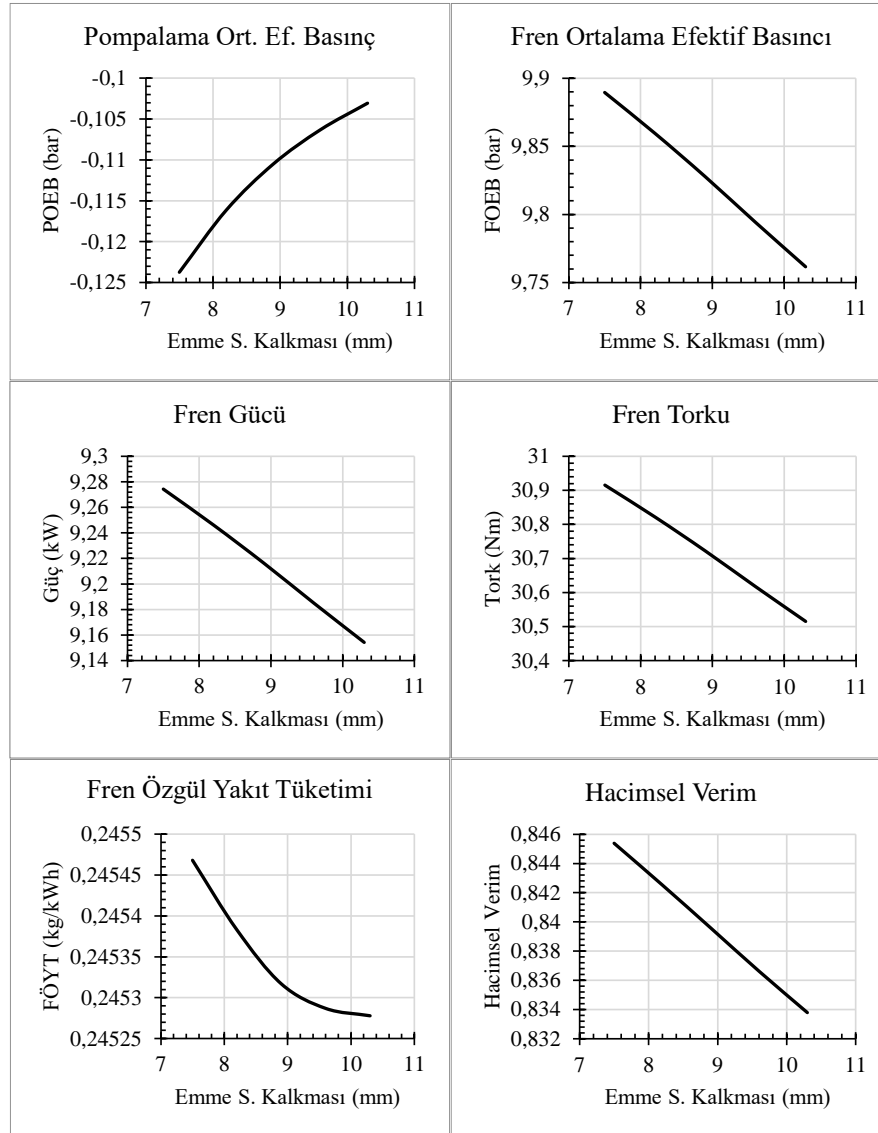
Supap bindirmesi değışiminin motor performansına etkisi ile ilgili elde edilen grafikler Şekil 5.2’de sunulmuştur. Supap bindirmesi değışimine göre POEB artmaktadır. Benzer olarak FOEB, fren gücü ve fren torku değeri supap bindirmesi değeri ile doğru orantılıdır. Supap bindirmesi süresi arttıkça motor performansında iyileşme görölmektedir. Hacimsel verim ile supap bindirmesi arasında da doğru orantı olduğu gözlenmiştir. Ancak grafiklere bakıldığında performans artışı miktarı supap bindirmesi süresi arttıkça azalmaktadır. FÖYT incelendiğinde ise supap bindirmesi süresi arttıkça azalma eğilimindedir.



Şekil 5.2: Supap bindirmesi değışiminin motor performansına etkisi

5.2.2 Emme Supabı Maksimum Kalkma Miktarı Değişimi

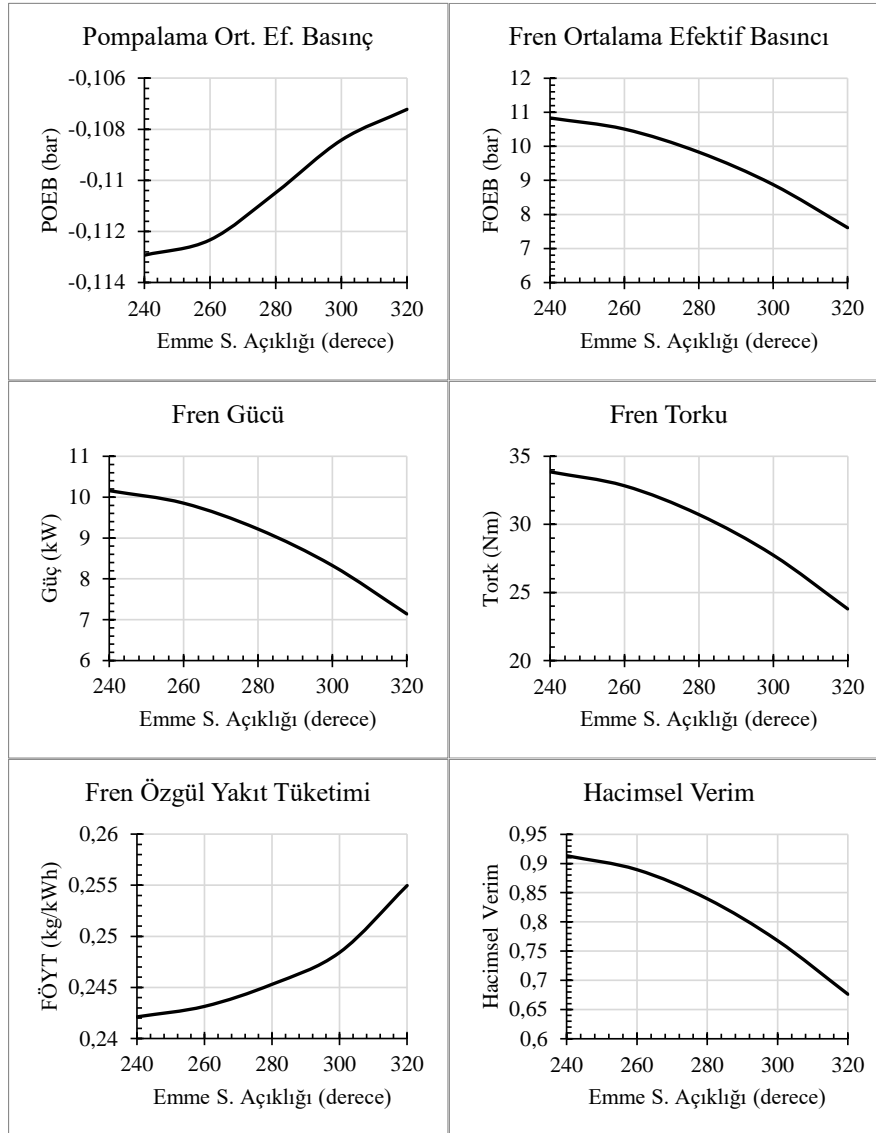
Yalnızca emme supabı maksimum kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Emme supabı kalkma miktarı arttıkça POEB azalmaktadır. Bununla birlikte FOEB, fren gücü ve fren torku da azalmaktadır. Ayrıca FÖYT'te azalmaktadır. Burada emme supabı açık kalma süresi değiştirilmeden yalnızca emme supabı maksimum kalkma miktarı değiştirildiği için hacimsel verim, emme supabı kalkış miktarı arttıkça azalma eğilimine girmiştir. Grafiklerdeki y-ekseni değişim aralıkları Şekil 5.2 ile kıyasla Şekil 5.3'te oldukça düşüktür. Bu durum supap bindirmesinin emme supabı maksimum kalkma miktarından daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.3: Emme supabı kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi

5.2.3 Emme Supabı Açık Kalma Süresi Değişimi

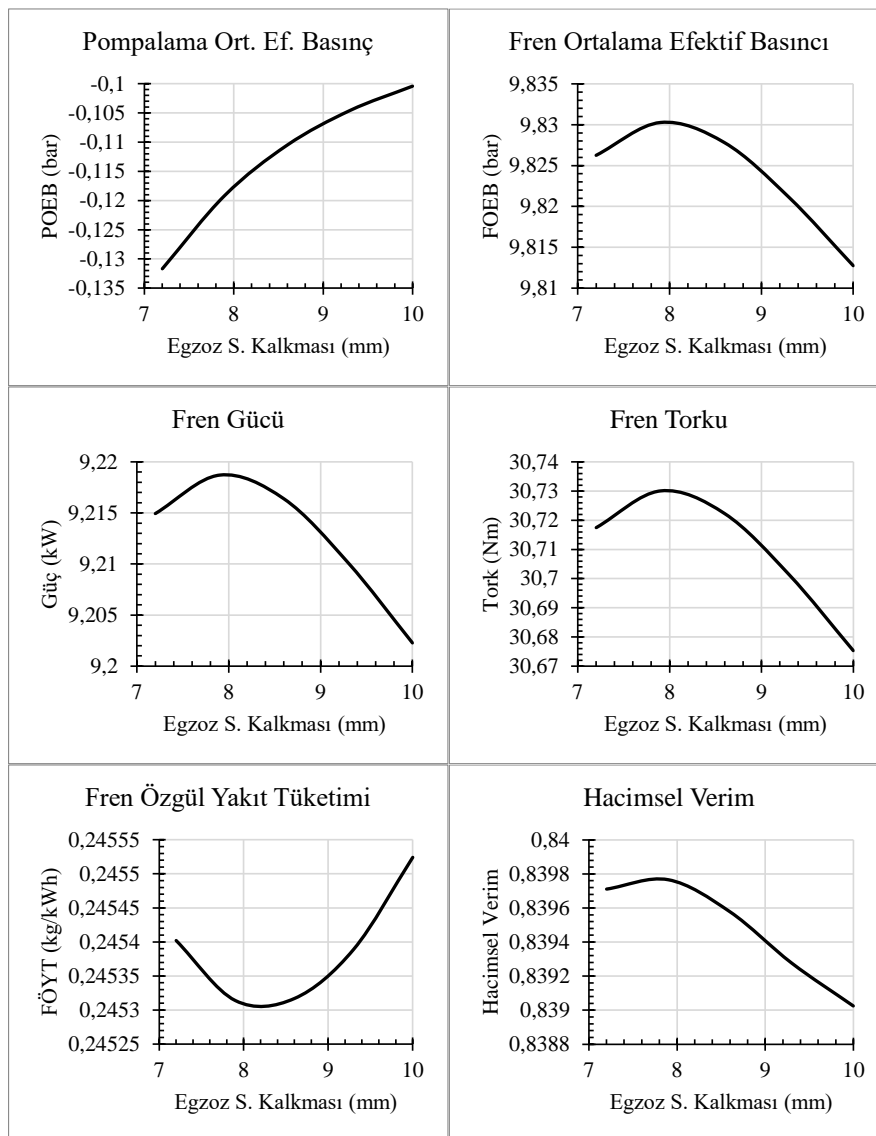
Emme supabı açık kalma süresinin motor performansına etkisi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Emme supabı açıklığı arttıkça POEB, FOEB, fren gücü, fren torku ve hacimsel verim azalmıştır. Ayrıca FÖYT artmıştır. Grafiklerdeki y-ekseni değişim aralıkları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ile karşılaştırıldığında motor performansı bakımından emme supabı açık kalma süresi de supap bindirmesi kadar önemli bir parametredir. Burada performans kaybına neden olan temel parametre hacimsel verimdir. Emme hattı için supap açık kalma süresinin artması hacimsel verimi azaltmaktadır. Ancak supap açık kalma süresi azaldığında kam milinin tasarımı zorlaşır ve mekanik problemler (çarpma, sıçrama, supap kapanmasında hareket kaybı gibi) ortaya çıkar.



Şekil 5.4: Emme supabı açık kalma süresi değişiminin motor performansına etkisi

5.2.4 Egzoz Supabı Maksimum Kalkma Miktarı Değişimi

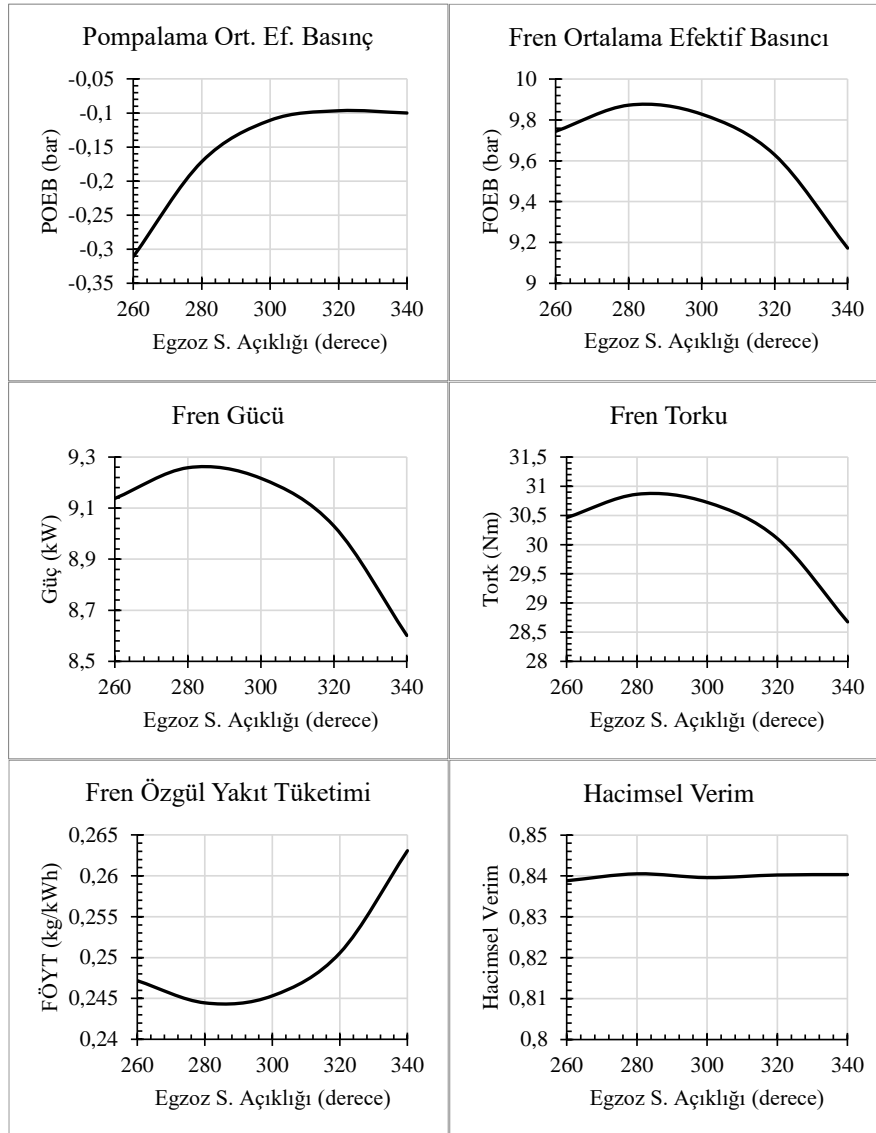
Yalnızca egzoz supabı maksimum kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. FOEB'nun en düşük değeri motorun referans egzoz supabı maksimum kalkma miktarı durumunda gerçekleştiği görülmektedir. FOEB ise egzoz supabı kalkma miktarına göre artış göstermektedir. Fren gücü ve fren torku değerinin maksimum ve FÖYT'nin minimum olduğu durum referans alınan orijinal koşullarda gerçekleşmektedir. Egzoz supabı kalkma miktarı arttıkça hacimsel verim de azalma eğilimindedir.



Şekil 5.5: Egzoz supabı kalkma miktarı değişiminin motor performansına etkisi

5.2.5 Egzoz Supabı Açık Kalma Süresi Değişimi

Egzoz supabı açık kalma süresinin motor performansına etkisi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Egzoz supabının açık kalma süresini değiştirirken supap bindirmesi süresini değiştirmemek için pratik olarak egzoz supabının açılma anı koşulları da değişmektedir. Egzoz supabı açık kalma süresi için POEB değerleri incelendiğinde önce bir artış sonra ise sabit kalma eğilimi göstermektedir. FOEB, fren gücü ve fren torku incelendiğinden önce bir artış ve ardından azalış gözlenmiştir. Egzoz supabı açık kalma süresi arttıkça FÖYT'de artmaktadır. Hacimsel verim ile emme supabı arasında bir ilişki belirlenememiştir.



Şekil 5.6: Egzoz supabı açık kalma süresi değişiminin motor performansına etkisi

5.3 Deney Tasarımına Göre Elde Edilen Simülasyon Sonuçları

Simülasyonda her bir motor hızı için Tablo 4.3'te sunulan 25 farklı koşulda toplam 125 çözüm üretilmiştir. Simülasyon sonuçları detaylı olarak EK B'de sunulmuştur. Burada elde edilen sonuçlar ham olarak kullanılarak bir yorum yapmak oldukça zordur. Bağımsız değişken olarak belirlenen beş faktörün (supap bindirmesi, emme supabı kalkma miktarı, emme supabı açık kalma süresi, egzoz supabı kalkma miktarı ve egzoz supabı açık kalma süresi) hangisinin motor performansına etkisinin daha çok olduğunun belirlenmesi için Minitab istatistiksel veri analizi programı ile varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca bağımsız değişkenlere göre motor performans parametrelerinin hesaplanabilmesi için regresyon analizi yapılarak eşitlikler elde edilmiştir.

5.3.1 Optimum Koşulların Belirlenmesi ve Varyans Analizi

Bu bölümde her bir motor hızı için Taguchi deney tasarımı uygulanmış ve ardından çıkış parametrelerinin hesaplanabilmesi için regresyon fonksiyonları elde edilmiştir. 100 rad/s (954 rpm) için supap bindirmesi, emme supabı kalkma miktarı, emme supabı açık kalma süresi, egzoz supabı kalkma miktarı, egzoz supabı açık kalma süresi bağımsız değişkenlerine bağlı olarak fren torku (performans göstergesi), fren ısı verim (ekonomi göstergesi) ve hacimsel verim (kalite göstergesi) bağımlı değişkenlerinin en yüksek olması istendiği durum için elde edilen SNR değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1: 954 rpm motor hızı için SNR değerleri

Seviye	Supap bindirmesi	Emme Supabı		Egzoz Supabı	
		Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi	Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi
1	1,8443	2,69271	3,82179	2,32752	2,46985
2	2,09552	2,43281	3,45510	2,50169	2,34161
3	2,42874	2,24124	2,76888	2,49968	2,53306
4	2,69046	2,15962	1,67460	2,38782	2,23044
5	2,86967	2,24244	0,04846	2,05211	2,19387
Delta	1,18524	0,53309	3,77332	0,44958	0,33919
Sıra	2	3	1	4	5

Tablo 5.1’de Delta değeri ilgili faktörün önemini (etkisini) ifade etmektedir. Delta değerinin büyük olması o faktörün daha etkili olduğunu göstermektedir. Delta değeri SNR’nin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Burada fren torku, fren ısı verim ve hacimsel verim bağımlı değişkenlerinin en yüksek olabilmesi için emme supabı açılma süresinin diğer faktörlere göre daha etkili olduğu görülmektedir. Faktörlerde SNR değerinin en yüksek olduğu seviyeler en iyi motor performansı için gerekli optimum değerleri belirtmektedir. Tablo 5.1’e göre 954 rpm için seçilmesi gereken seviye konfigürasyonu (koyu olarak belirtilmiştir) 5-1-1-2-3 olarak görülmektedir.

Ayrıca fren torku, fren ısı verim ve hacimsel verim bağımlı değişkenlerinin en yüksek olması için en az etkisi olan parametrelerin egzoz supabı ile ilgili faktörler olduğu görülmektedir. Buradaki SNR değerlerinin güvenilirliğinin sınanması için varyans analizi yapılmıştır. Yapılan analizde determinasyon katsayısı (R^2) %95,17 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca anlamlılık düzeyi (P değeri) ve önem değeri (F değeri) incelendiğinde emme supabı açılma süresi ve supap bindirmesi faktörlerinin en etkili, egzoz ile ilgili faktörlerin ise en etkisiz olduğu belirlenmiştir. Diğer motor hızları için varyans analizi ile ilgili önemli sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2: Varyans analizi sonuçları

Motor Hızı (rpm)	R^2 (%)	Etki (Önem) Sırası				
		Supap Bindirmesi	Emme		Egzoz	
			Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi	Maksimum hareket (kalkma)	Açısal Açık Kalma Süresi
954	99,19	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ □ □ □	■ □ □ □ □
1909	98,89	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ □ □ □	■ □ □ □ □
2864	98,75	■ ■ ■ ■ □	■ ■ ■ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ □ □ □	■ □ □ □ □
3819	97,72	■ ■ ■ ■ □	■ ■ □ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □ □	■ □ □ □ □
4774	95,39	■ ■ ■ ■ □	■ □ □ □ □	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ □ □	■ ■ □ □ □

Fren torku, fren ısı verim ve hacimsel verim değerlerinin en yüksek olmasındaki en etkili faktör emme supabı açılma süresidir. Emme supabı açılma süresinin belirlenmesi her motor hızında önemlidir. Bununla birlikte supap bindirmesi de motor performansının en yüksek olması için önemli faktörlerden birisidir. Bununla birlikte emme supabı maksimum kalkma değerinin önemi yüksek motor hızlarında azalmakta, egzoz supabı maksimum kalkma değerinin önemi ise yüksek motor hızlarında artmaktadır. Motor performansında en az etkisi bulunan

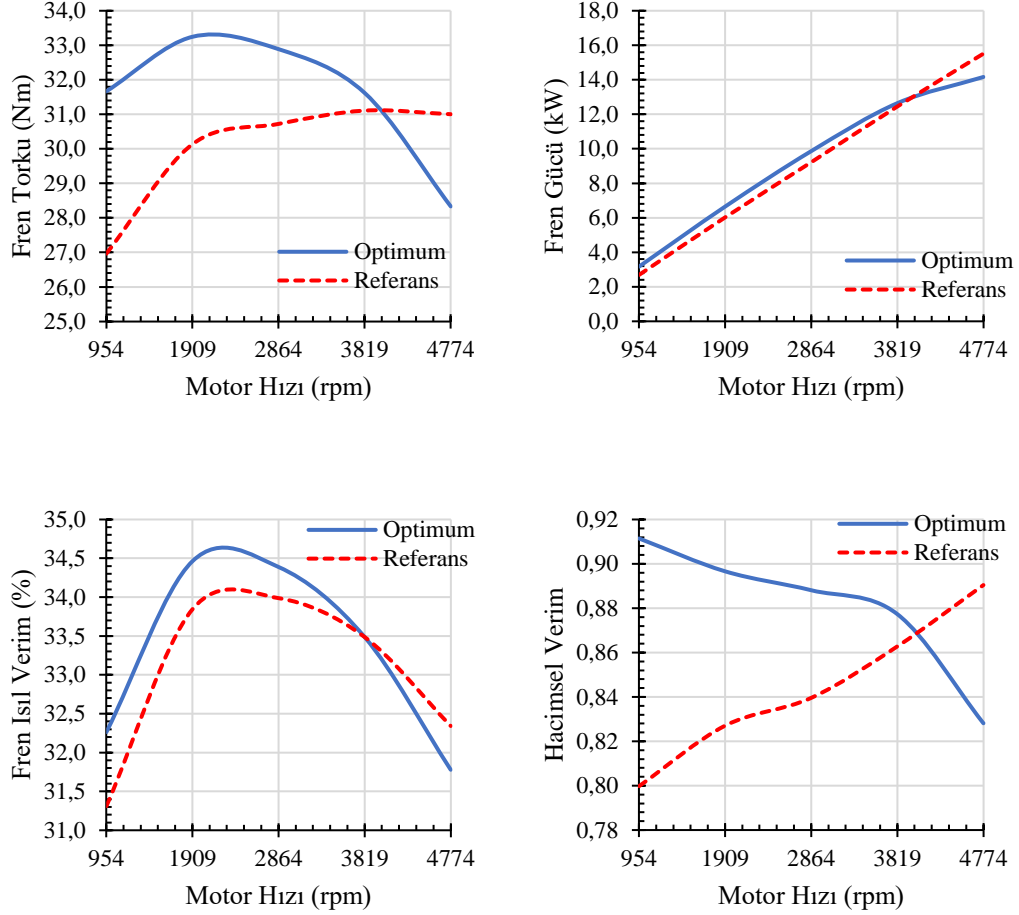
faktör ise egzoz supabı açık kalma süresidir. Motor hızlarına bağlı olarak en iyi motor performansının sağlanması için faktörlerin seviyeleri Tablo 5.3'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 5.3: En iyi motor performansı için gerekli optimum değerler

Motor Hızı (rpm)	Etki (Önem) Sırası				
	Supap Bindirmesi (°KrA)	Emme		Egzoz	
		Maksimum hareket (kalkma) (mm)	Açısal Açık Kalma Süresi (°KrA)	Maksimum hareket (kalkma) (mm)	Açısal Açık Kalma Süresi (°KrA)
954	100	7,5	240	7,9	300
1909	100	7,5	240	8,6	300
2864	100	7,5	240	7,9	300
3819	85	7,5	240	8,6	300
4774	85	7,5	260	7,9	300

Buradaki değerler daha önceden belirlenen faktörler ve bu faktörlere ait seviyelere göre belirlenmiş optimum değerlerdir. Eğer optimizasyon işlemi fren torku, fren ısı verim ve hacimsel verim için ayrı ayrı yapılmış olsaydı bu değerler de farklı olabilirdi. Ancak bu üç parametrenin de yüksek olacağı optimum değerler bu çalışma için daha önemli olduğu için her bir parametre için ayrı ayrı performans değerlendirmesi yapılmamıştır.

Şekil 5.7'de Tablo 5.3'te sunulan optimum değerler ile referans motorun orijinal değerleri için motor performansı karşılaştırması yapılmıştır. Yüksek motor hızında referans motorun orijinal değerleri ile daha iyi performans ortaya çıkmıştır. Ancak düşük ve orta motor hızında belirgin bir motor performansı iyileşmesi görülmektedir. Buna göre düşük ve orta hız için fren gücü ve fren torkunda %8,1 iyileşme, fren ısı veriminde %1,5 iyileşme ve hacimsel verimde ise %6,8 iyileşme olduğu görülmektedir. Hem hacimsel verimi, fren ısı verimi hem de fren torkunu aynı anda en iyi yapan bir değer elde etmek oldukça güçtür. Ancak Şekil 5.7'deki grafiklerden de anlaşılıyor ki toplam motor performansının artması için uygun bir supap hareketi konfigürasyonu elde etmek mümkündür.



Şekil 5.7: Optimum değerler ile referans motorun orijinal değerleri için motor performansı

5.3.2 Regresyon Analizi

DeneySEL verilerin bağımsız değişkenlere göre ilişkilendirilebilecek bir fonksiyon türetmek için regresyon analizi kullanılabilir. Burada herhangi bir performans parametresi için aşağıdaki lineer regresyon eşitliği oluşturulmuştur.

$$p = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4 + fx_5 \quad (5.1)$$

Eşitliğin sabit katsayıları Tablo 5.4'te gösterilmiştir. Fonksiyonda p motor performans parametresini (fren torku, fren ısıl verimi veya hacimsel verim), x_1, x_2, x_3, x_4 ve x_5 , sırasıyla supap bindirmesi, emme supabı kalkma miktarı, emme supabı açık kalma süresi, egzoz supabı kalkma miktarı ve egzoz supabı açık kalma süresi için değerleri ve a, b, c, d, e ve f ise sabit katsayıları göstermektedir.

Tablo 5.4: Regresyon eşitliği için belirlenen katsayılar

Performans Parametresi	Katsayı	Motor Hızı (rpm)				
		954	1909	2864	3819	4774
Fren Torku (Nm)	<i>a</i>	83,38	83,12	79,06	74,40	62,38
	<i>b</i>	0,0813	0,0738	0,0655	0,0567	0,0450
	<i>c</i>	-0,463	-0,555	-0,543	-0,534	-0,499
	<i>d</i>	-0,14889	-0,1386	-0,1292	-0,1179	-0,0871
	<i>e</i>	-0,435	-0,497	-0,504	-0,570	-0,588
	<i>f</i>	-0,04791	-0,0402	-0,0315	-0,0232	-0,0120
	R ² (%)	94,57	92,64	90,79	83,50	66,00
Fren Isıl Verim	<i>a</i>	58,52	58,24	55,25	51,74	45,26
	<i>b</i>	0,04655	0,04035	0,0341	0,0279	0,0195
	<i>c</i>	-0,350	-0,371	-0,375	-0,397	-0,405
	<i>d</i>	-0,02994	-0,03028	-0,03139	-0,03368	-0,03082
	<i>e</i>	-0,422	-0,421	-0,390	-0,370	-0,322
	<i>f</i>	-0,05471	-0,04309	-0,03091	-0,01784	-0,00233
	R ² (%)	84,83	79,31	72,19	66,22	48,16
Hacimsel Verim (%)	<i>a</i>	1,965	1,835	1,766	1,731	1,563
	<i>b</i>	0,001542	0,001289	0,001163	0,001072	0,000965
	<i>c</i>	-0,01006	-0,01036	-0,00925	-0,00840	-0,00667
	<i>d</i>	-0,003919	-0,003283	-0,002954	-0,002622	-0,001867
	<i>e</i>	-0,00675	-0,00700	-0,00717	-0,00933	-0,01092
	<i>f</i>	-0,000199	-0,000189	-0,000216	-0,000300	-0,000382
	R ² (%)	94,63	93,06	91,63	84,20	65,75

Tablo 5.4'teki determinasyon katsayılarına bakıldığında özellikle düşük ve orta hızlarda regresyon eşitliği ara değerlerin hesaplanması için kullanılabilir niteliktedir. Her ne kadar yüksek hızlarda determinasyon katsayısı tatmin edici bir değerde olmasa da motor performansı için en iyi supap hareketi konfigürasyonun belirlenmesinde kullanılabilir niteliktedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Buji ateşlemeli motorlardaki supap hareket karakteristiği ile performansı arasındaki ilişkinin incelendiği bu çalışmada WAVE simülasyon programında yer alan ve doğruluğu kanıtlanmış olan direkt enjeksiyonlu buji ateşlemeli motor modeli kullanılmıştır. Bu motorun orijinal supap hareket profilleri ile performans testi yapılmıştır. Ardından orijinal supap hareket profilleri kosinüs fonksiyonuna benzetilerek modifiye edilmiş supap hareket profilleri elde edilmiş ve böylelikle analitik olarak çözülebilir hale getirilmiştir. Orijinal supap hareketi ile elde edilen performans sonuçları ile modifiye edilmiş supap hareketi ile elde edilen performans sonuçları karşılaştırıldığında performansta %3'lük bir azalma olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada supap hareket karakteristiklerinden olan supap bindirmesi, emme supabı ve egzoz supabı için kalkma miktarı ve açık kalma süresi olmak üzere beş bağımsız değişken belirlenmiştir. Öncelikle bu bağımsız değişkenin motor performansı üzerine etkileri sabit motor hızı (200 rad/s) için ayrı ayrı incelenmiştir. Supap bindirmesi süresi %42 artırıldığında motor performansında yaklaşık %5,5 iyileşme olmuştur. Emme supabı kalkma miktarı %15,7 azaltıldığında motor performansında yaklaşık %0,6 iyileşme olmuştur. Emme supabı açık kalma süresi %14,3 azaltıldığında motor performansında yaklaşık %10,2 artış olmuştur. Egzoz supabı kalkma miktarı ve açık kalma süresi değişimi (artış veya azalış) motor performansını azaltmıştır.

Supap hareket karakteristiklerinin ayrı ayrı değişimi genel bir tasarım konfigürasyonu için yeterli değildir. Bunun için Taguchi deney tasarımı uygulanmış ve her motor hızı için 25 çözüm olmak üzere toplam 125 çözüm yapılmıştır. Motor performans parametresi olarak fren torku, fren ısı verimi ve hacimsel verim tercih edilmiştir. Burada fren torku performans parametresi, fren ısı verimi ekonomi parametresi ve hacimsel verim ise kalite parametresi olarak değerlendirilmiştir. Bu üç parametrenin de yüksek olması arzu edilmektedir. Bu çalışmada varyans analizi ile bu üç motor performans parametresinin eş zamanlı olarak yüksek olabileceği optimum supap hareket karakteristiği belirlenmiştir. Yapılan varyans analizi neticesinde motor performansı üzerinde en etkili olan parametrenin supap bindirmesi

ve emme supabı açık kalma süresi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte referans motorun orijinal konfigürasyonundaki performansı ile kıyaslandığında supap bindirmesinin artırılması ve emme supabı açık kalma süresinin azaltılmasının motor performansını iyileştirdiği görülmüştür. Egzoz supabı ile ilgili özelliklerin etkisi yüksek motor hızında daha belirgin olmaktadır. Ayrıca varyans analizi için hesaplanan determinasyon katsayılarına bakıldığında %95'in üzerinde (motor hızına bağlı olarak %99,19 ila %95,39) aralığında olduğu görülmüştür. Yapılan lineer regresyon analizi ile motor performans parametreleri için regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. Optimum değerler ile referans motorun orijinal değerleri için motor performansı karşılaştırması yapılmıştır. Yüksek motor hızında referans motorun orijinal değerleri ile daha iyi performans ortaya çıkmıştır. Ancak düşük ve orta motor hızında belirgin bir motor performansı iyileşmesi görülmüştür. düşük ve orta hız için fren gücü ve fren torkunda %8,1 iyileşme, fren ısı veriminde %1,5 iyileşme ve hacimsel veriminde ise %6,8 iyileşme tespit edilmiştir.

Bu çalışma supap hareket karakteristiklerinin motor performansına olan etkisi olarak sınırlandırılmıştır. Bilindiği gibi içten yanmalı motorlar performans, ekonomi ve çevre olmak üzere üç özellik ile karakterizedir. Performansın yanında çevre ile ilgili de bir değerlendirme yapabilmek için egzoz emisyonlarının da incelenmesi gerekir. Bununla birlikte bu çalışma çeşitli kabullerin yapıldığı basit bir motor modeli üzerinde yalnızca supap hareket karakteristiklerinin değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu tür çalışmaların gerçek testlerinin yapılması daha doğru sonuçlar elde etmek için önemlidir. Bu duruma ilave olarak daha gerçekçi üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü sunan çeşitli simülasyon programları ile motor daha detaylı modellenerek supap hareketi konfigürasyonun etkisi daha detaylı incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

Alqahtani, A., Shokrollahihassanbarough, F., & Wyszynski, M. L., Thermodynamic simulation comparison of AVL BOOST and Ricardo WAVE for HCCI and SI engines optimization. *Combustion Engines*, 54(2), 68-72, (2015).

Aydın, E. Taguchi Optimizasyon Metodunun İmalat Mühendisliği Alanında Kullanımı: Minitab Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(3), 1049-1068, (2023).

Babagiray, M., Kocakulak, T., Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., Çınar, C., & Uyumaz, A. Experimental and statistical investigation of different valve lifts on HCCI combustion, performance and exhaust emissions using response surface method. *Energy*, 244, 123184, (2022).

Bayramoğlu, K., Yilmaz, S., & Kaya, K. D. Numerical investigation of valve lifts effects on performance and emissions in diesel engine. *International Journal of Global Warming*, 18(3-4), 287-303, (2019).

Britannica “Steam engine” (7 Şubat 2023), <https://www.britannica.com/technology/steam-engine>, (2023)

Caton, J. A. An introduction to thermodynamic cycle simulations for internal combustion engines. John Wiley & Sons, (2015).

Cinar, C., Uyumaz, A., Solmaz, H., & Topgul, T. Effects of valve lift on the combustion and emissions of a HCCI gasoline engine. *Energy Conversion and Management*, 94, 159-168, (2015).

Claywell, M., Horkheimer, D., & Stockburger, G., Investigation of intake concepts for a formula SAE four-cylinder engine using 1D/3D (Ricardo Wave-Vectis) coupled modeling techniques (No. 2006-01-3652). SAE Technical Paper, 2006).

Dalla Nora, M., Lanzanova, T. D. M., & Zhao, H. Effects of valve timing, valve lift and exhaust backpressure on performance and gas exchanging of a two-stroke GDI engine with overhead valves. *Energy Conversion and Management*, 123, 71-83, (2016).

Davutoğlu, N.A., "Üçüncü ve dördüncü sanayi devrimleri arasındaki temel ve sistematik farklılıkların determinist bir yaklaşımla analizi." *Management and Political Sciences Review* 2.1, 176-194, (2020).

Epperson, J. F., An introduction to numerical methods and analysis. John Wiley & Sons, (2021).

Ferguson, C. R., Kirkpatrick, A. T., Internal combustion engines: applied thermosciences. John Wiley & Sons, (2015).

Gültekin, N., Gülcan, H. E., & Ciniviz, M. Investigation of the effects of hydrogen energy ratio and valve lift amount on performance and emissions in a hydrogen-diesel dual-fuel compression ignition engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49, 352-366, (2024).

Heywood, J. B, Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education, (2018).

Koca, D., "Sanayi devrimlerinin tarihsel arka planı ve işgücü becerileri üzerindeki yansımaları", *OPUS International Journal of Society Researches*, 16(31), 4531-4558, (2020).

Li, Q., Liu, J., Fu, J., Zhou, X., & Liao, C. Comparative study on the pumping losses between continuous variable valve lift (CVVL) engine and variable valve timing (VVT) engine. *Applied Thermal Engineering*, 137, 710-720, (2018).

Norton, R. L., Cam design and manufacturing handbook. Industrial Press Inc., (2002).

Polat, S., Solmaz, H., Yılmaz, E., Calam, A., Uyumaz, A., & Yücesu, H. S. Mapping of an HCCI engine using negative valve overlap strategy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(9), 1140-1154, (2020).

Saridemir, S., & Saruhan, H. Experimental analysis of maximum valve lift effects in cam-follower system for internal combustion engines. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28, 3443-3448, (2014).

Sawant, P., & Bari, S. Effects of variable intake valve timings and valve lift on the performance and fuel efficiency of an internal combustion engine (No. 2018-01-0376). SAE Technical Paper, (2018).

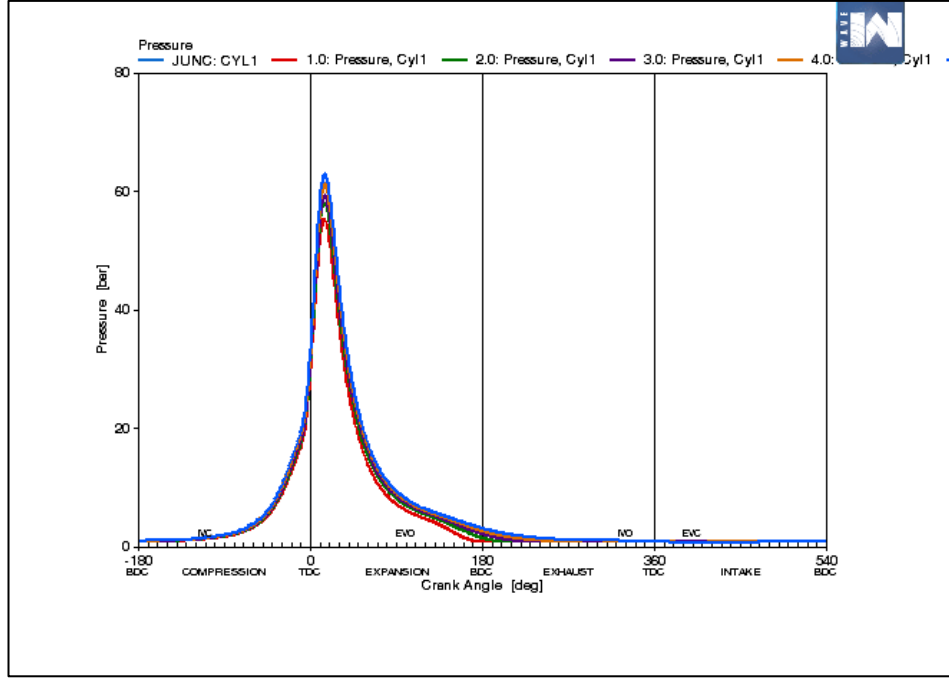
Serencam, H., & Uçurum, M. Taguchi Deney Tasarımı Kullanılarak Uçucu Kül İle Ni (II) Gideriminde Bazı Adsorpsiyon Parametrelerinin Etkinliğinin İrdelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 336-344, (2019).

Zhou, Y., Hong, W., Xie, F., Su, Y., Wang, Z., & Liu, Y. Effects of different valve lift adjustment strategies on stoichiometric combustion and lean burn of engine fueled with methanol/gasoline blending. *Fuel*, 339, 126934, (2023).

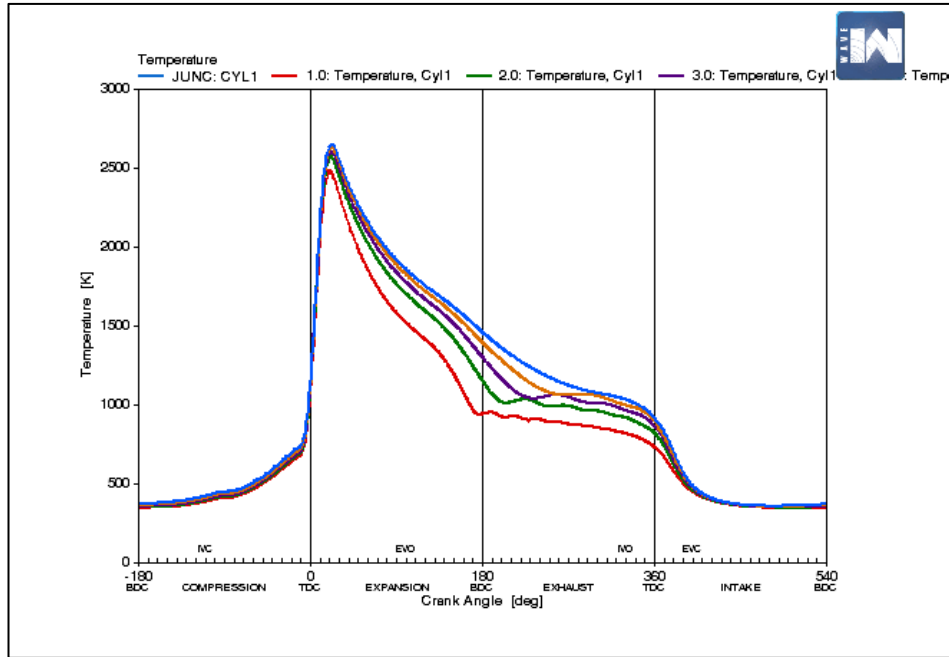
EKLER

8. EKLER

EK A Simülasyon Sonuçları Detayları



Şekil A.1: Referans motorun orijinal değerleri için PV diyagramı

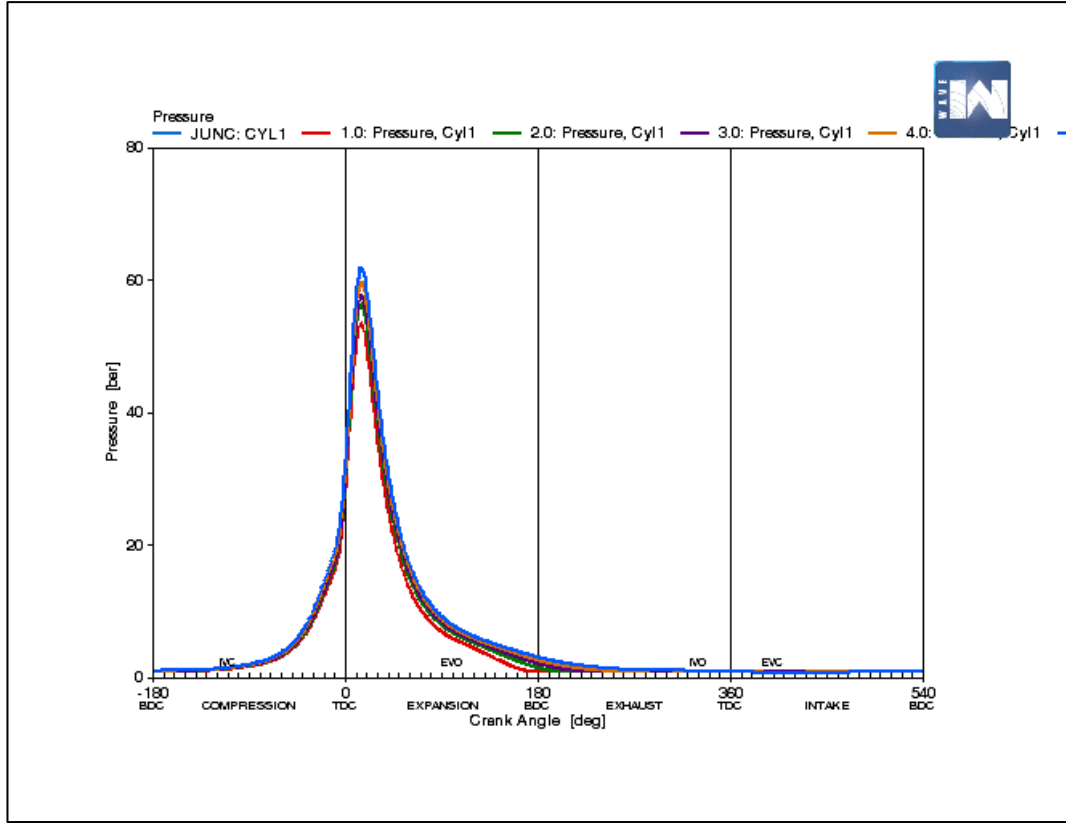


Şekil A.2: Referans motorun orijinal değerleri için TS diyagramı

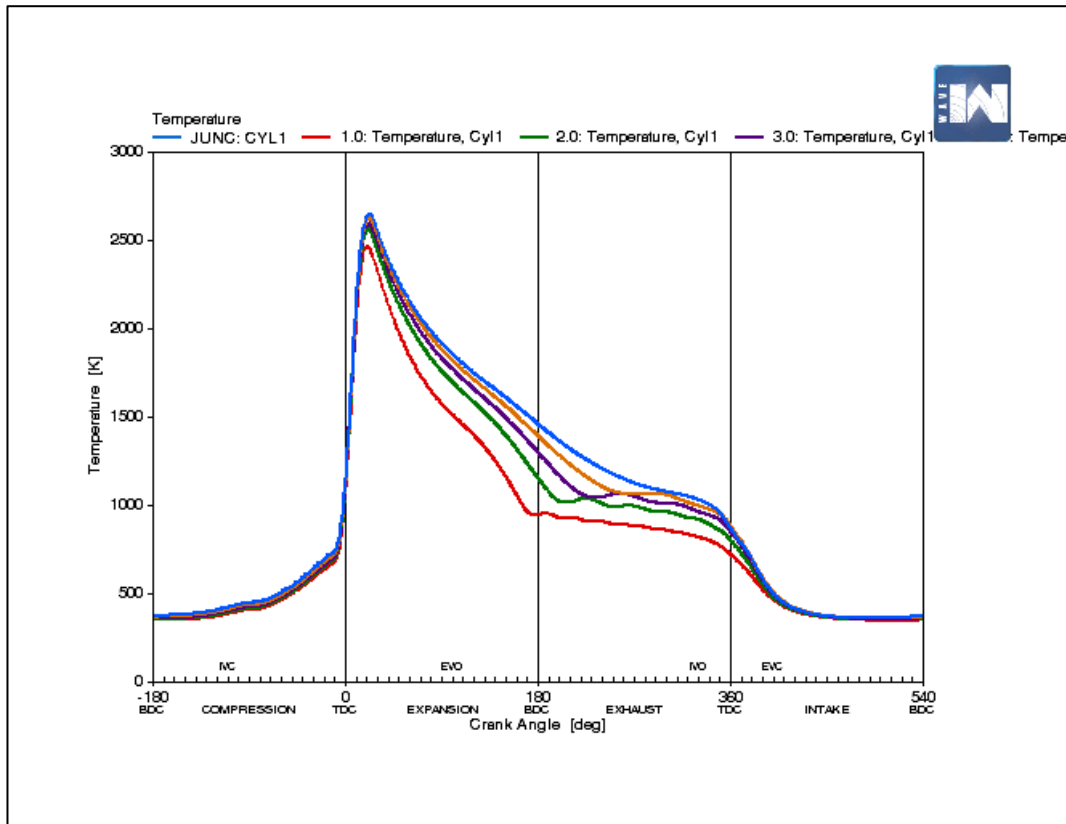
Tablo A.2: Referans motorun orijinal değerleri için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	954	1909	2864	3819	4774
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4996	14.4996	14.4995	14.499	14.4988
Mass Airflow	kg/hr	10.7813	22.1698	33.7552	46.1846	59.0315
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0112905	0.0116084	0.0117832	0.0120915	0.0123639
“Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	9.0104	9.99351	10.1916	10.3015	10.1656
Brake Power	kW	2.81661	6.24785	9.55755	12.8809	15.8885
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.263984	0.244711	0.243575	0.247291	0.256241
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.125301	0.116962	0.116845	0.118963	0.123547
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.854722	0.873322	0.883884	0.904939	0.923711
Delivered efficiency	-	0.854718	0.873348	0.883879	0.904934	0.923738
Total delivered efficiency	-	0.854711	0.873339	0.883875	0.904923	0.923724
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	31.5821	34.0695	34.2284	33.7141	32.5366
EGR	-	-8.11121e-06	-1.04519e-05	-4.6224e-06	-1.22142e-05	-1.45335e-05
FMEP	bar	1.07022	1.33044	1.58859	1.8566	2.12921
Friction Energy Loss	%	3.75122	4.5357	5.33525	6.07615	6.81488
Friction torque	N*m	3.34559	4.15904	4.96603	5.80386	6.65603
Fuel mass flow	kg/hr	0.743542	1.52892	2.32798	3.18532	4.07129
Fuel volume flow	L/hr	1.08745	2.23608	3.40473	4.65861	5.95435
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	10.0912	11.3659	11.8914	12.4015	12.7845
GMEP from crossing point	bar	10.0912	11.3645	11.8715	12.3365	12.6482
Engine out unburned fuel flow	g/s	9.80342e-05	0.00020299	0.000310208	0.000425653	0.000545274
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	2845.1	4105.77	5214.45	6375.04	7562.05

Heat Transfer Loss	%	31.9015	22.3888	18.6745	16.6859	15.4856
Indicated Power	hp	4.22577	9.49394	14.8147	20.3867	25.7697
IMEP	bar	10.0806	11.3239	11.7802	12.1582	12.2948
ISAC	kg/kW/hr	3.42137	3.13149	3.05552	3.03799	3.07193
ISFC	kg/kW/hr	0.235958	0.21596	0.210729	0.209528	0.211865
Indicated Torque	N*m	31.5127	35.3994	36.8256	38.0072	38.4342
Lambda	-	0.996064	0.996064	0.996062	0.996024	0.996009
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.997365	0.990564	0.984892	0.981228	0.978594
Trapped equivalence ratio	-	1.00395	1.00395	1.00395	1.00399	1.00401
Intake port pressure	bar	0.999627	0.998522	0.996665	0.994324	0.991903
PMEP	bar	-0.0105257	-0.0420015	-0.111189	-0.243315	-0.48977
PMEP from crossing point	bar	-0.0105394	-0.0405333	-0.0913186	-0.178331	-0.353435
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.4323	63.8728	64.1078	64.2902	64.4335
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.0329039	-0.131299	-0.347584	-0.760619	-1.53105
Plenum volumetric efficiency	-	0.854711	0.873339	0.883875	0.904923	0.923724
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.854718	0.873348	0.883879	0.904934	0.923738
Residual gas fraction	%	5.40406	4.70137	4.33074	4.04108	3.80974
Scavenging efficiency	-	0.94596	0.952986	0.956693	0.959589	0.961903
Scavenging ratio	-	0.945948	0.953004	0.956683	0.959573	0.961916
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1079.2	1206.04	1259.41	1298.14	1331.42
Intake port gas temperature	K	309.453	307.197	305.722	304.307	303.046
Brake Torque	N*m	28.1671	31.2403	31.8596	32.2033	31.7782
Trapping ratio	-	1.00001	0.999971	1.00001	1.00001	0.999971
Trapping ratio (air-only)	-	1	0.99997	1.00001	1	0.99997
Trapped air volumetric efficiency	-	0.8283	0.8516	0.864447	0.887065	0.907022
Total volumetric efficiency	-	0.828298	0.851626	0.864443	0.887062	0.907049



Şekil A.3: Modifiye edilmiş supap hareketi için PV diyagramı

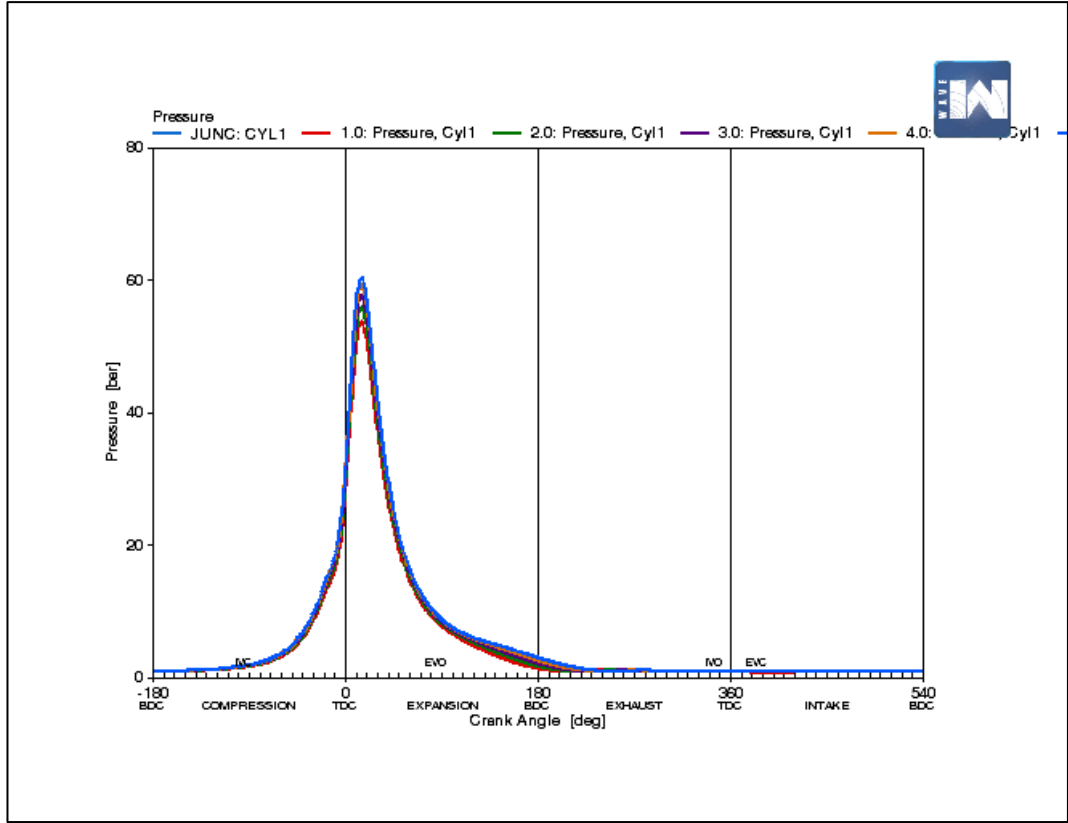


Şekil A.4: Modifiye edilmiş supap hareketi için TS diyagramı

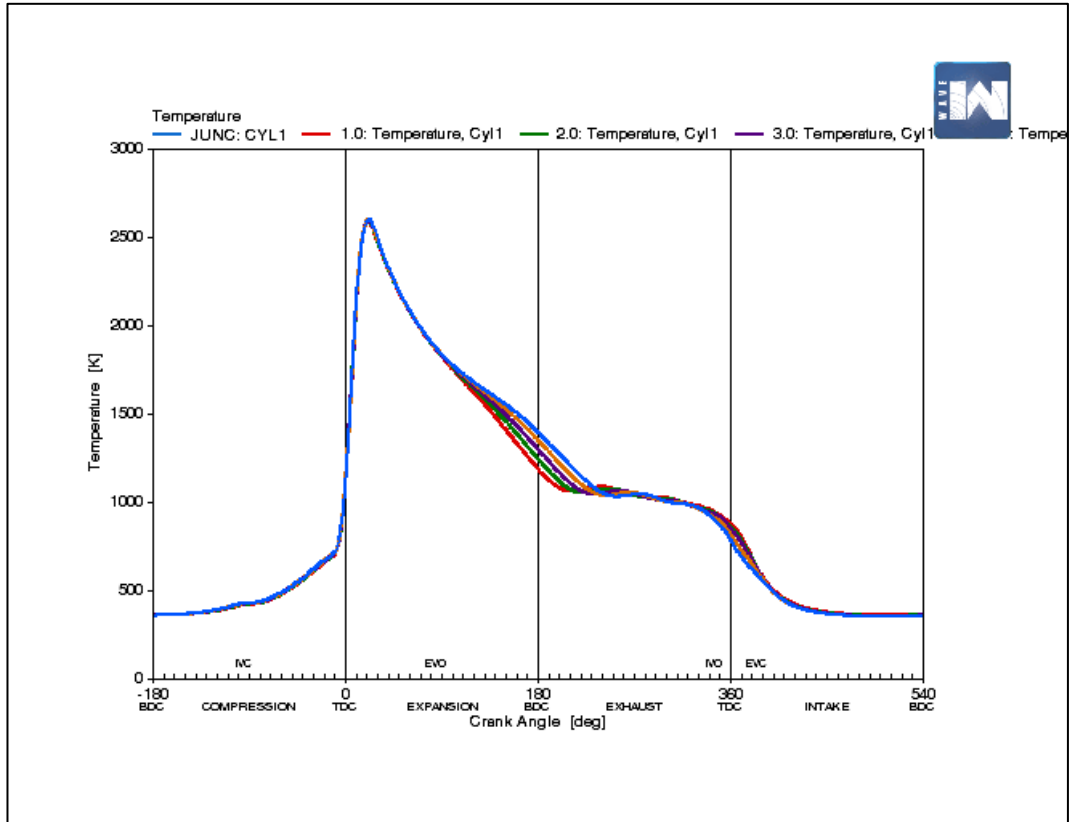
Tablo A.2: Modifiye edilmiş supap hareketi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	954	1909	2864	3819	4774
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4991	14.4996	14.4995	14.4993	14.4985
Mass Airflow	kg/hr	10.4099	21.53	32.7843	44.9207	57.951
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0109015	0.0112734	0.0114442	0.0117606	0.0121376
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	8.62451	9.63907	9.8278	9.95127	9.91771
Brake Power	kW	2.69599	6.02626	9.21638	12.4429	15.5012
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.266281	0.246353	0.245317	0.248981	0.257788
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.125731	0.117289	0.1172	0.119342	0.124132
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.825131	0.848109	0.858437	0.880207	0.906331
Delivered efficiency	-	0.825191	0.848246	0.858464	0.880215	0.906547
Total delivered efficiency	-	0.825176	0.848243	0.858458	0.880211	0.906522
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	31.3097	33.8424	33.9854	33.4853	32.3413
EGR	-	-1.7398e-05	-3.00527e-06	-6.96096e-06	-4.76881e-06	-2.78225e-05
FMEP	bar	1.05918	1.32079	1.57873	1.84702	2.12236
Friction Energy Loss	%	3.84514	4.63723	5.45939	6.21509	6.92096
Friction torque	N*m	3.31105	4.12886	4.93521	5.7739	6.63464
Fuel mass flow	kg/hr	0.717891	1.48459	2.26093	3.09804	3.99601
Fuel volume flow	L/hr	1.04993	2.17125	3.30667	4.53095	5.84425
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	9.69403	11.0017	11.517	12.0391	12.527
GMEP from crossing point	bar	9.69404	11.0002	11.4972	11.9738	12.3881
Engine out unburned fuel flow	g/s	9.41582e-05	0.000196337	0.000300045	0.000412488	0.000534496
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	2751.09	3997.77	5086.88	6239.41	7449.28

Heat Transfer Loss	%	31.9497	22.4508	18.7579	16.791	15.5421
Indicated Power	hp	4.05938	9.18868	14.3448	19.7833	25.2358
IMEP	bar	9.68368	10.9599	11.4065	11.7983	12.0401
ISAC	kg/kW/hr	3.43891	3.14215	3.06484	3.04499	3.0795
ISFC	kg/kW/hr	0.237156	0.216665	0.211364	0.210003	0.212346
Indicated Torque	N*m	30.2718	34.2612	35.6575	36.8822	37.638
Lambda	-	0.996034	0.996068	0.996061	0.996045	0.995991
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.997906	0.991746	0.984425	0.978283	0.973214
Trapped equivalence ratio	-	1.00398	1.00395	1.00396	1.00397	1.00402
Intake port pressure	bar	0.999629	0.998514	0.996678	0.99424	0.991997
PMEP	bar	-0.0103509	-0.0418521	-0.110482	-0.240839	-0.486937
PMEP from crossing point	bar	-0.0103592	-0.040354	-0.0906624	-0.175514	-0.348024
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.0979	63.6157	63.8441	64.0554	64.3384
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.0323575	-0.130832	-0.345375	-0.752877	-1.52219
Plenum volumetric efficiency	-	0.825176	0.848243	0.858458	0.880211	0.906522
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.825191	0.848246	0.858464	0.880215	0.906547
Residual gas fraction	%	5.92907	5.09713	4.74646	4.4128	3.94161
Scavenging efficiency	-	0.940709	0.949029	0.952536	0.955872	0.960584
Scavenging ratio	-	0.940761	0.949179	0.952559	0.955876	0.960786
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1082.63	1207.64	1259.3	1298.34	1332.25
Intake port gas temperature	K	309.424	307.232	305.73	304.297	302.98
Brake Torque	N*m	26.9608	30.1323	30.7223	31.1083	31.0034
Trapping ratio	-	0.999928	0.999839	0.999969	0.999991	0.999762
Trapping ratio (air-only)	-	0.999926	0.999837	0.999967	0.99999	0.999761
Trapped air volumetric efficiency	-	0.799703	0.826914	0.83955	0.862778	0.890234
Total volumetric efficiency	-	0.799762	0.827049	0.839578	0.862787	0.890447



Şekil A.5: Supap bindirmesi süresi etkisi için PV diyagramı

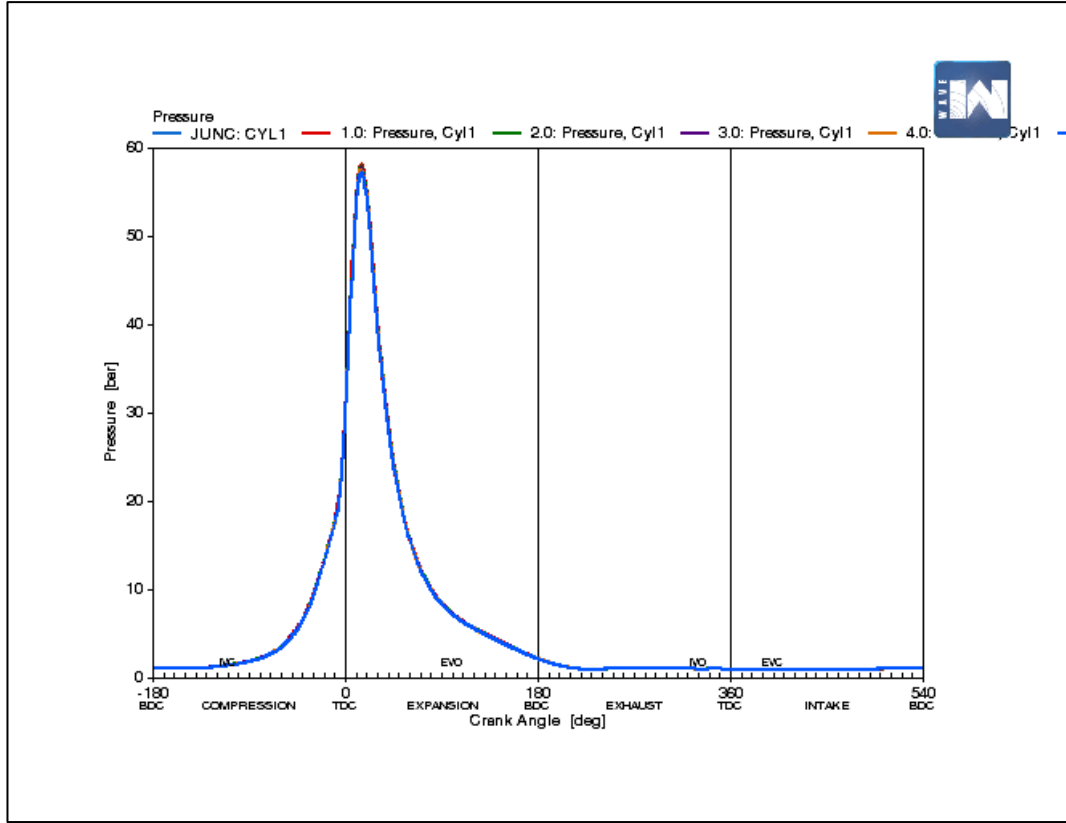


Şekil A.6: Supap bindirmesi süresi etkisi için TS diyagramı

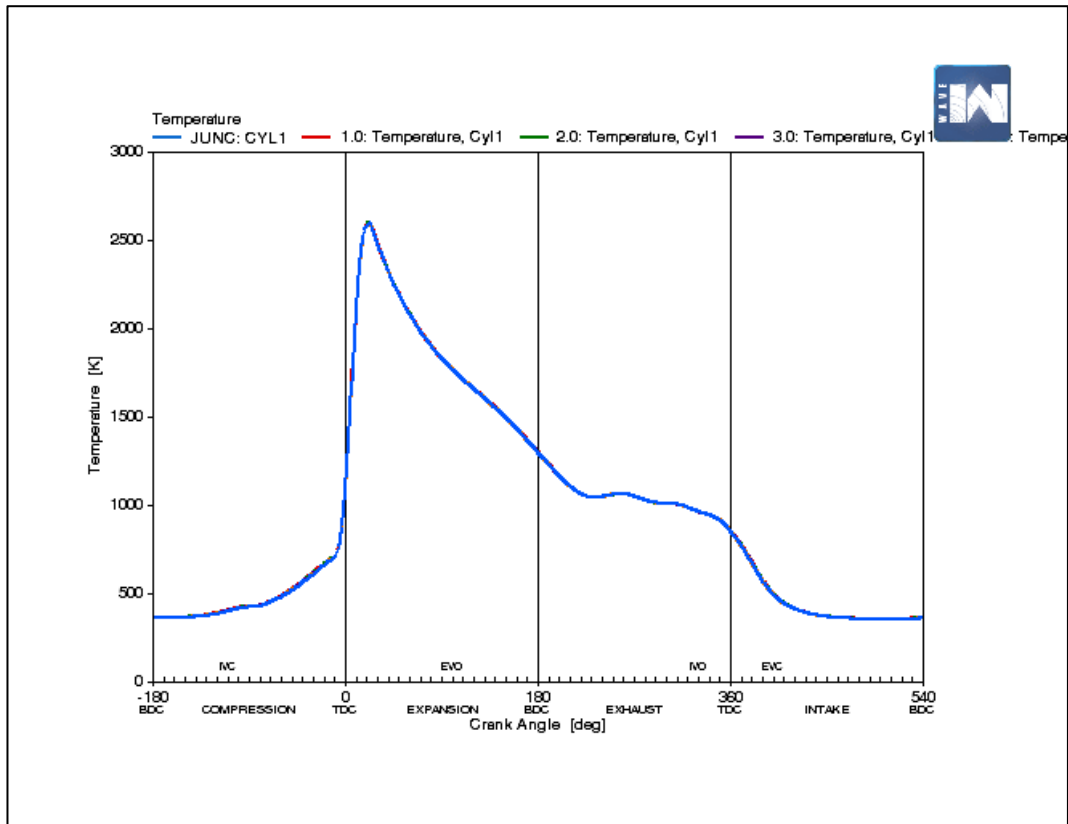
Tablo A.3: Supap bindirmesi süresi etkisi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	2864	2864	2864	2864	2864
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4991	14.4994	14.4995	14.4996	14.4997
Mass Airflow	kg/hr	30.5902	31.8249	32.7843	33.6737	34.2926
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0106783	0.0111094	0.0114442	0.0117547	0.0119707
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	8.88868	9.42844	9.8278	10.1669	10.3758
Brake Power	kW	8.33567	8.84186	9.21638	9.53437	9.7303
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.253104	0.248235	0.245317	0.243436	0.242811
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.120941	0.118665	0.1172	0.116383	0.116025
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.813315	0.833415	0.858437	0.881117	0.897021
Delivered efficiency	-	0.800866	0.833416	0.858464	0.88162	0.897924
Total delivered efficiency	-	0.800824	0.833401	0.858458	0.881619	0.897924
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	32.9398	33.5859	33.9854	34.248	34.3362
EGR	-	-5.23423e-05	-1.86629e-05	-6.96096e-06	-1.31615e-06	-1.04964e-07
FMEP	bar	1.55512	1.56832	1.57873	1.58821	1.59501
Friction Energy Loss	%	5.76299	5.58666	5.45939	5.35	5.27828
Friction torque	N*m	4.86141	4.90266	4.93521	4.96483	4.98609
Fuel mass flow	kg/hr	2.1098	2.19485	2.26093	2.32101	2.36262
Fuel volume flow	L/hr	3.08562	3.21003	3.30667	3.39453	3.45539
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	10.5779	11.1091	11.517	11.883	12.1349
GMEP from crossing point	bar	10.5767	11.1024	11.4972	11.8404	12.059
Engine out unburned fuel flow	g/s	0.000280034	0.00029145	0.000300045	0.000308233	0.0003136
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	4764.04	4934.9	5086.88	5222.62	5336.02

Heat Transfer Loss	%	18.8259	18.7453	18.7579	18.7599	18.8297
Indicated Power	hp	13.134	13.8294	14.3448	14.7831	15.0544
IMEP	bar	10.4438	10.9967	11.4065	11.7551	11.9708
ISAC	kg/kW/hr	3.12335	3.08602	3.06484	3.05464	3.05473
ISFC	kg/kW/hr	0.215416	0.212832	0.211364	0.210546	0.210458
Indicated Torque	N*m	32.648	34.3765	35.6575	36.7472	37.4215
Lambda	-	0.996034	0.996055	0.996061	0.996065	0.996074
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.986024	0.985154	0.984425	0.983714	0.983159
Trapped equivalence ratio	-	1.00398	1.00396	1.00396	1.00395	1.00394
Intake port pressure	bar	0.996625	0.996655	0.996678	0.996707	0.996751
PMEP	bar	-0.134066	-0.112311	-0.110482	-0.127935	-0.164045
PMEP from crossing point	bar	-0.132935	-0.105608	-0.0906624	-0.0853202	-0.0882098
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.8605	63.885	63.8441	63.8564	63.7977
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.4191	-0.351092	-0.345375	-0.399935	-0.512814
Plenum volumetric efficiency	-	0.800824	0.833401	0.858458	0.881619	0.897924
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.800866	0.833416	0.858464	0.88162	0.897924
Residual gas fraction	%	4.6597	4.68457	4.74646	4.67566	4.72749
Scavenging efficiency	-	0.953403	0.953154	0.952536	0.953243	0.952725
Scavenging ratio	-	0.938761	0.953138	0.952559	0.953787	0.953684
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1276.16	1266.76	1259.3	1256.17	1254.03
Intake port gas temperature	K	305.657	305.749	305.73	305.693	305.74
Brake Torque	N*m	27.7866	29.4739	30.7223	31.7823	32.4355
Trapping ratio	-	1.01554	0.999999	0.999969	0.999429	0.998995
Trapping ratio (air-only)	-	1.00002	0.999997	0.999967	0.999427	0.998993
Trapped air volumetric efficiency	-	0.783407	0.815008	0.83955	0.86186	0.87732
Total volumetric efficiency	-	0.783391	0.815011	0.839578	0.862354	0.878204



Şekil A.7: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için PV diyagramı

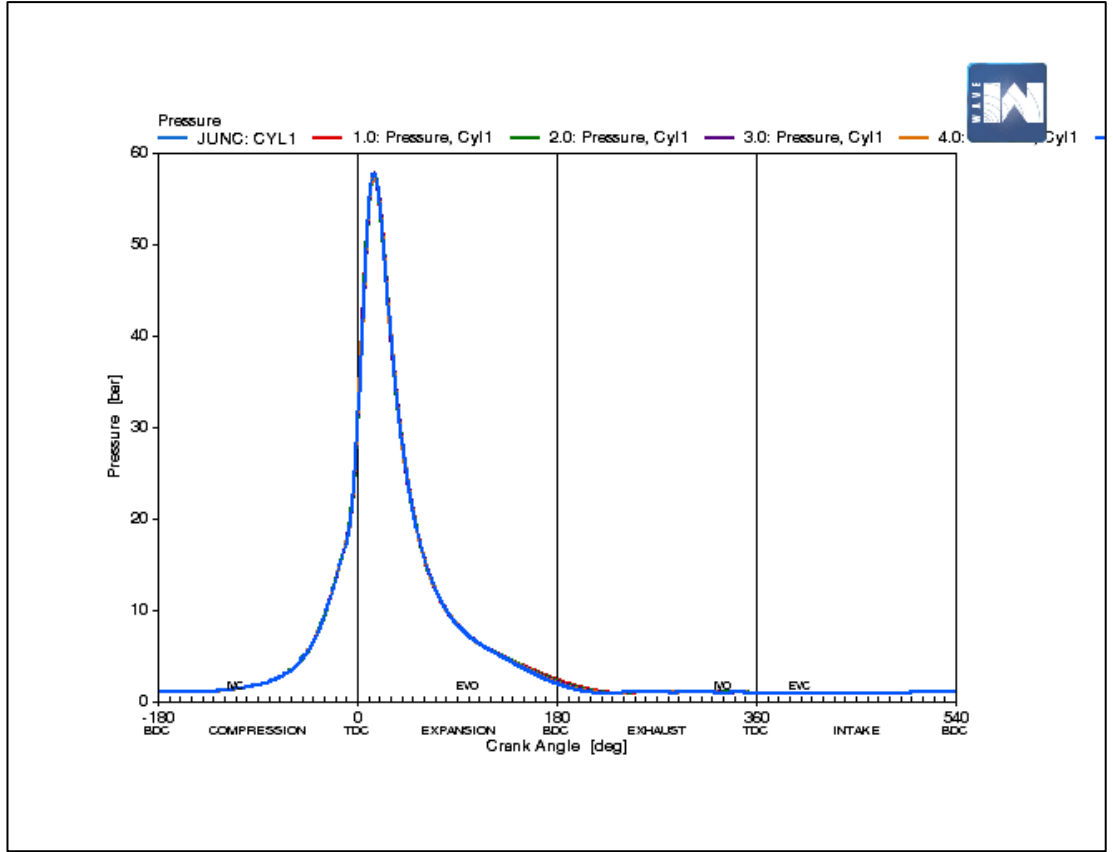


Şekil A.8: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için TS diyagramı

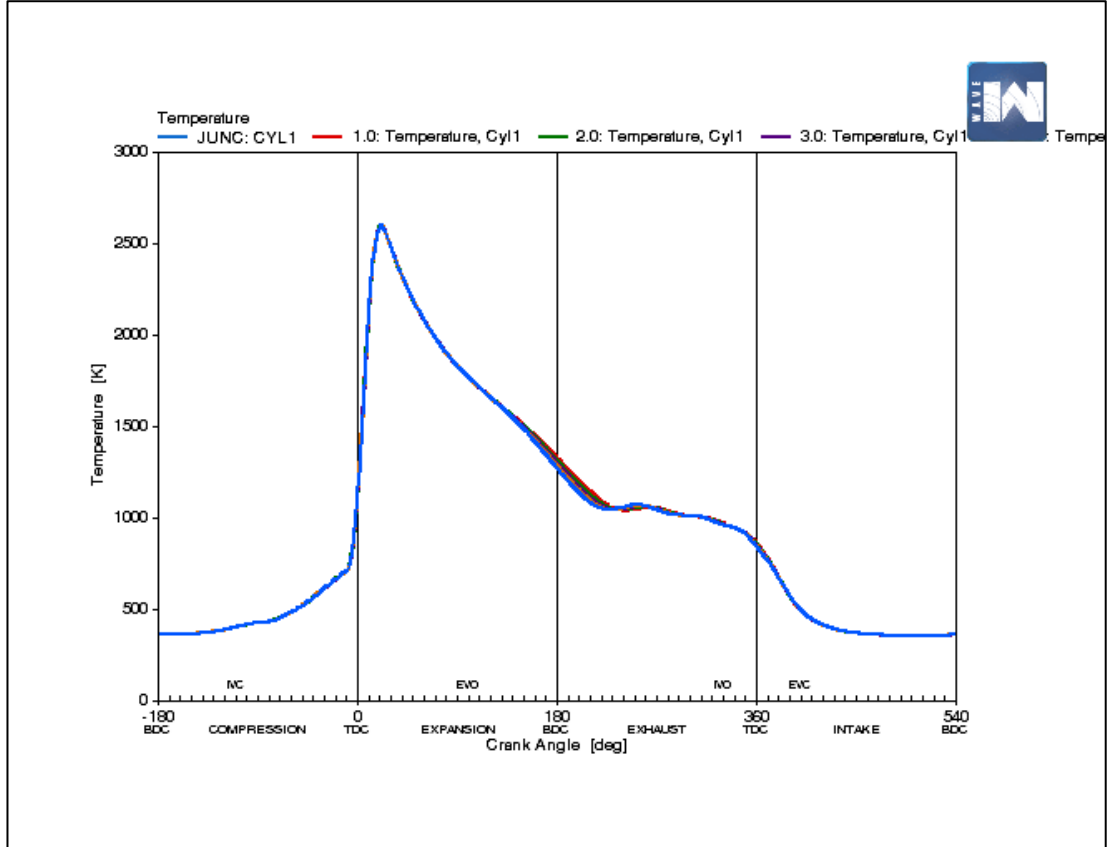
Tablo A.4: Emme supabı kalkma miktarı etkisi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	2864	2864	2864	2864	2864
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4996	14.4995	14.4995	14.4996	14.4995
Mass Airflow	kg/hr	33.0108	32.899	32.7843	32.6687	32.558
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0115233	0.0114843	0.0114442	0.0114039	0.0113652
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	9.88962	9.85961	9.8278	9.79426	9.7615
Brake Power	kW	9.27435	9.24621	9.21638	9.18493	9.15421
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.245468	0.245383	0.245317	0.245287	0.245278
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.117264	0.117228	0.1172	0.117187	0.117181
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.864246	0.86137	0.858437	0.855492	0.852623
Delivered efficiency	-	0.864268	0.861395	0.858464	0.855522	0.852655
Total delivered efficiency	-	0.864265	0.86139	0.858458	0.855516	0.852646
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	33.9645	33.9763	33.9854	33.9896	33.9908
EGR	-	-3.78253e-06	-6.23062e-06	-6.96096e-06	-7.06293e-06	-1.01724e-05
FMEP	bar	1.58147	1.58008	1.57873	1.57743	1.57617
Friction Energy Loss	%	5.43132	5.44496	5.45939	5.47423	5.48841
Friction torque	N*m	4.94377	4.93943	4.93521	4.93113	4.92719
Fuel mass flow	kg/hr	2.27656	2.26886	2.26093	2.25294	2.24532
Fuel volume flow	L/hr	3.32951	3.31826	3.30667	3.29498	3.28384
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	11.5948	11.5558	11.517	11.478	11.4407
GMEP from crossing point	bar	11.5747	11.5358	11.4972	11.4584	11.4213
Engine out unburned fuel flow	g/s	0.000302095	0.000301088	0.000300045	0.000298986	0.000297972
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	5116.38	5104.09	5086.88	5070.77	5055.1

Heat Transfer Loss	%	18.7372	18.7556	18.7579	18.7648	18.7703
Indicated Power	hp	14.426	14.3865	14.3448	14.3009	14.2582
IMEP	bar	11.4711	11.4397	11.4065	11.3717	11.3377
ISAC	kg/kW/hr	3.06865	3.06665	3.06484	3.0634	3.06218
ISFC	kg/kW/hr	0.211626	0.21149	0.211364	0.211262	0.211179
Indicated Torque	N*m	35.8594	35.7612	35.6575	35.5486	35.4423
Lambda	-	0.996067	0.996056	0.996061	0.996068	0.996058
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.984263	0.984346	0.984425	0.984505	0.984579
Trapped equivalence ratio	-	1.00395	1.00396	1.00396	1.00395	1.00396
Intake port pressure	bar	0.996697	0.996684	0.996678	0.996676	0.996676
PMEP	bar	-0.123747	-0.116126	-0.110482	-0.106301	-0.10305
PMEP from crossing point	bar	-0.103588	-0.0961363	-0.0906624	-0.0867101	-0.0836219
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.8395	63.8424	63.8441	63.8443	63.8438
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.386841	-0.363019	-0.345375	-0.332303	-0.32214
Plenum volumetric efficiency	-	0.864265	0.86139	0.858458	0.855516	0.852646
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.864268	0.861395	0.858464	0.855522	0.852655
Residual gas fraction	%	4.75435	4.74941	4.74646	4.74549	4.74647
Scavenging efficiency	-	0.952456	0.952506	0.952536	0.952545	0.952535
Scavenging ratio	-	0.952477	0.952528	0.952559	0.952572	0.952562
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1260.9	1259.75	1259.3	1258.98	1258.79
Intake port gas temperature	K	305.69	305.706	305.73	305.759	305.77
Brake Torque	N*m	30.9156	30.8218	30.7223	30.6175	30.5151
Trapping ratio	-	0.999974	0.999971	0.999969	0.999964	0.999962
Trapping ratio (air-only)	-	0.999973	0.999969	0.999967	0.999963	0.999961
Trapped air volumetric efficiency	-	0.845356	0.84249	0.83955	0.836587	0.833751
Total volumetric efficiency	-	0.845379	0.842515	0.839578	0.836618	0.833784



Şekil A.9: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için PV diyagramı

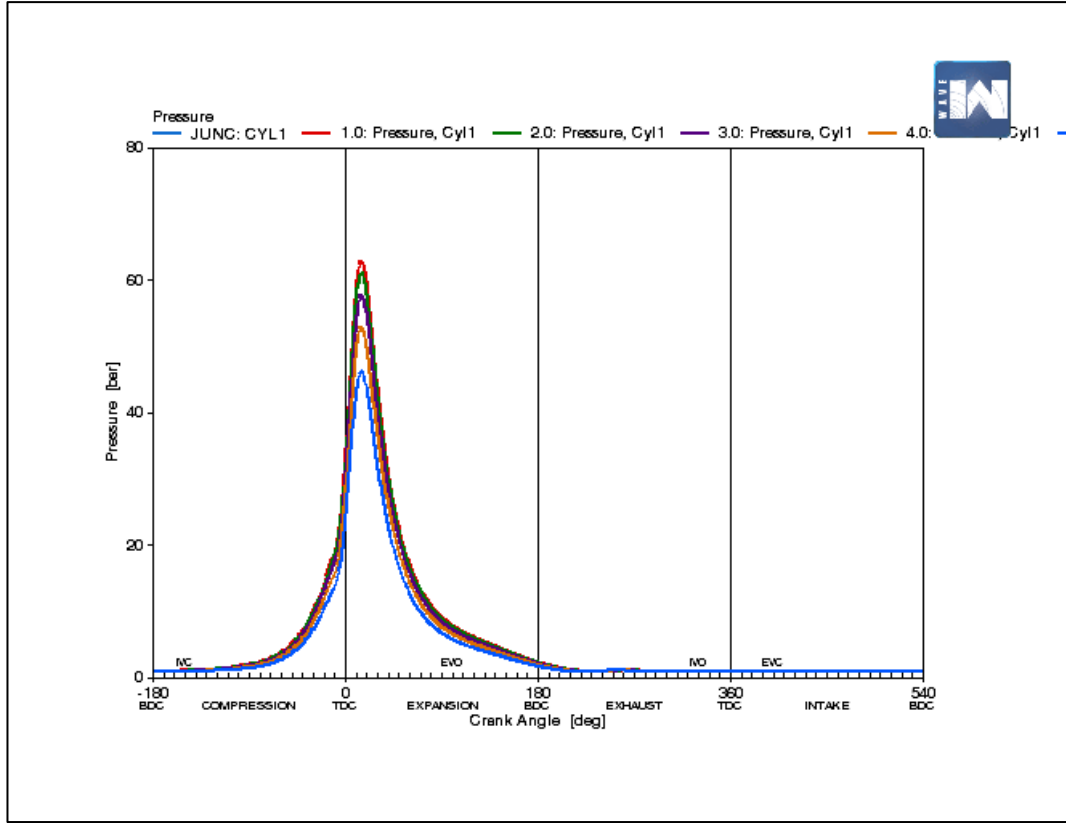


Şekil A.10: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için TS diyagramı

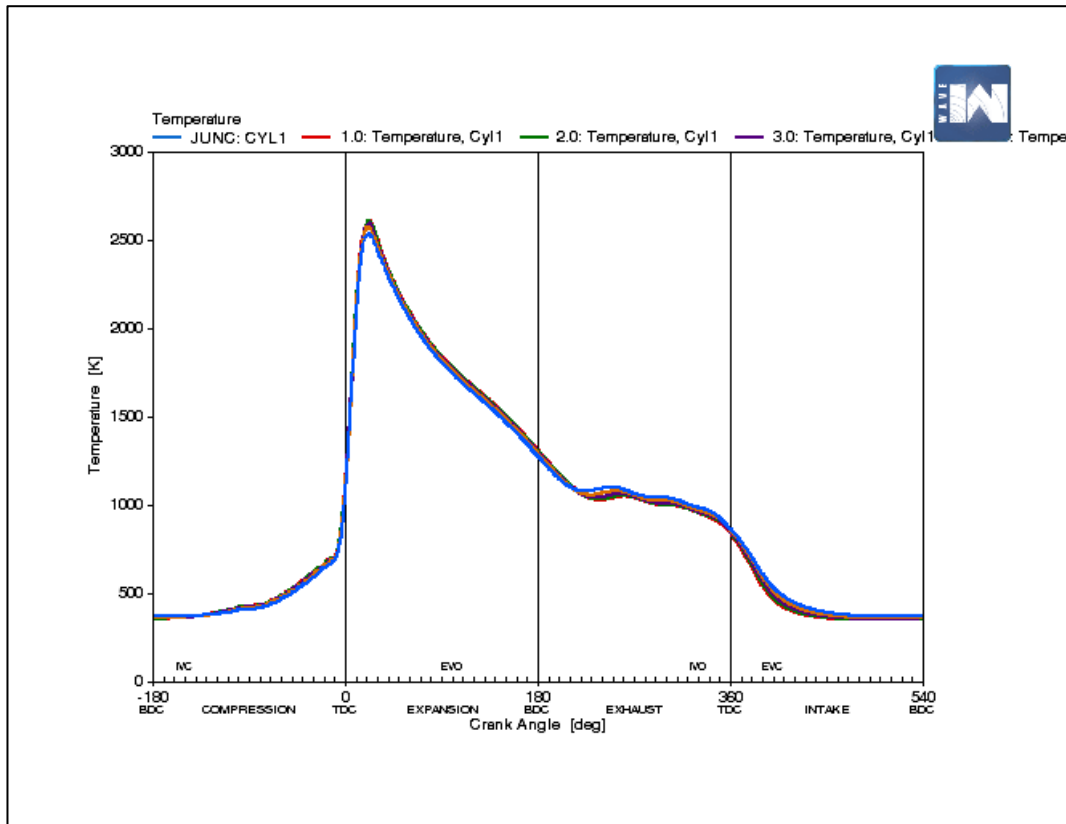
Tablo A.5: Egzoz supabı kalkma miktarı etkisi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	2864	2864	2864	2864	2864
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4995	14.4995	14.4995	14.4997	14.4995
Mass Airflow	kg/hr	32.7895	32.7916	32.7843	32.7725	32.7627
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.011446	0.0114468	0.0114442	0.0114401	0.0114367
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	9.82626	9.83028	9.8278	9.82112	9.81275
Brake Power	kW	9.21493	9.2187	9.21638	9.21011	9.20226
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.245402	0.245314	0.245317	0.245389	0.245524
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.117254	0.117212	0.1172	0.117214	0.11726
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.858666	0.858673	0.858437	0.858128	0.857821
Delivered efficiency	-	0.858665	0.858683	0.858464	0.858169	0.857876
Total delivered efficiency	-	0.85866	0.858677	0.858458	0.858165	0.85787
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	33.9736	33.9857	33.9854	33.9754	33.9568
EGR	-	-6.52135e-06	-6.48625e-06	-6.96096e-06	-5.40004e-06	-7.05594e-06
FMEP	bar	1.5788	1.57881	1.57873	1.57861	1.57853
Friction Energy Loss	%	5.45859	5.45834	5.45939	5.46108	5.46248
Friction torque	N*m	4.93542	4.93546	4.93521	4.93484	4.93459
Fuel mass flow	kg/hr	2.26136	2.26148	2.26093	2.26006	2.25937
Fuel volume flow	L/hr	3.30729	3.30747	3.30667	3.30539	3.30438
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	11.5368	11.5282	11.517	11.5043	11.4917
GMEP from crossing point	bar	11.5017	11.502	11.4972	11.4892	11.48
Engine out unburned fuel flow	g/s	0.000300136	0.00030015	0.000300045	0.000299875	0.000299737
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	5135.26	5106.52	5086.88	5061.48	5036.59

Heat Transfer Loss	%	18.9327	18.8257	18.7579	18.6714	18.5853
Indicated Power	hp	14.3429	14.348	14.3448	14.3362	14.3256
IMEP	bar	11.4051	11.4091	11.4065	11.3997	11.3913
ISAC	kg/kW/hr	3.06572	3.06484	3.06484	3.06557	3.06693
ISFC	kg/kW/hr	0.211431	0.211367	0.211364	0.211408	0.2115
Indicated Torque	N*m	35.6529	35.6655	35.6575	35.6363	35.6099
Lambda	-	0.996063	0.996063	0.996061	0.996071	0.996061
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.984595	0.984465	0.984425	0.984451	0.984534
Trapped equivalence ratio	-	1.00395	1.00395	1.00396	1.00394	1.00395
Intake port pressure	bar	0.996675	0.996676	0.996678	0.996681	0.996682
PMEP	bar	-0.131702	-0.119114	-0.110482	-0.104573	-0.100402
PMEP from crossing point	bar	-0.096625	-0.0928897	-0.0906624	-0.0894497	-0.0887446
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.8533	63.8521	63.8441	63.8311	63.8207
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.41171	-0.372358	-0.345375	-0.326903	-0.313863
Plenum volumetric efficiency	-	0.85866	0.858677	0.858458	0.858165	0.85787
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.858665	0.858683	0.858464	0.858169	0.857876
Residual gas fraction	%	4.73471	4.73548	4.74646	4.76493	4.78049
Scavenging efficiency	-	0.952653	0.952645	0.952536	0.952351	0.952195
Scavenging ratio	-	0.952646	0.95265	0.952559	0.952392	0.952249
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1255.93	1257.76	1259.3	1261.26	1263.04
Intake port gas temperature	K	305.752	305.738	305.73	305.735	305.723
Brake Torque	N*m	30.7175	30.7301	30.7223	30.7014	30.6753
Trapping ratio	-	1	0.999988	0.999969	0.999951	0.999936
Trapping ratio (air-only)	-	1	0.999987	0.999967	0.99995	0.999935
Trapped air volumetric efficiency	-	0.83971	0.839755	0.83955	0.839235	0.83897
Total volumetric efficiency	-	0.839711	0.839766	0.839578	0.839277	0.839025



Şekil A.11: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için PV diyagramı

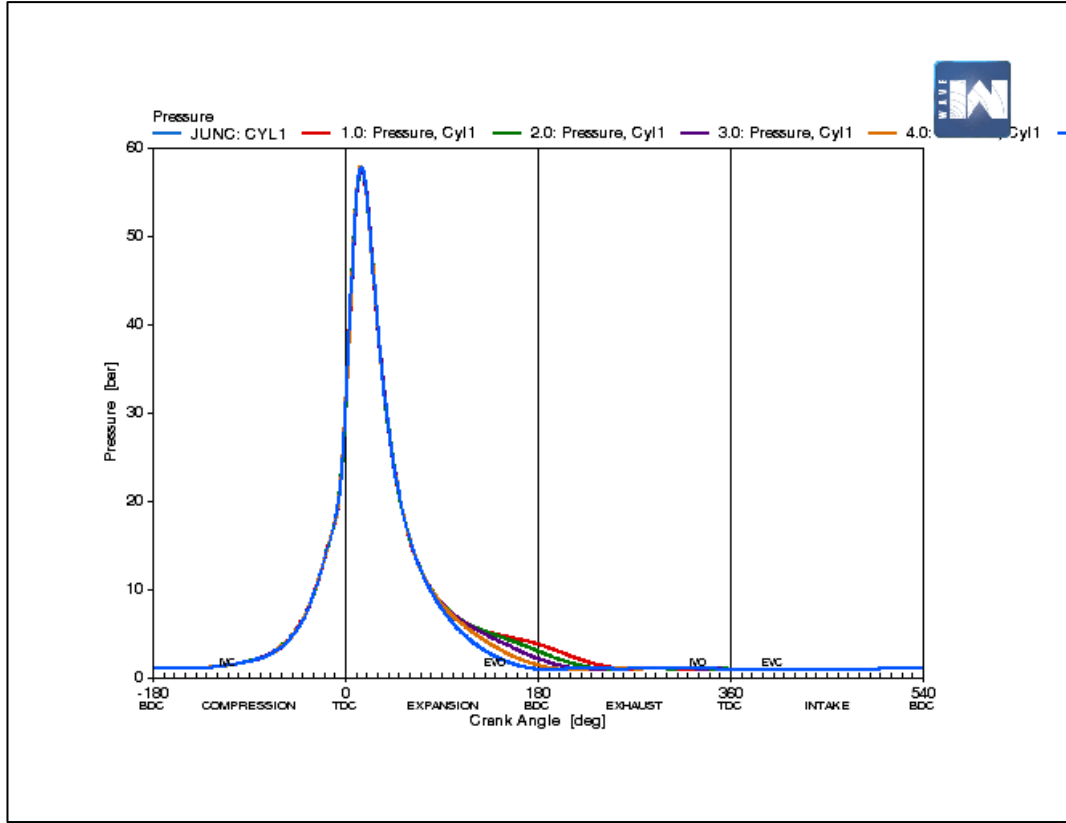


Şekil A.12: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için TS diyagramı

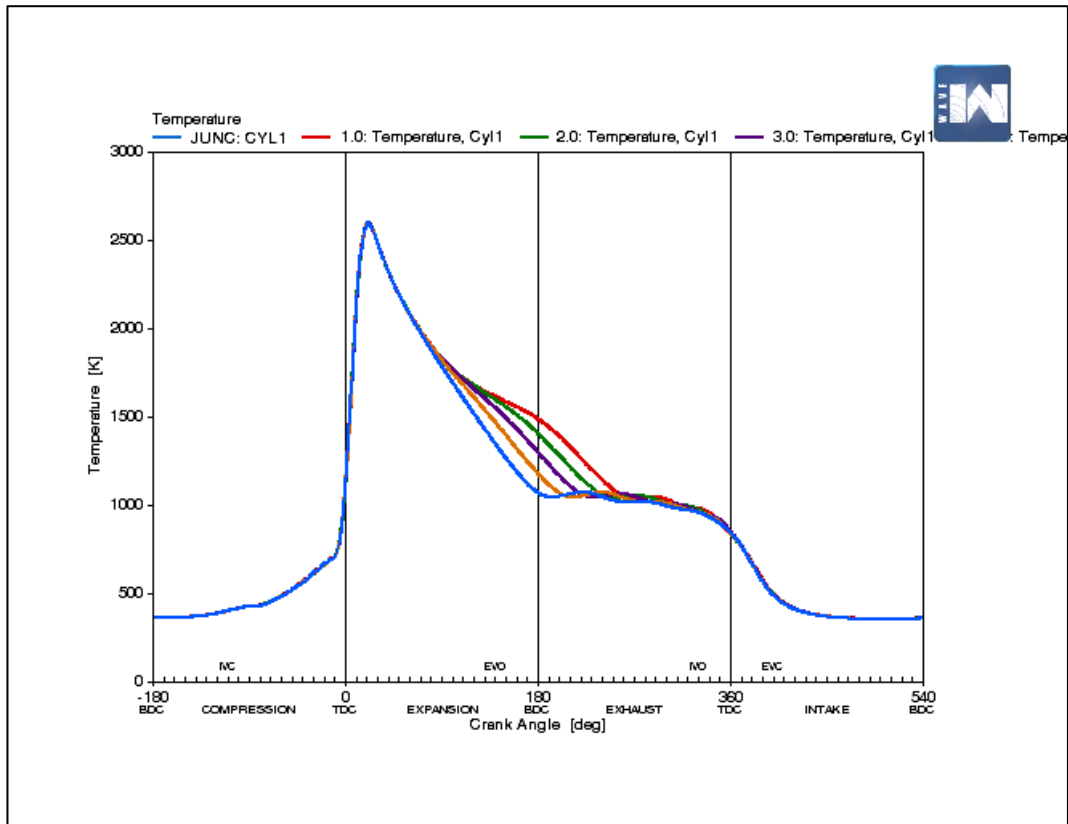
Tablo A.6: Emme supabı açık kalma süresi etkisi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	2864	2864	2864	2864	2864
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4997	14.4997	14.4995	14.4991	14.4993
Mass Airflow	kg/hr	35.664	34.7312	32.7843	29.9806	26.3958
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0124495	0.0121239	0.0114442	0.0104655	0.00921415
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	10.83	10.5036	9.8278	8.87504	7.61321
Brake Power	kW	10.1563	9.85012	9.21638	8.32289	7.13956
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.242131	0.243156	0.245317	0.248431	0.254975
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.11617	0.116484	0.1172	0.118186	0.122429
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.933311	0.909246	0.858437	0.810634	0.736562
Delivered efficiency	-	0.933483	0.909295	0.858464	0.784932	0.689053
Total delivered efficiency	-	0.933482	0.909295	0.858458	0.784875	0.688697
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	34.4326	34.2874	33.9854	33.5594	32.6981
EGR	-	-1.10559e-07	-3.94639e-08	-6.96096e-06	-7.25314e-05	-0.00051739
FMEP	bar	1.60923	1.59952	1.57873	1.54921	1.50998
Friction Energy Loss	%	5.11635	5.22137	5.45939	5.85807	6.48523
Friction torque	N*m	5.03057	5.00019	4.93521	4.84294	4.72028
Fuel mass flow	kg/hr	2.45914	2.39512	2.26093	2.06767	1.82041
Fuel volume flow	L/hr	3.59655	3.50292	3.30667	3.02401	2.66239
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	12.5522	12.2154	11.517	10.5327	9.23041
GMEP from crossing point	bar	12.5268	12.1916	11.4972	10.519	9.22347
Engine out unburned fuel flow	g/s	0.000327738	0.000318716	0.000300045	0.000273236	0.000242802
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	5435.13	5320.08	5086.88	4753.53	4310.48

Heat Transfer Loss	%	18.4267	18.5187	18.7579	19.1671	19.7413
Indicated Power	hp	15.6435	15.2208	14.3448	13.1095	11.4732
IMEP	bar	12.4393	12.1031	11.4065	10.4242	9.12319
ISAC	kg/kW/hr	3.05726	3.05998	3.06484	3.06684	3.08521
ISFC	kg/kW/hr	0.210807	0.211021	0.211364	0.21151	0.212774
Indicated Torque	N*m	38.8859	37.8351	35.6575	32.5869	28.5197
Lambda	-	0.996071	0.996072	0.996061	0.996029	0.996046
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.982855	0.983292	0.984425	0.98642	0.989415
Trapped equivalence ratio	-	1.00394	1.00394	1.00396	1.00399	1.00397
Intake port pressure	bar	0.996759	0.996671	0.996678	0.996705	0.996769
PMEP	bar	-0.112931	-0.112331	-0.110482	-0.108422	-0.107218
PMEP from crossing point	bar	-0.0875894	-0.0884616	-0.0906624	-0.0947886	-0.100278
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	64.1063	64.0156	63.8441	63.5785	64.1937
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.353031	-0.351155	-0.345375	-0.338934	-0.335171
Plenum volumetric efficiency	-	0.933482	0.909295	0.858458	0.784875	0.688698
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.933483	0.909295	0.858464	0.784932	0.689057
Residual gas fraction	%	4.31463	4.47121	4.74646	5.03301	5.42728
Scavenging efficiency	-	0.956854	0.955288	0.952536	0.94967	0.945727
Scavenging ratio	-	0.95703	0.95534	0.952559	0.919493	0.884269
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1264.67	1263.21	1259.3	1256.83	1250.17
Intake port gas temperature	K	305.627	305.677	305.73	305.693	304.818
Brake Torque	N*m	33.8553	32.8349	30.7223	27.7439	23.7994
Trapping ratio	-	0.999816	0.999945	0.999969	1.03275	1.06895
Trapping ratio (air-only)	-	0.999815	0.999944	0.999967	0.99998	0.999975
Trapped air volumetric efficiency	-	0.913157	0.889387	0.83955	0.767761	0.675957
Total volumetric efficiency	-	0.913326	0.889437	0.839578	0.767776	0.675974



Şekil A.13: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için PV diyagramı



Şekil A.14: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için TS diyagramı

Tablo A.7: Egzoz supabı açık kalma süresi etkisi için genel sonuçlar

Engine speed	rpm	2864	2864	2864	2864	2864
Case	-	1	2	3	4	5
Subcase	-	0	0	0	0	0
Case title	-	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Stoichiometric A/F	-	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569	14.5569
Trapped A/F	-	14.4995	14.4992	14.4995	14.4995	14.4994
Mass Airflow	kg/hr	32.7543	32.821	32.7843	32.8097	32.8136
Pseudo-volumetric efficiency	kg/hr/rpm	0.0114338	0.011457	0.0114442	0.0114531	0.0114545
Auxiliary Power	kW	0	0	0	0	0
BMEP	bar	9.74407	9.87199	9.8278	9.62892	9.17248
Brake Power	kW	9.13786	9.25782	9.21638	9.02986	8.60183
Brake specific CO emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
BSFC	kg/kW/hr	0.247163	0.244451	0.245317	0.250573	0.263082
Brake specific unburned fuel emissions	g/kW/hr	0.118108	0.116867	0.1172	0.119717	0.125656
Brake specific NO2 emissions	g/kW/hr	0	0	0	0	0
Charging efficiency	-	0.857569	0.859167	0.858437	0.859126	0.85921
Delivered efficiency	-	0.857719	0.859357	0.858464	0.859173	0.859236
Total delivered efficiency	-	0.857714	0.859349	0.858458	0.859167	0.859227
Combined Displacement	m ³	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831	0.000392831
Brake thermal engine efficiency	%	33.7316	34.1058	33.9854	33.2725	31.6905
EGR	-	-6.48601e-06	-8.67931e-06	-6.96096e-06	-6.90788e-06	-9.77438e-06
FMEP	bar	1.57841	1.57894	1.57873	1.57902	1.5791
Friction Energy Loss	%	5.46406	5.45493	5.45939	5.45626	5.4557
Friction torque	N*m	4.9342	4.93586	4.93521	4.93611	4.93636
Fuel mass flow	kg/hr	2.25854	2.26308	2.26093	2.26264	2.26299
Fuel volume flow	L/hr	3.30316	3.30981	3.30667	3.30917	3.30967
Engine out CO mass flow	g/s	0	0	0	0	0
GMEP	bar	11.6331	11.6222	11.517	11.3045	10.8514
GMEP from crossing point	bar	11.4373	11.5448	11.4972	11.303	10.8561
Engine out unburned fuel flow	g/s	0.000299793	0.000300536	0.000300045	0.000300285	0.000300241
Engine out NO2 mass flow	g/s	0	0	0	0	0
Heat Transfer Rate	W	5202.24	5145.1	5086.88	5020.08	4933.91

Heat Transfer Loss	%	19.2036	18.9546	18.7579	18.4976	18.1773
Indicated Power	hp	14.2391	14.4006	14.3448	14.095	13.5211
IMEP	bar	11.3225	11.4509	11.4065	11.2079	10.7516
ISAC	kg/kW/hr	3.08477	3.05638	3.06484	3.12157	3.25445
ISFC	kg/kW/hr	0.212707	0.210744	0.211364	0.215271	0.224443
Indicated Torque	N*m	35.3948	35.7963	35.6575	35.0367	33.6101
Lambda	-	0.996062	0.996041	0.996061	0.996059	0.99605
Lower Heating Value	J/kg	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07	4.318e+07
Reference pressure	bar	1	1	1	1	1
Exhaust port pressure	bar	0.983922	0.984105	0.984425	0.984481	0.984103
Trapped equivalence ratio	-	1.00395	1.00397	1.00396	1.00396	1.00397
Intake port pressure	bar	0.996687	0.996683	0.996678	0.996677	0.996674
PMEP	bar	-0.310666	-0.171266	-0.110482	-0.0965533	-0.0998548
PMEP from crossing point	bar	-0.114796	-0.0938455	-0.0906624	-0.0950477	-0.104573
CO	ppm	0	0	0	0	0
HC	ppm	63.8495	63.877	63.8441	63.8456	63.8274
NOx	ppm	0	0	0	0	0
Pumping torque	N*m	-0.971162	-0.53539	-0.345375	-0.301832	-0.312152
Plenum volumetric efficiency	-	0.857714	0.859349	0.858458	0.859167	0.859227
Plenum volumetric efficiency (air-only)	-	0.857719	0.859357	0.858464	0.859173	0.859236
Residual gas fraction	%	4.72417	4.67658	4.74646	4.74201	4.77196
Scavenging efficiency	-	0.952758	0.953234	0.952536	0.95258	0.95228
Scavenging ratio	-	0.952919	0.953437	0.952559	0.952625	0.952299
Ambient reference temperature	K	300	300	300	300	300
Exhaust gas temperature	K	1255.93	1252.52	1259.3	1279.19	1316.97
Intake port gas temperature	K	305.747	305.707	305.73	305.744	305.729
Brake Torque	N*m	30.4606	30.8605	30.7223	30.1006	28.6737
Trapping ratio	-	0.999825	0.999779	0.999969	0.999945	0.99997
Trapping ratio (air-only)	-	0.999823	0.999777	0.999967	0.999944	0.999969
Trapped air volumetric efficiency	-	0.838661	0.840331	0.83955	0.840184	0.840303
Total volumetric efficiency	-	0.838809	0.840518	0.839578	0.840231	0.840329

EK B Taguchi Deney Tasarımına Göre Simülasyon Sonuçları

Tablo B.1: 954 rpm için simülasyon sonuçları

Durum	Motor Hızı (rpm)	FOEB (bar)	Fren Gücü (kW)	FÖYT (kg/kWh)	POEB (bar)	Fren Torku (Nm)	Hacimsel Verim	Fren Isıl Verim (%)
1	954	9,84338	3,07699	0,258478	-0,0164209	30,771	0,88598	32,255
2	954	9,02383	2,82081	0,264577	-0,014614	28,2091	0,83137	31,5114
3	954	7,68704	2,40293	0,278157	-0,014813	24,0302	0,744523	29,973
4	954	5,87628	1,8369	0,306765	-0,0151685	18,3696	0,627596	27,1778
5	954	3,77848	1,18114	0,373606	-0,0159493	11,8118	0,493636	22,3154
6	954	8,64699	2,70301	0,283281	-0,0131087	27,031	0,852955	29,4308
7	954	7,01379	2,19248	0,319143	-0,0130794	21,9255	0,779252	26,1237
8	954	7,22079	2,25718	0,266219	-0,0124224	22,5727	0,669313	31,317
9	954	5,56221	1,73872	0,279246	-0,013078	17,3878	0,542114	29,8561
10	954	9,60869	3,00363	0,26671	-0,0102357	30,0374	0,8924	31,2594
11	954	8,8209	2,75737	0,261543	-0,0113919	27,5747	0,803509	31,877
12	954	7,5873	2,37176	0,269192	-0,012183	23,7184	0,711217	30,9711
13	954	5,8669	1,83397	0,288211	-0,0118932	18,3403	0,58899	28,9273
14	954	8,75421	2,73653	0,295293	-0,00969096	27,3662	0,900146	28,2337
15	954	9,56526	2,99006	0,258233	-0,024307	29,9016	0,860405	32,2855
16	954	7,46702	2,33415	0,287206	-0,0116033	23,3424	0,746799	29,0286
17	954	6,70913	2,09724	0,268606	-0,0302006	20,9732	0,627787	31,0388
18	954	10,0832	3,15196	0,257375	-0,0135956	31,5207	0,904376	32,3932
19	954	9,60309	3,00188	0,261584	-0,00893133	30,0199	0,875248	31,872
20	954	8,71357	2,72382	0,269105	-0,00947489	27,2392	0,816593	30,9812
21	954	7,18483	2,24595	0,267333	-0,0104137	22,4602	0,669193	31,1865
22	954	9,80402	3,06469	0,264376	-0,00952563	30,648	0,903398	31,5354
23	954	9,2593	2,89441	0,273359	-0,00940662	28,9452	0,881492	30,4991
24	954	9,15491	2,86178	0,261085	-0,108126	28,6188	0,833054	31,9329
25	954	8,30094	2,59483	0,261592	-0,0210431	25,9492	0,756785	31,871

Tablo B.2: 1909 rpm için simülasyon sonuçları

Durum	Motor Hızı (rpm)	FOEB (bar)	Fren Gücü (kW)	FÖYT (kg/kWh)	POEB (bar)	Fren Torku (Nm)	Hacimsel Verim	Fren Isıl Verim (%)
1	1909	10,6437	6,65433	0,242153	-0,0978121	33,2728	0,897507	34,4295
2	1909	9,96934	6,23274	0,245498	-0,0591101	31,1648	0,852254	33,9604
3	1909	8,76598	5,48041	0,255483	-0,0588264	27,403	0,77985	32,633
4	1909	6,9983	4,37527	0,278109	-0,0592066	21,8771	0,677674	29,9782
5	1909	4,78838	2,99365	0,330214	-0,0615275	14,9688	0,55179	25,2478
6	1909	9,67773	6,05042	0,258185	-0,0528618	30,2532	0,870044	32,2916
7	1909	8,16304	5,10346	0,284676	-0,0516613	25,5182	0,809148	29,2866
8	1909	8,28552	5,18003	0,248395	-0,0669539	25,9011	0,716683	33,5643
9	1909	6,68089	4,17683	0,257906	-0,0535144	20,8849	0,600501	32,3264
10	1909	10,5288	6,58254	0,246105	-0,0408522	32,9139	0,90232	33,8765
11	1909	9,77687	6,11241	0,243783	-0,0578729	30,5631	0,830065	34,1993
12	1909	8,69657	5,43702	0,249108	-0,0502107	27,186	0,754414	33,4682
13	1909	7,0457	4,40491	0,263307	-0,047769	22,0253	0,646093	31,6634
14	1909	9,80349	6,12905	0,265967	-0,039292	30,6463	0,907962	31,3468
15	1909	10,3186	6,45111	0,24275	-0,125556	32,2567	0,872441	34,3448
16	1909	8,60396	5,37912	0,261399	-0,0470195	26,8965	0,783201	31,8945
17	1909	7,74737	4,84358	0,25232	-0,141872	24,2188	0,680956	33,0422
18	1909	10,7769	6,73761	0,241266	-0,0879415	33,6892	0,90593	34,5561
19	1909	10,4757	6,54933	0,242944	-0,0395744	32,7478	0,886697	34,3173
20	1909	9,71253	6,07218	0,248015	-0,0382256	30,362	0,838885	33,6157
21	1909	8,28272	5,17828	0,248647	-0,0510013	25,8923	0,717469	33,5303
22	1909	10,5347	6,58618	0,244825	-0,0379776	32,9321	0,898824	34,0536
23	1909	10,2167	6,38741	0,250454	-0,0377547	31,9382	0,891157	33,2884
24	1909	9,78122	6,11512	0,248499	-0,329052	30,5767	0,847027	33,5502
25	1909	9,21301	5,75989	0,245795	-0,116697	28,8004	0,78939	33,9193

Tablo B.3: 2864 rpm için simülasyon sonuçları

Durum	Motor Hızı (rpm)	FOEB (bar)	Fren Gücü (kW)	FÖYT (kg/kWh)	POEB (bar)	Fren Torku (Nm)	Hacimsel Verim	Fren Isıl Verim (%)
1	2864	10,65	9,98742	0,243551	-0,262653	33,2926	0,903229	34,2317
2	2864	10,1016	9,47311	0,244993	-0,152074	31,5781	0,861785	34,0303
3	2864	8,995	8,43539	0,253442	-0,130775	28,1189	0,793765	32,8959
4	2864	7,35624	6,89857	0,273576	-0,134541	22,9961	0,700711	30,4748
5	2864	5,22612	4,90099	0,321445	-0,134759	16,3372	0,585662	25,9366
6	2864	9,9416	9,32309	0,254195	-0,118899	31,0781	0,87997	32,7984
7	2864	8,5317	8,00091	0,276997	-0,119912	26,6706	0,822922	30,0985
8	2864	8,50681	7,97756	0,249398	-0,175617	26,5928	0,738725	33,4293
9	2864	7,05293	6,61414	0,257911	-0,135543	22,0479	0,633603	32,3259
10	2864	10,7257	10,0584	0,243797	-0,105881	33,5292	0,910566	34,1973
11	2864	9,93161	9,31372	0,244114	-0,160294	31,0468	0,844426	34,1529
12	2864	8,92892	8,37341	0,248578	-0,132199	27,9124	0,772844	33,5396
13	2864	7,45948	6,9954	0,260551	-0,107483	23,3188	0,676784	31,9983
14	2864	10,1133	9,48408	0,259314	-0,0911385	31,6147	0,913299	32,151
15	2864	10,4165	9,76841	0,244564	-0,305885	32,5625	0,887334	34,09
16	2864	8,93623	8,38027	0,257439	-0,106188	27,9352	0,80112	32,3851
17	2864	7,97159	7,47565	0,255633	-0,325119	24,9197	0,709775	32,6139
18	2864	10,7647	10,095	0,242218	-0,233674	33,6512	0,90866	34,4202
19	2864	10,6573	9,99423	0,241758	-0,115482	33,3153	0,897905	34,4857
20	2864	9,9161	9,29918	0,246197	-0,101983	30,9984	0,850146	33,8639
21	2864	8,58974	8,05534	0,248648	-0,141504	26,8521	0,744243	33,53
22	2864	10,4549	9,80445	0,243447	-0,0989379	32,6826	0,887424	34,2464
23	2864	10,4086	9,76105	0,247269	-0,0940538	32,538	0,896291	33,7171
24	2864	9,71534	9,11091	0,254129	-0,642031	30,3708	0,860609	32,8069
25	2864	9,27329	8,69637	0,248198	-0,283219	28,9889	0,801785	33,5909

Tablo B.4: 3819 rpm için simülasyon sonuçları

Durum	Motor Hızı (rpm)	FOEB (bar)	Fren Gücü (kW)	FÖYT (kg/kWh)	POEB (bar)	Fren Torku (Nm)	Hacimsel Verim	Fren Isıl Verim (%)
1	3819	10,3323	12,9194	0,251775	-0,539553	32,2996	0,905863	33,1136
2	3819	10,0917	12,6185	0,249907	-0,317767	31,5474	0,878179	33,3612
3	3819	9,07575	11,3482	0,256868	-0,234026	28,3714	0,81173	32,4571
4	3819	7,42894	9,28901	0,277373	-0,235316	23,2233	0,7173	30,0577
5	3819	5,28478	6,608	0,326017	-0,238314	16,5206	0,600394	25,5729
6	3819	10,0297	12,541	0,255808	-0,213372	31,3535	0,893409	32,5917
7	3819	8,76833	10,9638	0,276321	-0,215558	27,4104	0,843665	30,1721
8	3819	8,51542	10,6475	0,257202	-0,361793	26,6197	0,762542	32,4149
9	3819	7,09041	8,86572	0,265797	-0,272217	22,1651	0,656265	31,3668
10	3819	10,7509	13,4428	0,246928	-0,231707	33,6081	0,924458	33,7636
11	3819	9,94256	12,432	0,249765	-0,346721	31,0811	0,864817	33,3801
12	3819	9,01405	11,271	0,254204	-0,283052	28,1785	0,797885	32,7972
13	3819	7,5988	9,50141	0,264824	-0,193318	23,7543	0,700675	31,482
14	3819	10,1328	12,6698	0,259391	-0,163541	31,6757	0,915332	32,1414
15	3819	10,327	12,9127	0,252547	-0,611818	32,2829	0,908348	33,0124
16	3819	9,15008	11,4411	0,25907	-0,191761	28,6037	0,825489	32,1812
17	3819	7,93207	9,91812	0,267303	-0,616211	24,7962	0,738447	31,19
18	3819	10,317	12,9002	0,249734	-0,468085	32,2517	0,898021	33,3843
19	3819	10,6128	13,27	0,245874	-0,26208	33,1761	0,90896	33,9084
20	3819	10,0343	12,5467	0,249579	-0,229937	31,3679	0,872047	33,4051
21	3819	8,67788	10,8507	0,255259	-0,30385	27,1276	0,771706	32,6617
22	3819	9,9345	12,4219	0,248362	-0,201543	31,0559	0,86002	33,5688
23	3819	10,2887	12,8648	0,25023	-0,199581	32,1631	0,89655	33,3181
24	3819	9,36565	11,7106	0,267598	-1,0846	29,2776	0,873074	31,1557
25	3819	9,30178	11,6308	0,256876	-0,573417	29,078	0,832633	32,4561

Tablo B.5: 4774 rpm için simülasyon sonuçları

Durum	Motor Hızı (rpm)	FOEB (bar)	Fren Gücü (kW)	FÖYT (kg/kWh)	POEB (bar)	Fren Torku (Nm)	Hacimsel Verim	Fren Isıl Verim (%)
1	4774	9,46595	14,7951	0,268509	-0,944891	29,5912	0,885055	31,05
2	4774	9,76641	15,2647	0,260897	-0,599385	30,5304	0,887213	31,9559
3	4774	9,11922	14,2531	0,263875	-0,395352	28,5072	0,837825	31,5953
4	4774	7,5851	11,8553	0,283109	-0,346481	23,7115	0,747615	29,4487
5	4774	5,39046	8,42517	0,334031	-0,366197	16,8509	0,627329	24,9593
6	4774	9,7675	15,2664	0,262565	-0,355503	30,5338	0,893016	31,7529
7	4774	8,90481	13,918	0,279722	-0,325569	27,837	0,867301	29,8053
8	4774	8,54376	13,3537	0,269511	-0,690768	26,7083	0,801787	30,9345
9	4774	7,13851	11,1573	0,278516	-0,511831	22,3154	0,692286	29,9344
10	4774	10,2704	16,0524	0,256085	-0,452716	32,106	0,91584	32,5564
11	4774	9,71237	15,1802	0,261237	-0,661705	30,3615	0,88369	31,9142
12	4774	9,0382	14,1265	0,264547	-0,564335	28,254	0,832595	31,5149
13	4774	7,82592	12,2317	0,271813	-0,327921	24,4643	0,740512	30,6726
14	4774	9,67932	15,1286	0,265234	-0,263634	30,2582	0,893978	31,4334
15	4774	9,82829	15,3614	0,267777	-1,05288	30,7239	0,916734	31,1349
16	4774	9,25266	14,4617	0,264713	-0,327944	28,9244	0,852968	31,4953
17	4774	7,79603	12,185	0,28535	-1,06842	24,3709	0,774647	29,2174
18	4774	9,34989	14,6137	0,264839	-0,780796	29,2283	0,862696	31,4803
19	4774	10,2468	16,0155	0,255767	-0,519482	32,032	0,913549	32,5969
20	4774	10,0229	15,6656	0,258066	-0,483166	31,3323	0,901004	32,3064
21	4774	8,72421	13,6357	0,266222	-0,597144	27,2724	0,809115	31,3167
22	4774	9,11112	14,2405	0,259032	-0,359011	28,4819	0,822867	32,1859
23	4774	9,81187	15,3357	0,258942	-0,386372	30,6725	0,885046	32,1972
24	4774	8,91907	13,9403	0,288073	-1,65686	27,8816	0,895444	28,9412
25	4774	9,14139	14,2878	0,272099	-1,02907	28,5766	0,867102	30,6403