

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTROHİDROLİK SUPAP SİSTEMİ TASARIMI

CİHAT ÇİFTÇİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUHARREM E. BOĞOÇLU**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROHİDROLİK SUPAP SİSTEMİ TASARIMI

Cihat ÇİFTÇİ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serpil KURT

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Mühendisliğe olan ilgi ve alakamı, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Lisans programı içerisinde verdiği dersler ve ders dışı proje aktiviteleriyle içten yanmalı motorlar üzerine yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ'e bana sağladığı bilgi, verdiği motivasyon ve birçok konuda paylaştığı entellektüel bakış açısından ötürü sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimim sonrasında başladığım iş hayatımda, ilk günden bu güne çalıştığım içten yanmalı motor tasarımı projeleri çerçevesinde, çalıştığım alanda son yıllarda oldukça popüler olan elektro hidrolik supap sistemi konseptini yüksek lisans tez konusu olarak seçerek, bir içten yanmalı motor sistemini hidrolik sistem tasarlama yetkinliği kazandıracak şekilde geliştirmeyi hedeflediğim bu çalışmamın sonucunda, bana bu yetkinliği kazanmamı sağlayan, tez hazırlama sürecinde bilimsel mühendislik yaklaşımlarıyla problemlere yaklaşmamı sağlayan ve süreç boyunca desteğini esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Muharrem BOĞOÇLU'ya saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama süreci boyunca çok değerli bilgi ve mühendislik yaklaşımlarıyla bana yardımcı olan değerli arkadaşım Seyit Ali YILMAZ'a, her daim moral desteği sağlayan çok değerli BMC Power Motor Tasarım Ekibi mesai arkadaşlarıma, ekip liderim Gani Can Öz'e, hayatımın her aşamasında desteğini esirgemeyen çok kıymetli kardeşim, annem ve babama, hayatıma renk katan ve tez yazım sürecinde kendisine kısıtlı zaman ayırabildiğim, motivasyonumu her daim yüksek tutturan biricik sevgilime en içten sevgi ve saygılarımı sunarak teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım, 2018

Cihat ÇİFTÇİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA SUPAP SİSTEMİ	4
2.1 Çalışma Prensibi	6
2.2 Supap Sistemi Parçaları.....	12
2.2.1 Supap Gurubu	12
2.2.2 Külbütör Kolu Gurubu.....	14
2.2.3 Kam Mili Grubu	15
2.3 Sistem Karakteristikleri	18
2.3.1 Temel Supap Hareketleri	18
2.3.2 Fonksiyonel Karakteristikler	20
2.4 Değişken Supap Sistemi	23
2.4.1 Değişken supap zamanlaması.....	24
2.4.2 Supap açıklık süresi.....	27
2.4.3 Supap açılma miktarı	28
2.4.4 Değişken Supap Sistemi Tasarım Metotları.....	28
2.5 Değişken Supap Sistemi Tasarımları	29
2.5.1 Varyatör Sistemi - Fazlama	30
2.5.2 Kam Değiştirme	31
2.5.3 Hidrolik – Elektromanyetik Kontrol	33

BÖLÜM 3

ELEKTROHİDROLİK SUPAP SİSTEMİ	35
-------------------------------------	----

3.1 Çalışma Prensibi	37
----------------------------	----

BÖLÜM 4

KAVRAMSAL TASARIM	41
-------------------------	----

4.1 Referans Motor Özellikleri	42
--------------------------------------	----

4.2 Teknik Gereksinimler	43
--------------------------------	----

4.2.1 Supap Açıklık Miktarı	43
-----------------------------------	----

4.2.2 Supap Açılma / Kapanma Zamanlaması	43
--	----

4.2.3 Supap Kuvvetleri	43
------------------------------	----

4.2.4 Supap Açılma Süresi	44
---------------------------------	----

4.2.5 Sistem Çalışma Hızı	44
---------------------------------	----

4.2.6 Sistem Çalışma Sıcaklıkları	44
---	----

4.3 Tasarım Sınır Şartları	44
----------------------------------	----

4.4 Hidrolik Devre Tasarımı	47
-----------------------------------	----

4.4.1 Hidrolik Devre Tasarım Örnekleri;	47
---	----

4.4.2 Hidrolik Devre Konseptinin Belirlenmesi	51
---	----

4.4.3 Hidrolik Devrenin Çalışma Durumu	55
--	----

4.1 3 Boyutlu Tasarım	62
-----------------------------	----

BÖLÜM 5

HİDROLİK SİMÜLASYON	67
---------------------------	----

5.1 Simülasyon Senaryoları	67
----------------------------------	----

5.1.1 Rölanti Hızı	68
--------------------------	----

5.1.2 Maksimum Tork Alınan Motor Hızı	70
---	----

5.1.3 Maksimum Güç Alınan Motor Hızı	71
--	----

5.1.4 Maksimum Motor Hızı	73
---------------------------------	----

5.2 Model Kurulumu	74
--------------------------	----

5.2.1 Değişken Debili Pompa	74
-----------------------------------	----

5.2.2 Hidrolik Silindir	77
-------------------------------	----

5.2.3 Akış Kontrol Valfleri	79
-----------------------------------	----

5.2.4 Diğer Simülasyon Devre Elemanları	80
---	----

5.3 Simülasyon Sonuçları	81
--------------------------------	----

5.3.1 Rölanti Hızı	81
--------------------------	----

5.3.2 Maksimum Tork Hızı	83
--------------------------------	----

5.3.3 Maksimum Güç Hızı	85
-------------------------------	----

5.3.4 Maksimum Motor Hızı	87
---------------------------------	----

5.4 Dinamik Etkiler	90
---------------------------	----

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER	94
-------------------------	----

KAYNAKLAR	96
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	98
----------------	----

SİMGE LİSTESİ

V_d	Pompa kapasitesi
n_{nom}	Nominal pompa hızı
n_{mak}	Maksimum pompa hızı
P_{mak}	Maksimum pompa gücü
T_{mak}	Maksimum motor torku
ΔP	Pompa basın artışı
d_A	Piston çapı – supap açılma yönünde
d_K	Piston sap çapı
A_A	Piston kesit alanı – supap açılma yönünde
A_K	Piston kesit alanı – supap kapanma yönünde
P_A	Hidrolik basınç – supap açılma yönünde
P_K	Hidrolik basınç – supap kapanma yönünde
KA°	Krank açısı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÖN	Alt Ölü Nokta
AVLS	Active Valve Lift System
CAD	Computer Aided Design
CVTCS	Continuous Variable Timing Control System
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EHSS	Elektro hidrolik Supap Sistemi
EVC	Exhaust Valve Closing
EVO	Exhaust Valve Opening
HCCI	Homogenous Charge Compression Ignition
IVC	Intake Valve Closing
IVO	Intake Valve Opening
İYM	İçten Yanmalı Motor
KA	Krank Açısı
MKÜ	Motor Kontrol Ünitesi
OHC	Over Head Camshaft
OHV	Over Head Valve
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
VTEC	Variable Timing Electronic Control
VCT	Variable Cam Timing
VVT-i	Variable Valve Timing Intelligence
YB	Yüksek Basınç

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Rudolf Diesel tarafından 1892 yılında geliştirilen ilk dizel motor 5
Şekil 2. 2	Audi V12 TDI motoru supap sistemi 6
Şekil 2. 3	4 stroklu bir içten yanmalı motor strokları 7
Şekil 2. 4	Tipik bir supap açılma grafiği 9
Şekil 2. 5	OHV supap sistemi 11
Şekil 2. 6	OHC supap sistemi 11
Şekil 2. 7	Supap sistemi supap gurubu parçaları 13
Şekil 2. 8	Külbütör kolu gurubu 14
Şekil 2. 9	Kam mili gurubu 16
Şekil 2. 10	Kam karakteristik ölçüleri 16
Şekil 2. 11	Kam mili dişlisi..... 17
Şekil 2. 12	Zamanlama Plakası 18
Şekil 2. 13	Silindir kapama..... 22
Şekil 2. 14	Motor Freni 22
Şekil 2. 15	Motor haritasında supap sistemi profilleri 24
Şekil 2. 16	Supap zamanlaması teorik ve gerçek çevrim..... 24
Şekil 2. 17	Supap zamanlaması diyagram gösterimi 25
Şekil 2. 18	Supap zamanlaması değişimi 26
Şekil 2. 19	Supap zamanlaması değişimi 28
Şekil 2. 20	Varyatör, avans ve rötar durumları 30
Şekil 2. 21	Varyatör, avans ve rötar durumları 31
Şekil 2. 22	Kam değiştirme yöntemi [6] 32
Şekil 2. 23	Eş eksenli kayar kam mekanizması – Audi Valvelift [7] 33
Şekil 3. 1	Elektro hidrolik supap sistemi 37
Şekil 3. 3	Supap kapanma hareketi 38
Şekil 3. 4	Supap çevrimi boyunca supap hareketi 39
Şekil 3. 5	Rexroth A10VO serisi değişken debili hidrolik pompa..... 40
Şekil 4. 1	Referans motor supap ve supap sistemi 45
Şekil 4. 2	Referans motor kesiti, silindir kafası, kapağı ve supap sistemi..... 46
Şekil 4. 3	Tasarım hacmi 46
Şekil 4. 4	Tek etkili silindir ve yaylı tasarım örnek devre şeması..... 48
Şekil 4. 5	Çift etkili silindir 49
Şekil 4. 6	Diferansiyel piston ve 2 2/2 kontrol valfi kullanımı 50

Şekil 4. 7	Hidrolik devrede kullanılan grafiksel tanımlamalar	56
Şekil 4. 8	Supap kapalı pozisyon	57
Şekil 4. 9	Supap kapalı pozisyon	58
Şekil 4. 10	Supap açılma strok sonu	59
Şekil 4. 11	Supap açılma strok sonu	60
Şekil 4. 12	Supap açılma strok sonu	61
Şekil 4. 13	Akış kontrol valfi şematik gösterim.....	61
Şekil 4. 14	Hidrolik devrenin supap çevrimi boyunca hareketi.....	62
Şekil 4. 15	YB Hidrolik ray ve aktüatörlerin referans motor üzerindeki yerleşimi	63
Şekil 4. 16	Aktüatör gövdesi montaj gurubu parçaları.....	64
Şekil 4. 17	Ana aktüatör gövdesi içerisindeki hidrolik geçişler ve kanallar.....	65
Şekil 4. 18	Aktüatör gövdesi – saydam görünüm.....	65
Şekil 4. 19	Emme ve egzoz aktüatör yerleşimleri ve supap yerleşimleri	66
Şekil 4. 20	Aktüatör gövdelerinin silindir kafası üzerinde yerleşim	66
Şekil 5. 1	Rölanti hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler	70
Şekil 5. 2	Maksimum tork alınan motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler ..	71
Şekil 5. 3	Maksimum güç alınan motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler ..	72
Şekil 5. 4	Maksimum motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler	74
Şekil 5. 5	Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi.....	75
Şekil 5. 6	Rexroth A10VSO değişken debili pompa	76
Şekil 5. 7	Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi.....	77
Şekil 5. 8	Hidrolik silindir şematik gösterimi ve parametre isimlendirme	78
Şekil 5. 9	Simscape kontrol valfi modülü şematik gösterimi.....	79
Şekil 5. 10	Örnek bir kontrol valfi sinyali.....	80
Şekil 5. 11	Supap hareket grafiği – 550 d/dk.....	82
Şekil 5. 12	Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 550 d/dk	83
Şekil 5. 13	Kontrol valfi sinyalleri – 550 d/dk	83
Şekil 5. 14	Supap hareket grafiği – 1400 d/dk	83
Şekil 5. 15	Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1400 d/dk	84
Şekil 5. 16	Kontrol valfi sinyalleri – 1400 d/dk	85
Şekil 5. 17	Supap hareket grafiği – 1800 d/dk	85
Şekil 5. 18	Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1800 d/dk	86
Şekil 5. 19	Kontrol valfi sinyalleri – 1800 d/dk	87
Şekil 5. 20	Supap hareket grafiği – 2400 d/dk	88
Şekil 5. 21	Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1800 d/dk	89
Şekil 5. 22	Kontrol valfi sinyalleri – 2400 d/dk	89
Şekil 5. 23	SAE 10w40 yağın sıcaklığa bağlı viskozite değişimi.....	91
Şekil 5. 24	Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi	92
Şekil 5. 25	Yağ viskozite sensörü	93

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Tipik supap zamanlaması tablo gösterimi 25
Çizelge 2. 2	Değişken supap sistemi tipleri 34
Çizelge 2. 3	Üreticilerin kullandığı supap sistemi konseptleri ve ticari isimleri 34
Çizelge 4. 1	Referans motor teknik özellikleri 42
Çizelge 4. 2	Kriterlerin ağırlıklandırılması 52
Çizelge 4. 3	Kriterlerin puanlandırılması 52
Çizelge 4. 4	Konseptlerin kriterlere göre puanlandırılması 53
Çizelge 4. 5	Konseptlerin nihai puanlandırılması 54
Çizelge 5. 1	Rölanti hızı senaryosu supap koşulları 68
Çizelge 5. 2	Maksimum tork hızı senaryosu supap koşulları 70
Çizelge 5. 3	Maksimum güç hızı senaryosu supap koşulları 72
Çizelge 5. 4	Maksimum motor hızı senaryosu supap koşulları 73
Çizelge 5. 5	Senaryolara göre motor ve pompa hızları 75
Çizelge 5. 6	Referans alınan pompanın teknik özellikleri 76
Çizelge 5. 7	MATLAB SimScape varsayılan hidrolik sıvı özellikleri..... 91
Çizelge 5. 8	130 C° yağ sıcaklığı için yağ yoğunluk ve kinematik viskozite değerleri . 92

ELEKTRO HİDROLİK SUPAP SİSTEMİ TASARIMI

Cihat ÇİFTÇİ

Makine Mühendisliği Konstrüksiyon Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem E. BOĞOÇLU

İçten yanmalı motorlar 150 yıldan beri çok çeşitli amaçlarla kullanılmaktadırlar. Yıldan yıla her alanda gelişen teknoloji gibi, içten yanmalı motorlar da günden güne yeni teknolojik gelişimlerden faydalanmakta ve değişime uğramaktadır. İçten yanmalı motorlarda, değişken supap sistemleri, motor performansına ve motor verimliliğine büyük etkisi olan önemli bir teknolojik yenilik olup son yıllarda piyasaya sürülen içten yanmalı motorlarda uygulanmaktadır. Üreticiler, son yıllarda sıkı bir biçimde uygulanan emisyon kısıtlamaları ve yeni nesil araçlarda ihtiyaç duyulan farklı çalışma koşullarına en verimli şekilde uyum sağlayabilen güç aktarma organları gereksinimi için, supap sisteminde daha fazla esneklik sağlayan değişken supap sistemleri mekanizmalarına yönelmektedirler. Elektro hidrolik supap sistemi konsepti ise, bu talebe cevap verebilen bir tasarım olup, son yıllarda üreticilerin üzerinde çalışmakta olduğu bir konsepttir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi çalışmalarına göre, değişken supap sistemi mekanizması, içten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi ve emisyon azaltımı sağlayan 4 ana teknolojiye birisi olarak, ortalama %3 - %4 yakıt tüketimi avantajı sağlamaktadır. Bu çalışma, içten yanmalı motorlarda, değişken supap sistemi mekanizmalarını ortaya koymakta, üreticilerin değişken supap sistemi mekanizmalarında izledikleri stratejiler ve tasarım tiplerini göstermektedir. Değişken supap sistemi mekanizmalarında en güncel teknoloji olan elektro hidrolik supap sistemi tasarımlarını ortaya koymakta, seçilen bir tasarım üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçları incelenmektedir. Araştırma sonuçları göstermektedir ki,

değişken supap sistemi mekanizmaları içten yanmalı motorlarda performansı arttıran, emisyon ve yakıt tüketimini azaltan bir teknoloji olarak elektro hidrolik konsept ile referans alınan bir içten yanmalı motora uygulanarak hedeflenen supap karakteristiği elde edilebilir. Çalışmada simülasyon sonuçlarında referans alınan supap performansları elde edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Sistemin maruz kalacağı dinamik etkiler hakkında bilgi verilmiş, bu dinamik etkilerden sistemin sıcaklığa bağlı değişimi simüle edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motor, Supap Sistemi, Değişken Supap Sistemi, Elektro Hidrolik Supap Sistemi

DESIGN OF AN ELECTRO HYDRAULIC VALVE TRAIN SYSTEM

Cihat ÇİFTÇİ

Department of Mechanical Engineering Construction

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Muharrem E. BOĞOÇLU

Internal combustion engines have been used for a variety of purposes since 150 years. Like the technology that develops every field, internal combustion engines also benefit from new technological developments day by day and changing. In internal combustion engines, variable valve train systems are an important technological innovation that has a great impact on engine performance and engine efficiency, and is applied to internal combustion engines that have been put on the market in recent years. Manufacturers are using variable valve system mechanisms that provide greater flexibility in the valve train system for the need for powertrains that requires to be suitable for recently applied strict emission legislations and powertrains that needs to be suitable for different operating conditions for new generation vehicles with most efficient way. The concept of electro hydraulic valve train system is a design that can respond to this requirement and is a concept that manufacturers have been working on in recent years. According to the United States Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy Office work, the variable valve train system mechanism provides an average of 3% to 4% fuel consumption advantage as one of the four main technologies that provide fuel consumption and emission reduction in internal combustion engines. This study demonstrates the mechanisms of variable valve train system in internal combustion engines and shows the strategies and design types that manufacturers have been following. As a most advanced technology in the variable valve train system mechanisms, the hydraulic valve train system designs are presented and the results of

the simulation studies on a selected design are examined. The research results show that the variable valve train system as a technology that improves performance, reduces emissions and reduces fuel consumption in internal combustion engines can be implemented to a reference engine with an electro hydraulic concept. In the study, valve performances which are referenced in the simulation results were obtained and the results were examined. Information was given about the dynamic effects that the system was exposed to and the results were evaluated by simulating the temperature-related change of the system which is one of these dynamic effects.

Keywords: Internal Combustion Engine, Valve Train System, Variable Valve Train System, Electro Hydraulic Valve Train System

1.1 Literatür Özeti

Günümüzün en büyük küresel problemlerinden bir olarak ortaya çıkan dünya atmosferinde bulunan sera gazlarının neden olduğu küresel ısınma ve küresel ısınmanın etkileri, sera gazlarının salınımına neden olan içten yanmalı motorlar gibi ürün ve proseslerin bu konuda hükümetler ve otoriteler tarafından belirli kısıtlamalara tabii tutulmasına neden olmuştur. Küresel ısınmanın etkilerinin azaltılması için yapılan araştırmalarda, en büyük sera gazı kaynaklarından biri olan dünya genelinde milyarlarca adet bulunan içten yanmalı motorlara da yer verilmiştir. Otoritelerin koyduğu limitasyonlardan dolayı otomotiv üreticileri ve motor tasarımcıları içten yanmalı motorlarda birçok yeni teknolojinin gelişimi için çaba harcamaya başlamıştır. Otoritelerin yaptığı çalışmalara örnek olarak, ABD Enerji Bakanlığı Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ofisi çalışmalarına göre, [1] içten yanmalı motorlarda emisyon azaltıcı yeni nesil temel 4 motor teknolojilerinden biri tamamen değişken supap sistemleri olarak gösterilmiştir. Yapılan çalışmaya göre içten yanmalı motorlarda uygulanacak olan değişken supap sistemi teknolojileri motorun yakıt tüketiminde ve dolayısıyla atmosfere salınan sera gazlarında %3 - %4 oranında katkı sağlayacağı varsayılmıştır. Günümüzde bu alanda yapılan çalışmalar daha çok elektro hidrolik supap sistemi teknolojilerine ilginin artmasına neden olmuştur. Birçok üretici Ar-Ge faaliyetleri çerçevesinde elektro hidrolik supap sistemi konseptleri geliştirmiş ve Köenigsegg gibi hiper otomobil üreticileri bu teknolojileri otomobillerinde uygulamaya başlamıştır. Elektro hidrolik supap sistemleri, sahip oldukları elektronik kontrol yetenekleri ve hidrolik sistemin getirdiği farklı boyutta motorlar için farklı yük koşullarına göre uyarlanabilir bilinmekte ve birçok motor türünde

rahatlıkla aynı tasarım platformunun uygulanabilmesini sağlamaktadır. Hidrolik sistemlerin dayanıklı olması, yüksek hız ve ağır motor çalışma koşullarında çalışabilme kabiliyeti nedeniyle, motor mühendisleri tarafından supap sistemi çalışmalarında kullanılmaktadır. Elektro hidrolik supap sistemleri basitçe konvansiyonel supap sistemlerinde bulunan silindir içerisine giren ve silindirden çıkan havanın kontrolünü ve tahrikini krank mili vasıtasıyla alan bir kinematik zincir içerisinde hareket eden mekanik bir supap sistemi yerine hidrolik bir silindir içerisinde bulunan bir hidrolik pistonun motor supaplarının hareketlerini kontrol etmesi prensibi ile çalışır.

1.2 Tezin Amacı

İçten yanmalı motorlar, çağımızın teknolojiye gelişim hızına paralel bir şekilde teknolojik gelişim göstermektedir. Özellikle günümüz dünya gündeminin en büyük sorunlarından biri olarak kabul edilen küresel ısınma ve küresel ısınmanın etkilerini azaltmaya yönelik otoritelerin koyduğu petrol ve türevi yakıtlarla çalışan sistemlerdeki verimlilik hedefleri ve atmosfere salınan gazların birim güç için azaltılmaya çalışılması, motor tasarımcılarının da motor içerisinde verimliliği arttırmaya yönelik birçok yeni fikri ortaya koymasına neden olmaktadır. Bu hedef doğrultusunda günümüzde yapılan çalışmalarda, supap sistemi üzerinde yapılan araştırmalar, supap sisteminin bu hedef doğrultusunda geliştirmeye açık bir sistem olduğunu göstermektedir. Tezin amacı, motorlarda kullanılan konvansiyonel ve yeni teknoloji supap sistemlerinin tanıtılması, motor içerisindeki etkilerinin incelenmesi ve bu sistem üzerinde yapılabilecek verimlilik artırıcı tasarım geliştirmeleri faaliyetlerini, elektro hidrolik supap sistemi tasarımı ile ortaya koymaktır. Tezin ilerleyen kısmında ise, endüstride tasarlanan bir ağır vasıta ticari motoru üzerinden örnek bir elektro hidrolik supap sistemi kavramsal tasarımı gerçekleştirilmiş ve simüle edilmiştir. Tezin ileride uygulanacak olan elektro hidrolik supap sistemi tasarımlarına bir yol gösterici olması ve bu konseptin uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve inceleme sonuçlarının yorumlanması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Günden güne gelişen teknoloji, içten yanmalı motorların daha verimli hale gelmesi için farklı motor teknolojilerinin gelişimini sağlamıştır. Küresel ısınma nedeniyle atmosfere karbon salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalar, içten yanmalı motorlarda yakıt tüketimini azaltmaya ve verimliliğin artırılması için yapılan çalışmaların temel çıkış kaynağı olmuştur.

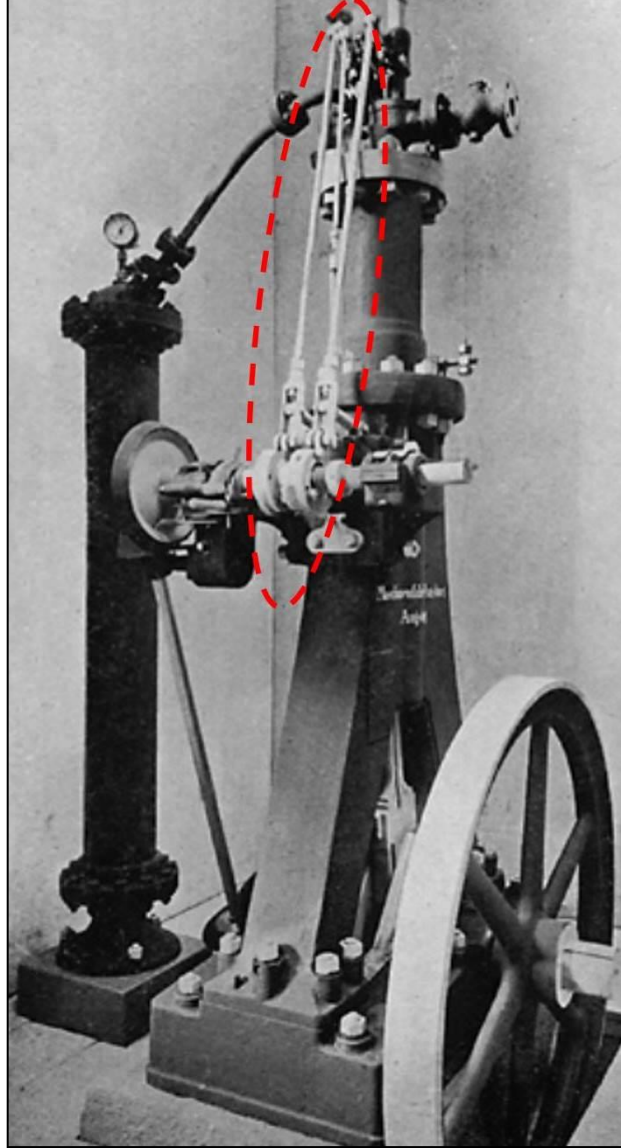
İçten yanmalı motorlarda önemli fonksiyona sahip supap sistemleri de, motor verimini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalara katılmıştır. Sistem mekanizması içerisinde yapılan sürtünmeleri azaltıcı tasarım ve malzeme seçeneklerinin yanında, bu sistemin genel motor haritası içerisindeki verimliliği sağlayabilmesi için değişken supap profiline imkân tanıyan mekanizmalar geliştirilmiştir.

Bu çalışma içerisinde, değişken supap sistemi tasarımı, elektro hidrolik bir mekanizma konseptiyle değerlendirilmiş, konvansiyonel supap sistemleri ve diğer değişken supap sistemleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Hali hazırda yerli bir firma bünyesinde geliştirme aşamasında olan ve referans olarak alınan 6 silindirli bir motor için elektro hidrolik supap sistemi kavramsal tasarımı CATIA V5 programı ile gerçekleştirilmiş, hidrolik sistem ve hidrolik şema tasarlanmıştır. Hidrolik model MATLAB SimScape ortamında modellenmiş ve hidrolik sistem parametrelerinin belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hidrolik sistem parametreleri belirlenmiş, sistemin yapılacak olan testler ve bu testler sonucunda ortaya çıkacak olan dinamik etkilerinden bahsedilmiş, sistemin yağ sıcaklığına bağlı değişimi simülasyon ortamında irdelenmiştir. Yapılan çalışmaların, referans alınan motora uygulanabilir olması ve ileri çalışmalarda motor kontrol ünitesi ile birlikte araç sürüş çevrimine uygun optimize edilebilmesi amaç olarak hedeflenmiştir.

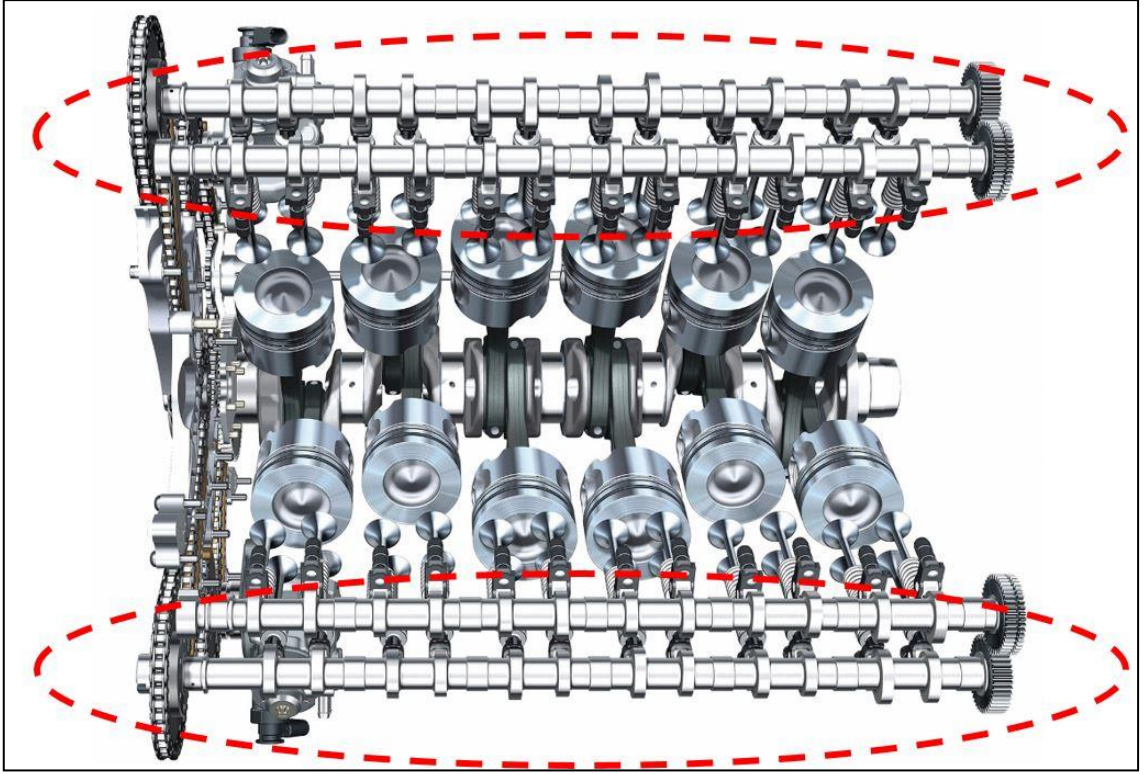
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA SUPAP SİSTEMİ

İçten yanmalı motor, yakıtın bir hacim içerisinde hava ile karışarak yüksek oranda sıkıştırılması ve bir kıvılcım vasıtasıyla yahut kendi kendine yanmasıyla ortaya çıkan yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa sahip gazın, mekanik komponentlere uygulanması ve bir krank mili vasıtasıyla hareket elde edilerek, kimyasal enerjinin mekanik enerjine dönüştürülmesini sağlayan bir termik makinedir. Hava ve yakıt karışımının sıkıştırılarak bir yardımcı ateşleyici (buji) ile ateşlenmesi prensibi ile çalışan motorlar Otto motorlar olup, hava yakıt karışımının sıkıştırıldığında belirli bir basınçta kendiliğinden yanma reaksiyonunun başladığı motorlar ise Dizel motorlar olarak sınıflandırılır. Günümüzde temel olarak motorlar Otto veya Dizel tipinde motorlar olup gelişen teknoloji ile bu iki tip çalışma prensibini aynı anda içeren tipte motor tasarımları da bulunmaktadır. Otto ve Dizel motorlar, yanma veya ateşleme prensipleri farklı olsa da, yanma hacmi olarak tanımlanan silindir içerisine aldıkları havayı kontrol ettikleri supap sistemleri nezdinde birbiriyle aynı supap sistemi tiplerine sahiptirler. Supap sisteminin İYM içerisindeki temel görevi, silindir içerisine alınan taze hava akışını ve yanma sonucunda oluşan artık gazların silindir içerisinden atılmasını kontrol etmek, yanma ve genişleme anlarında silindir içerisindeki hacmin sızdırmazlığını sağlayarak mümkün olduğunca fazla yanma enerjisinin mekanik enerjiye çevrilmesini sağlamaktır. Supap sistemi geliştirilen ilk içten yanmalı motordan, günümüzdeki son teknoloji Formula-1 motorlarına kadar aynı temel çalışma prensibini korumuş ve oldukça fazla sayıda tasarım konseptinin uygulanmasıyla motor teknolojisinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Özellikle son yıllarda içten yanmalı

motorların sahip olduğu farklı tipte çalışma durumları içinde supap sistemleri kullanılmaktadır. (Örnek: Motor freni)



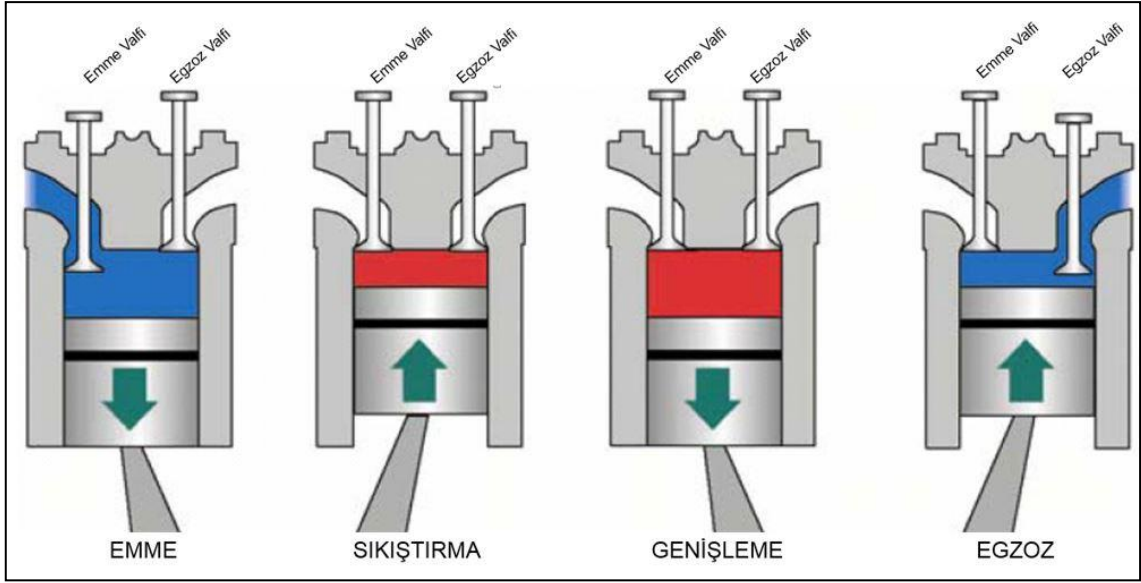
Şekil 2. 1 Rudolf Diesel tarafından 1892 yılında geliştirilen ilk dizel motor



Şekil 2. 2 Audi V12 TDI motoru supap sistemi

2.1 Çalışma Prensibi

İçten yanmalı motorlar bir yanma çevrimini 2 veya 4 strokta tamamlarlar. Genellikle motosiklet motorları, taşınabilir çim biçme makinaları gibi motorlar 2 stroklu motorlar olup geometrik olarak çok daha basit ve az sayıda komponentden oluşmaktadırlar. Bunun dışında günümüzde binek araçlardan jeneratörlere, ağır vasıta araçlarına, yüksek performans araçlara kadar 4 stroklu motorlar kullanılmaktadır. 4 stroklu bir İYM çalışma prensibine göre, her bir strokta, supap sisteminin gerçekleştirdiği farklı görevler bulunmaktadır. 4 stroklu bir motorda emme, sıkıştırma, genişleme ve egzoz strokları bulunmaktadır. Pistonun alt üst ölü noktadan, üst ölü noktaya gidişi yahut tam tersi üst ölü noktadan alt ölü noktaya gidişi bir strok olarak tanımlanır. 4 stroklu bir İYM bir güç çevriminde krank milini iki defa döndürür. Kam mili ise bir güç çevriminde bir tur döner, bundan dolayı kam mili krank miline göre 1:2 hız oranıyla döner. [3]



Şekil 2. 3 4 stroklu bir içten yanmalı motor strokları

Her bir çalışma stroğunda gerçekleşen olaylar ve supap sistemi hareketleri;

Emme: İlk çalışma stroğu olarak, emme manifoldunda bulunan havanı silindir içerisine alındığı stroktur. Bu strokta piston ÜÖN'da iken, AÖN'ya doğru hareket eder. Tam bu esnada, emme valfi, kam milinden aldığı mekanik hareket ile silindir içerisine doğru açılarak, silindir içerisinde oluşan vakum ile emme manifoldundan taze havanı çekilmesini sağlar. Emme supabı piston AÖN'ya gelene kadar açık kalarak yeterince taze havanın silindire alınmasını sağlar. Egzoz supapları bu strokta kapalı kalarak taze havanın silindirden çıkışına engel olur.

Sıkıştırma: Taze havayı birinci strokta alan silindirde, pistonun AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareket ettiği sıkıştırma stroğunda, içeride bulunan taze hava sıkıştırılarak basıncı arttırılır. Piston ÜÖN'ya yaklaşırken aynı anda silindir içerisine yakıt enjeksiyonu gerçekleştirilir. Bu noktadan sonra bir dizel motor için, hava ve yakıt karışımı sıkıştırma sonundaki basıncın içerisinde yanmaya başlar. Ve yanma basıncı genişleme stroğuna geçilerek pistonun AÖN'ya doğru itilmesini sağlar. Bu strokta supapların görevi silindir hacmi içerisinde sıkıştırma esnasında sızdırmazlığı sağlayarak kompresyon kaçaklarını engellemektedir. Supap yayları fonksiyonu gereği supapları silindir kafasının içerisindeki bagalara doğru çekerek supap ve бага arasında bir basınç oluşturarak sızdırmazlığı sağlar.

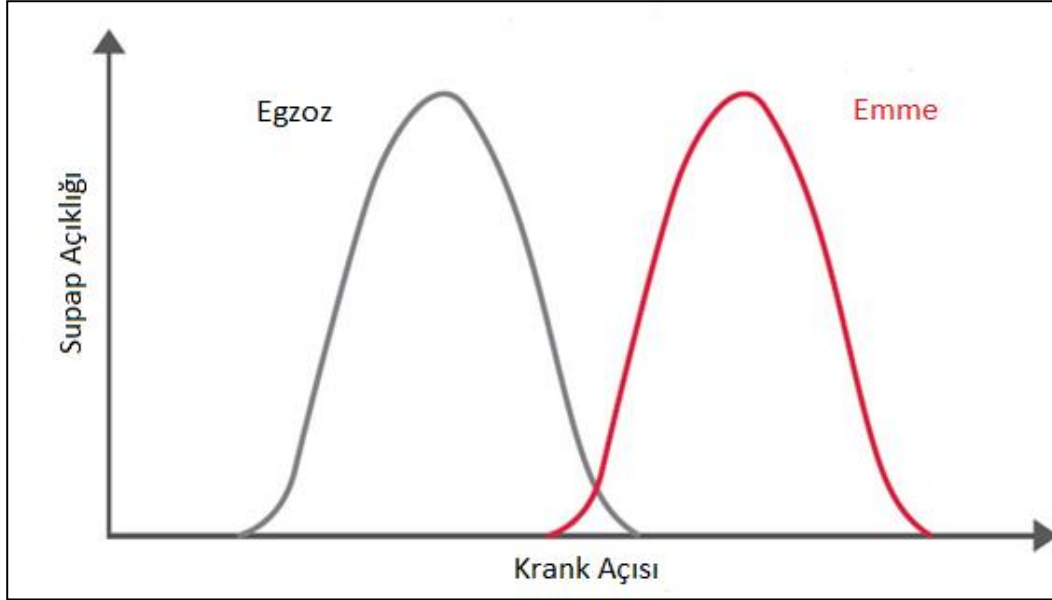
Genişleme: Genişleme stroğu diğer bir tanım ile güç stroğu, hava yakıt karışımının oluşturduğu yanma basıncının pistonlara itilerek krank milinin hız ve tork üretmesini sağlar. Piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket eder. Tıpkı sıkıştırma stroğundaki gibi bu strokta da supaplar kapalı olup yanma basıncının silindirden portlara gidişini engeller. Piston AÖN'ya ulaştığında yanma enerjisi mekanik enerjiye çevrilmiş olur ve krank mili ana yatak şaftından kaçık olan muylu üzerine uygulanan yanma kuvveti ile tork üretmiş olur.

Egzoz: 4 zamanlı bir İYM'in son stroğu olan egzoz stroğunda, AÖN'da bulunan piston ÜÖN'ya doğru hareket ederek silindir içerisinde kalan yanmış havanı silindir dışına atılmasını sağlar. Silindir içerisindeki havanın egzoz portları vasıtası ile egzoz manifolduna iletilmesini sağlayan egzoz supapları bu strokta açılır. Emme supapları ise kapalı olup bir güç çevriminin tamamlanmasının ardından emme stroğunda açılacaklardır. Egzoz stroğu pistonun ÜÖN'ya gelmesiyle tamamlanır ve stroğun sonunda egzoz supapları kapanır.

Supap hareketleri dört strok boyunca incelendiğinde özellikle emme ve egzoz stroklarında gerçekleşir. Silindir içersine alınan hava hareketinin hızı, ataleti ve silindir – port arasındaki basınç farklılıklarından ötürü supapların açılma ve kapanma zamanlamaları strok başlangıç ve sonlarında farklılık gösterebilir. Örneğin egzoz stroğunu sonuna doğru normalde egzoz stroğu boyunca kapalı olan emme supapları açılır ve silindirin bir yanından egzoz gazları atılırken diğer taraftan taze havanı gelmesi ve egzoz gazlarının emme tarafından gelen temiz hava ile daha hızlı bir şekilde silindir içersinden süpürülmesi sağlanır. Supap bindirmesi diye bilinen bu fenomen de, silindir içersindeki hava akışı hızlandırılarak daha kısa sürede hava alışverişi sağlanır.

Supapların açılma ve kapanma hareketleri konvansiyonel bir supap sisteminde, üzerinde kamlar yer alan ve krank milinden hareket alan bir kam mili vasıtası ile sağlanır. Motorun sahip olduğu silindir sayısı, silindir konfigürasyonu ve ateşleme sırasına göre hangi silindirin hangi strokta olduğunu kam mili üzerinde belirli bir açı değerleriyle konumlandırılmış kamlar gerçekleştirir. Krank milinin bir güç çevrimi için 2 tur dönmesinden ötürü bir güç çevrimi 720 krank açısı (KA°) olarak ifade edilirken, supaplarında açılma ve kapanma zamanlamaları ile açık kalma süreleri KA° olarak ifade

edilir. 720 KA° çevriminde bir silindirde emme stroğunda emme, egzoz stroğunda egzoz supabı açıldığından, tipik bir supap eğri grafiğı Şekil 2.4’de gösterildiğı şekilde olur. 720 KA° zamanlama boyunca kamlar sadece kısıtlı bir KA° süresince açık alır. Supap hareketinin KA olarak açılma ve kapanma zamanlamaları, “supap zamanlaması” olarak ifade edilir.



Şekil 2. 4 Tipik bir supap açılma grafiğı

Teorik olarak her bir strokta supap açılma ve kapanma hareketleri 1-0 çalışan valfler gibi çok hızlı bir şekilde maksimum açıklık noktasına gelip çok hızlı bir şekilde supap kapalı pozisyona gelebilir, bu durum silindir içerisine alınan ve silindirden atılan hava miktarını maksimize eder, ancak supap açılma grafiğinin bir dörtgen şekil yerine daha çok eğri olmasının nedeni, supapın açılma ve kapanma hareketlerinin hız ve ivmelerden dolayı sınırlı olmasıdır. Supabın çok hızlı bir şekilde kapanması supabın бага yada silindir kafasına çok hızlı çarpmasına neden olarak hem dayanım ve aşınma sorunlarına neden olur hem de motorun NVH karakteristiklerine olumsuz etkisi olur, ayrıca çok hızlı bir şekilde kapanan supap bagalardan gelen reaksiyon kuvveti ile kapanma hareketinde bagadan tekrar sekip bir miktar daha açılabilir. Ortalama 3000 d/dk dönen bir İYM’da supaplar bagalara saniyede 25 defa çarpmasından dolayı dayanım limitleri çerçevesinde motor tasarımcıları supap ivmelerini ve supap oturma hızı olarak ifade edilen supabın bagaya çarptığı hızı belirli bir aralıkta tutmaya çalışmaktadırlar.

Supap sistemleri motor tasarımlarında farklı tiplerde olmaktadır. Ancak supap sistemleri genel olarak motorlarda iki temel tip üzerinden tanımlanır. Bunlar OHV ve OHC supap sistemleridir.

OHV Supap Sistemi: Over Head Valve kısaltması olarak ifade edilen OHV supap sisteminde, supap sistemini tahrik eden kam mili silindir kafasına göre daha yere yakın bir pozisyonda, genel olarak motor bloğunun içerisinde konumlanır, supaplar silindir kafasındaki hareketlerini, kam milinden külbütör kollarına gelen itici çubuklar vasıtası ile sağlar. OHV supap sistemi motor paketlemesi açısından özellikle eski nesil binek araç motorlarında ve günümüzde kullanılan ticari ve ağır ticari motorlarda kullanılmaktadır. Diğer sisteme göre eklenen itici çubuklar ve kadeh mekanizmalarından dolayı daha fazla sayıda parça barındırmaktadırlar.

OHC Supap Sistemi: Over Head Camshaft kısaltması olarak ifade edilen OHC supap sisteminde, kam mili silindir kafasının üstünde ve genellikle supapların da üst tarafında yer almaktadırlar. Binek araçlarda ve yüksek hızlı motorlarda kam milleri direk olarak supapların üstünde yer almakta ve kam mili supapları arada minimum sayıda parça kullanarak hareket ettirmektedirler. Temel mantık olarak OHC supap sistemleri kam mili ile supap arasında çok daha az sayıda parça içerdiğinden ve sistem hareketinin daha az sayıda parça ile daha direkt bir şekilde sağlandığından ötürü sistem rijitliği ve buna bağlı supap karakteristikleri & performansında artış sağlamaktadır. Ancak silindir kafasının üzerinde yer alan kam mili ve külbütör kolları paket sınırları içerisinde zorluklar çıkarabilmektedir.



Şekil 2. 5 OHV supap sistemi



Şekil 2. 6 OHC supap sistemi

2.2 Supap Sistemi Parçaları

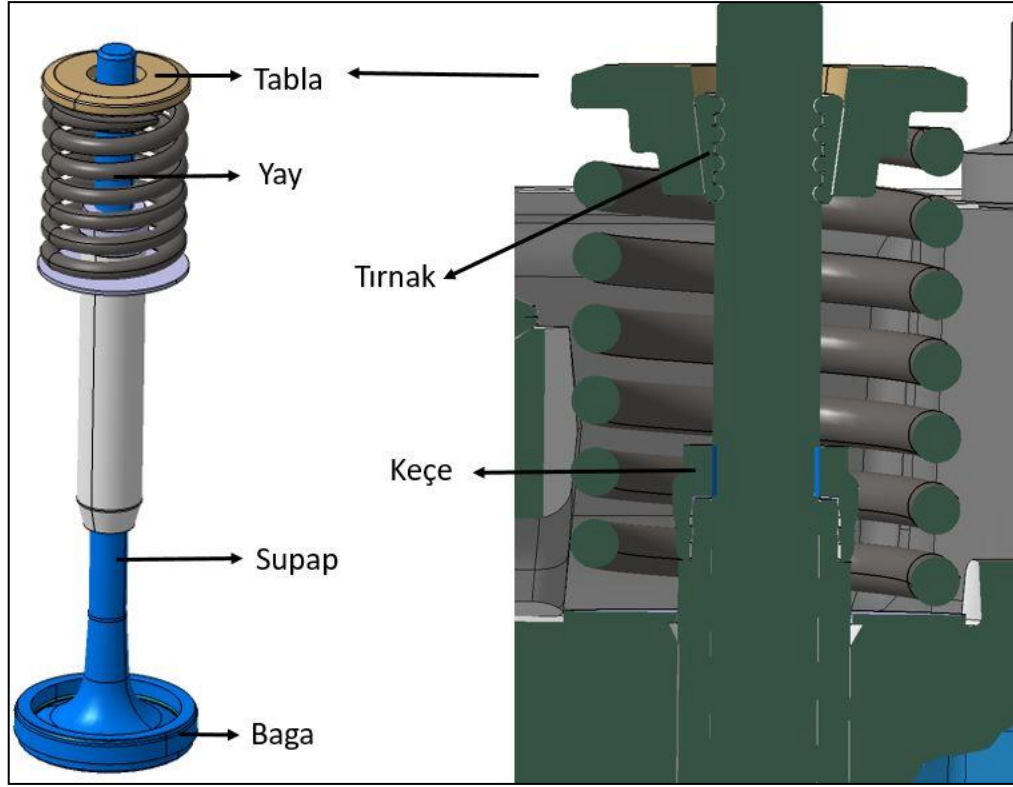
Supap sistemi genel olarak bir İYM’da en çok sayıda parça bulunan sistemdir. Krank milinden hareketi alan kam milinden supap parçasına kadar birçok ara parça supap sistemi içerisinde farklı farklı işleve sahiptir. Temel olarak supap sistemi parçalarını;

- Supap Gurubu
- Külbütör Kolu Gurubu
- Kam Mili Gurubu

Şeklinde 3 grup halinde toplayabiliriz. Bu montaj gurupları içerisinde ise birçok parça yer almaktadır. Supap sistemi tasarımları en basit konseptte OHV veya OHC olmasına göre değiştiği gibi, supap sistemi tipine ve sistemin sahip olduğu fonksiyonel özelliklere göre farklılık göstermektedir.

2.2.1 Supap Gurubu

Supap gurubu, supabın kendisi ve supabın silindir kafası içerisinde durmasını sağlayan ve supap kapanmasını sağlayan supap yayı, yay ile supap arasındaki bağı sağlayan tırnaklar ve tabladan, aynı zamanda silindir kafası içerisine çıkılan бага ve supabın gayd parçası arasında yağ sızıntısını kontrol eden keçe parçalarından oluşur.



Şekil 2. 7 Supap sistemi supap gurubu parçaları

Supap: Külbütör kolunun hareket ettirdiği supaplar, silindir hacmi içerine hava giriş ve çıkışını kontrol eder. Sap ve baş kısmından oluşan supaplar tek parça olabileceği gibi, sap ve baş kısımlarının farklı malzemelerden imal edilip sürtünme kaynağı ile birleştirilmesiyle iki parça olarak da imal edilmektedirler. Yanma esnasında oluşan ısı supapların bagaya temas etmesiyle ve gayd vasıtasıyla silindir kafasındaki su ceketleriyle suya atılır.

Baga: Supapların kapanma esnasında sızdırmazlığı sağladığı, supabın baş kısmının temas ettiği yüzük şeklindeki parçalardır. Supaplardaki ısının atımı için kritik rol üstlenen parçalar ısıl iletkenliği iyi olan çelik veya dökme demirden imal edilirler ve silindir kafası içerisine sıkı geçme olarak yerleştirilirler.

Yay: Supap yayları külbütör kollarını supapları açmasının ardından supapların kapanması için ihtiyaç duyulan supap çekme kuvvetini sağlar. Supalar kapalı iken supaplarda bir ön yükleme kuvveti oluşturarak, silindir içerisinde oluşan negatif basınç sonucu supapların kendi kendine açılmasını engeller, aynı zamanda yay sertliği ayarlanarak, supap açık

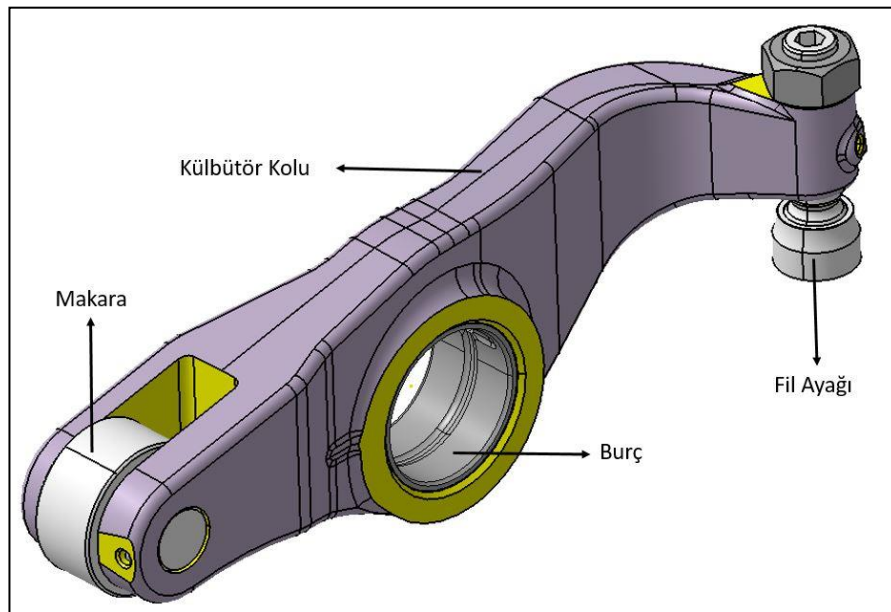
halden kapalı hale gelirken sistemin kapanma ivmesini ayarlar. Genellikle yüksek dayanımlı yay çeliklerinden imal edilirler.

Tırnak: Supap sapı ile tabla arasında mekanik bağlantıyı supap tırnakları sağlar. Genellikle tek çentikli veya 3 çentikli şeklinde tipleri vardır. Supap tırnakları iki parça olarak supap sapı ile tabla arasına monte edilirler. Dış kısmı konik yapıda olup tablanın konik iç çapıyla konik kuvvet bağı oluşturur.

Tabla: Yay kuvvetinin supap sapına iletilmesini sağlayan tabla, üzerine uygulanan yay kuvvetiyle, iç çapta konik kuvvet bağlantısı sağlayan tırnaklar vasıtasıyla supapların yay kuvvetine maruz kalmasını sağlar.

2.2.2 Külbütör Kolu Gurubu

Supap gurubunun kam mili ile hareket ettirilmesini sağlayan külbütör kolu gurubu, bir külbütör mili üzerine yataklanarak kam milinin makara parçasını hareket ettirmesiyle hareket eden ve içerisinde küresel mafsallı barındıran fil ayağı parçasıyla supapların hareketini sağlayan birkaç parçadan oluşan bir montaj gurubudur. Supap sisteminin kinematik gereksinimleri, fil ayağı merkezi – külbütör şaftı merkezi – makara merkezi arasındaki mesafelerin istenilen kinematik davranışları elde edebilmek hedefiyle tasarlanır.



Şekil 2. 8 Külbütör kolu gurubu

Külbütör Kolu: Genellikle yüksek alaşımlı çelik malzemeden dövme yöntemiyle yahut dökme demir malzemeden döküm yöntemiyle imal edilen külbütör kolu parçası, üzerinde yer alan makara, makara pimi, burç ve fil ayağı parçalarıyla bir montaj gurubu olarak kam mili hareketini belirli bir oran ile supaplara ileterek supapların aktifleştirilmesini sağlarlar.

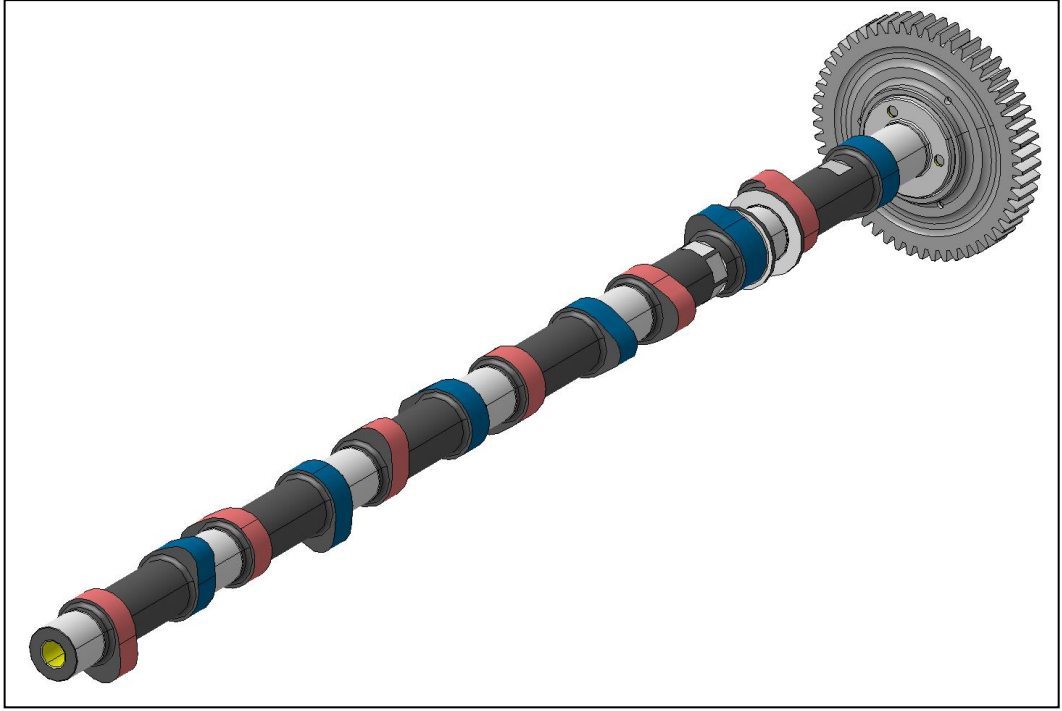
Burç: Külbütör kolu içerisine sıkı geçme olarak yerleştirilen ve genellikle bronz malzemeden imal edilen burç, külbütör mili etrafında belirli bir açı değerleri arсында kısıtlı bir dönel hareket gerçekleştirebilmesini sağlar. İçerisinde bulunan oyuklar ile yağ pompasından gelen yağın burç ile mil arasında bir yağ filmi oluşturması sağlanarak burç sayesinde aşınma değerleri minimize edilmeye çalışılır.

Fil Ayağı: İçerisinde küresel bir mafsal bulunduran bu parça, yüzey basınçlarının çok yüksek olduğu bir parça olarak, külbütör kolunun külbütör şaftı ekseninde rotasyonel hareketinin küresel mafsal özelliği sayesinde supapların supap eksenini boyunca hareket edebilmesini sağlar.

Makara: Külbütör koluna sıkı geçme yerleştirilen bir pim etrafında serbestçe dönebilen makara, kam mili yumurtalarının temas ettiği ve kam mili hareketini külbütör koluna ileten parçadır. Genellikle yağlama özellikleri iyi olan makara pimi ile makara arasında külbütör kolundan gelen işleme delikleri ile yağ akışı sağlanarak makara ve makara pimi arasında sürtünme ve aşınmalar minimize edilir. Kam ile arasında çizgisel ve bazen noktasal temas sağladığından ötürü yüzey basınç dayanım değerleri yüksek olan 100Cr6 ve benzeri rulman çeliği malzemeden üretilirler.

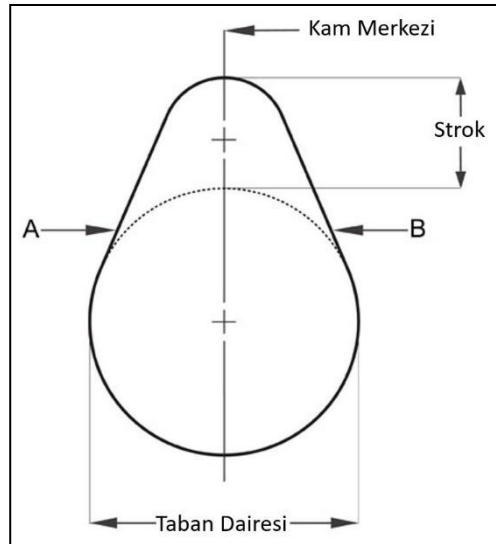
2.2.3 Kam Mili Grubu

Üzerinde supapların hareketini sağlayan kam yumurtaları bulunduran kam mili, hareketini krank mili vasıtasıyla arada dişli sistemi yahut zincir sistemi kullanılarak sağlar. Kam mili genellikle silindir sayısını bir fazlası kadar yatak ile yataklanır, tasarımda sahip olunan limitler çerçevesinde kam mili üzerindeki yatak sayısı daha farklı olabilir.



Şekil 2. 9 Kam mili gurubu

Kam Mili: Krank mili vasıtasıyla tahrik edilen kam mili, üzerinden bulunan kamlar vasıtasıyla supaplara hareket iletir. Kamlar supabın açılma miktarlarının, külbütör kolu vasıtasıyla oranlanmasıyla ihtiyaç duyulan açılma miktarının kam stroğu ile sağlar. Kam mili üzerinde bulunan bir kam a ait karakteristik ölçüler Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2. 10 Kam karakteristik ölçüleri

Kam mili üzerinde her bir silindir için kamlar ve milin yataklanması için yatak bölgeleri bulunur. Kamlar, iticiler külbütör kolunda makaralar ile temasında oldukça fazla yüzey basıncı oluştururlar, bundan dolayı kamlar yüksek alaşımlı çeliklerden veya ıslah çeliklerinden imal edilerek ısıtılma işlemine tabii tutulurlar ve yüzey sertlikleri arttırılır. Kam mili yatakları da hidrodinamik yataklar olarak hassas işleme ile imal edilirler. Kam mili, bir ucunda yer alan flanşa bağlanan bir dişli vasıtasıyla krank milinden tahrik alır. Genellikle dişli ve kam mili arasındaki bağlantı flanş ve cıvatalar vasıtasıyla sağlanır. Motor freni uygulamalarının olduğu motorlarda veya birim yakıt pompası olan motorlarda kam mili üzerinden supapları hareket ettiren kamların yanında bu görevler için de kamlar bulunur. Bu tipte kam milleri oldukça fazla yüke maruz kaldıklarından yapısal olarak daha mukavemetli tasarlanırlar.

Kam Mili Dişlisi: Krank milinin hareketini motorun dişli sistemi vasıtasıyla kam miline aktarılmasını sağlar. Kam mili flanşına genellikle 3-4 adet cıvata ile bağlanır.



Şekil 2. 11 Kam mili dişlisi

Zamanlama Plakası: Genellikle kam mili dişlisi üzerine monte edilen zamanlama plakası, üzerinde bulunan delik ve çıkıntılar sayesinde, kam milinin pozisyonunun bir pozisyon sensörü vasıtasıyla algılanmasını sağlar. Özellikle yeni nesil motorlarda, motor kontrol ünitesi (MKÜ) kam mili sinyallerini kullanarak hangi silindirin ateşleme sırasında olduğunu anlayarak ilgili silindire yakıt enjeksiyonu yaparak motoru çalıştırır. Aynı zamanda yakıt enjeksiyon sisteminin kam pozisyonuna bağlı daha hassas kontrol edilmesini sağlar.



Şekil 2. 12 Zamanlama Plakası

2.3 Sistem Karakteristikleri

Supapların temel görevi silindir hacmi içerisindeki hava hareketlerini kontrol etmek, silindir içerisine giren taze havanın ve silindirden çıkartılan yanmış egzoz gazlarının atımını sağlar. Temel olarak açılma ve kapanma hareketleri, emme ve egzoz supaplarında açılma & kapanma zamanları, açık kalma süreleri ve açık kalma miktarları olarak incelenir. Temel olarak bu karakteristiklere sahip olan supaplar, son yıllarda gelişen içten yanmalı motor teknolojisiyle, yanma odasında farklı farklı görevlerde bulunarak yanma performansını iyileştirme hareketleri ve motor mimarisinde, silindir kapatma, motor freni uygulaması gibi farklı farklı fonksiyonların da yerine getirilmesini sağlamaktadırlar.

2.3.1 Temel Supap Hareketleri

Temel supap hareketleri emme ve egzoz supaplarının motor çevrimi boyunca yaptığı açılma ve kapanma hareketlerini kapsar.

Emme Supap Açılması: Motor güç çevrimi başlangıcında, piston ÜÖN'dan AÖN'ya hareket ederken motor supabı açılmaya başlar ve silindir taze emme havası ile dolar. Emme stroğu boyunca oluşan basınç farkı, hava sürtünmeleri, silindir içerisine alınan hava, volumetrik verim gibi parametreler motor performansına ve özgül yakıt tüketimine büyük etkisi olan parametrelerdir. Silindir içerisine giren hava en az derecede

kısıtlama ile karşılaşmalıdır. Bunun yanında silindir içerisinde hava türbülansı yaratabilmek için de hava hızları kontrol edilebilmelidir. Supap açılma zamanlaması, motor hızı arttıkça değişmelidir. Bunun nedeni ise, yüksek motor hızlarında silindir içerisine yeterince hava girmesi için süre olmamasıdır. Bu durumdan ötürü değişken supap zamanlaması olan sistemlerde, motor hızı önceden belirlenen bir değeri geçtikten sonra, supap zamanlaması geriye alınarak emme supabı egzoz stroğunun sonuna doğru açılarak daha fazla taze emme havasının silindire girmesi amaçlanır. Diğer bir fonksiyonu ise, egzoz sonunda silindir içerisinde kalan yanma sonu gazlarını dışarıya süpürmektir. Süpürme miktarı, silindir içerisindeki oksijen miktarının emisyonlar nedeniyle kısıtlanmak istenmesinden ötürü belirli bir aralıkta tutulur. Yanma sonu gazlarının tamamının silindir içerisinden süpürülmesi istenmez.

Emme Supap Kapanması: Piston AÖN'ya olan hareketinin tamamlamaya doğru, emme supabı kapanmaya başlar, kapanma stroğu boyunca hala silindir içerisine hava almaya devam eder. Piston motor güç çevriminin sıkıştırma stroğuna başlarken yani AÖN'dan ÜÖN'ya doğru ilerlerken, supap kapanma hareketi hala devam ederm. Sıkıştırmanın başlangıcında silindirden emme portuna doğru hava çıkışı olmaz, içeri giren hava, sıkıştırma stroğu başında bile hala içeri girmeye devam eder. Emme supapları sıkıştırma stroğunun başlangıçlarında kapanır ve sıkıştırma stroğu için gerekli olan silindir hacmi izolasyonunu sağlayarak havanın piston tarafından sıkıştırılmasını sağlar.

Emme Supap Açılma Miktarı: Silindir içerisine alınan hava supapın toplam açık kalma süresi ve supap açılma miktarı ile belirlenir. Silindir içerisine alınan hava performansı doğrudan supap açılma miktarından etkilenir. Emme supap açılma miktarı ihtiyacı motorun farklı hız ve yük koşullarında farklılık göstermesi gerekir. Sabit geometrilili bir supap sisteminde emme supap açılma miktarı maksimum performans alınabilecek ve sürüş çevrimine göre en çok çalışılan operasyon bölgesine göre ayarlanır. Düşük motor yüklerinde ve hızlarında supap açılma miktarı ihtiyacı daha azdır.

Egzoz Supap Açılması: Motor güç çevriminin genişleme stroğunun sonuna doğru egzoz supabı açılmaya başlar ve egzoz stroğunun sonuna doğru tamamen kapanır. Motor genişleme stroğunda, silindir içerisinde oluşan yanma basıncı pistonu hareket ettirir ve genişleme stroğunun sonuna doğru silindir içerisinde pistona itme kuvveti sağlayacak bir

yanma basıncı kalmaz, silindir içerisindeki yanmış ve pistonu itme kuvveti üretmeyen gazlar genişleme stroğunun sonuna doğru silindir içerisinden atılmaya başlar. Piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru ilerlerken oluşturduğu süpürme hareketi ile silindir içerisinde kalan egzoz gazlarını egzoz portlarına doğru gitmesini sağlar. Egzoz supaplarının doğru zamanda açılması silindir içerisindeki hava atımını hızlandırır, ancak verimlilik açısından açılma zamanının yanma profiline göre optimize edilmesi gerekmektedir.

Egzoz Supap Kapanması: Piston motor güç çevrim stroğunun egzoz stroğunda, AÖN'dan ÜÖN'ya doğru hareket ederken egzoz supabı kapanmaya başlar. Pistonun egzoz gazlarını süpürmesi esnasında içeride piston karşı bir geri basınç oluşmaması için egzoz supap kapanma zamanlamasının doğru ayarlanması gerekmektedir. Egzoz stroğunun sonuna doğru emme supaplarının da açılması ve gelen taze havanın da egzoz gazlarını süpürmesi sayesinde egzoz gazları silindir içerisinden atılır ve piston ÜÖN'ya geldiğinde egzoz supapları kapanarak motor çevriminin tekrar başlayacağı emme stroğu için egzoz portunda gerekli olan sızdırmazlığı sağlar.

2.3.2 Fonksiyonel Karakteristikler

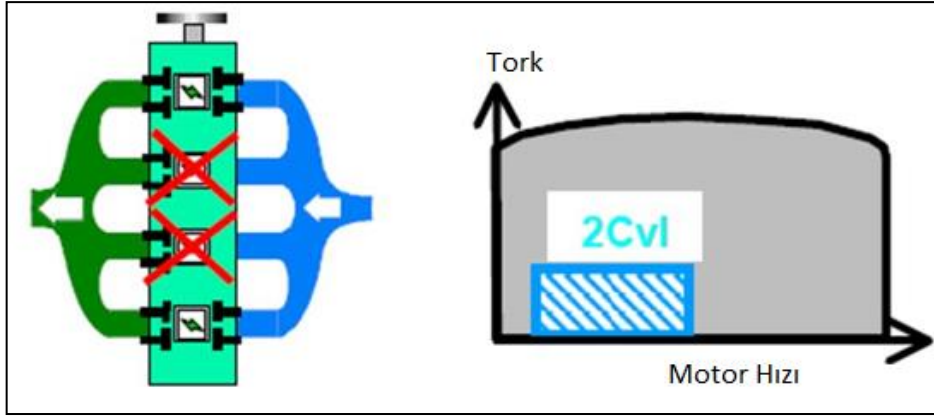
İçten yanmalı motorda gelişen teknoloji ile birlikte, genel motor verimini arttıran teknik özellikler ve buna bağlı farklı motor sistemlerinde yeni fonksiyonel özellikler geliştirilmiştir. Silindir içerisindeki yanma performansını arttırmaya yönelik, supap sisteminin sağladığı hava hareketlerinde iyileştirmeler sağlanmış, emisyon normlarının gerektirdiği EGR gereksiniminin silindir içerisinde yapılabilmesi sağlanmış, özellikle fazla sayıda silindir içeren motorlarda motorun gerekmediği zamanlarda birkaç silindirin de-aktive edilmesini sağlayan fonksiyonlar geliştirilmiş ve bunların hepsinde supap sisteminde farklı farklı özellikler türetilmiş ve uygulanmıştır. Günümüzde supap sistemi sadece silindirin hava giriş ve çıkışını yöneten valfler değil, çok daha fazla fonksiyon sağlayan bir sistem olarak kullanılmaktadır. Supap sistemi ile İYM'da günümüzde uygulanmakta olan fonksiyonlar;

- Değişken supap zamanlaması
- Silindir de-aktivasyonu
- Motor Freni

- Silindir içi EGR
- Homojen dolgu sıkıştırılmalı ateşleme (HCCI)
- Değişken sıkıştırma oranı

Değişken Supap Zamanlaması: İYM'un sahip olduğu geniş bir çalışma aralığı boyunca silindir içerisine giren ve çıkan hava hareketlerini her bir hız ve yük koşulunda optimize edebilmek ve bunun sonucunda tüm motor çevriminde ve sürüş çevriminde maksimum verimliliğe sahip olabilmek amacıyla, supapların motor zamanlanmasına göre açılma ve kapanma zamanlarının, sürelerinin ve açılma miktarlarının değiştirilmesidir. Motor supap sistemi konfigürasyonuna göre farklı tasarım opsiyonlarıyla motorlar değişken supap zamanlamasına sahip olurlar.

Silindir de-aktivasyonu: İYM'Lar kullanıldıkları araç tipine ve performans isterlerine göre farklı sayıda silindir konfigürasyonuna sahip olabilmektedir. Günümüzde binek araçlarda bile, 3 silindirden 12 silindire kadar motorlar bulunmaktadır. Ancak yüksek güçte ve yüksek sayıda silindir içeren motorlarda bile sürüş çevriminin birçok yerinde güç ihtiyacı minimum iner. Örneğin şehir içi sakin kullanımlarda ve otoyollarda sabit hızda seyir ederken motorun güç ihtiyacı, hızlanma ivmelerinin minimum olması v.b. nedenlerden dolayı düşüktür. Böyle durumlarda tüm silindilere minimum yakıt göndererek verimliliği sağlamak ve yakıt tüketimini düşürmek yerine, kullanılan silindirlerden birkaçının de-aktif edilerekten silindirlerde harcanan pompalama kayıplarının önüne geçilmesi ve az sayıda silindir ile daha az yakıt tüketimi sağlayarak motorun çalışmasının sağlanması hedeflenir. Bu sistemlerde de dekatif edilen silindirlere yakıt gönderilmez ve bu silindirlerde supap hareketlerinin minimize edilip silindire hava alınmamasıyla pompalama kayıpları engellenir.



Şekil 2. 13 Silindir kapama

Motor Freni: Özellikle ağır vasıta araçlarda, aracın frenlemesi tamamen klasik tekerler içerisindeki fren sistemiyle yapılmamakta, belirli bir hıza kadar aracı yavaşlatma görevi retarder sistemleri veya motor freni ile sağlanmaktadır. Motor freni fonksiyonunda, motorun basitçe bir kompresör gibi çalışması sağlanarak, frenlemenin gerektiği anda supap hareketleri yardımıyla güç üreten silindir veya silindirlerin bir kompresör gibi davranarakdan araç şaftına karşı yük oluşturmaktadır. Kompresyon nedeniyle, motor güç iletim dönüş yönüne ters yönde oluşan tork ile araç yavaşlatılır. Günümüzde neredeyse tüm ağır vasıta kamyonlar ve çekicilerde motor freni uygulamaları bulunmaktadır. Motor freni uygulamasının motor tasarımı içerisinde de farklı tipleri bulunmakla beraber en yaygın tasarımlar, supap sistemi sayesinde olmaktadır.



Şekil 2. 14 Motor Freni

Silindir içi EGR: Egzoz gazlarının bir miktarının tekrar yanma odasına gönderilerek içeri alınan havadaki oksijen yoğunluğunun azaltılması ve buna bağlı olarak emisyon değerlerinin düşürülmesini sağlayan EGR sistemi, silindir içerisinde egzoz ve emme supaplarının zamanlamasının ayarlanması ile sağlanabilmektedir. Bu konseptte, egzoz supabı kapanma zamanlaması ile emme supabı açılma zamanlaması optimize edilerek bir miktar egzoz gazının, egzoz stroğu sonunda silindir içerisinde kalabilmesi sağlanır. Bu sayede emme havasının da silindire alınması sonucunda silindir içerisinde taze hava ve bir miktar egzoz gazı kalır. Silindir içi EGR günümüzde ağır vasıta araçlarda EGR hava gereksinimlerinin ve EGR havasının soğutulma ihtiyacından dolayı çok kullanılmamaktadır.

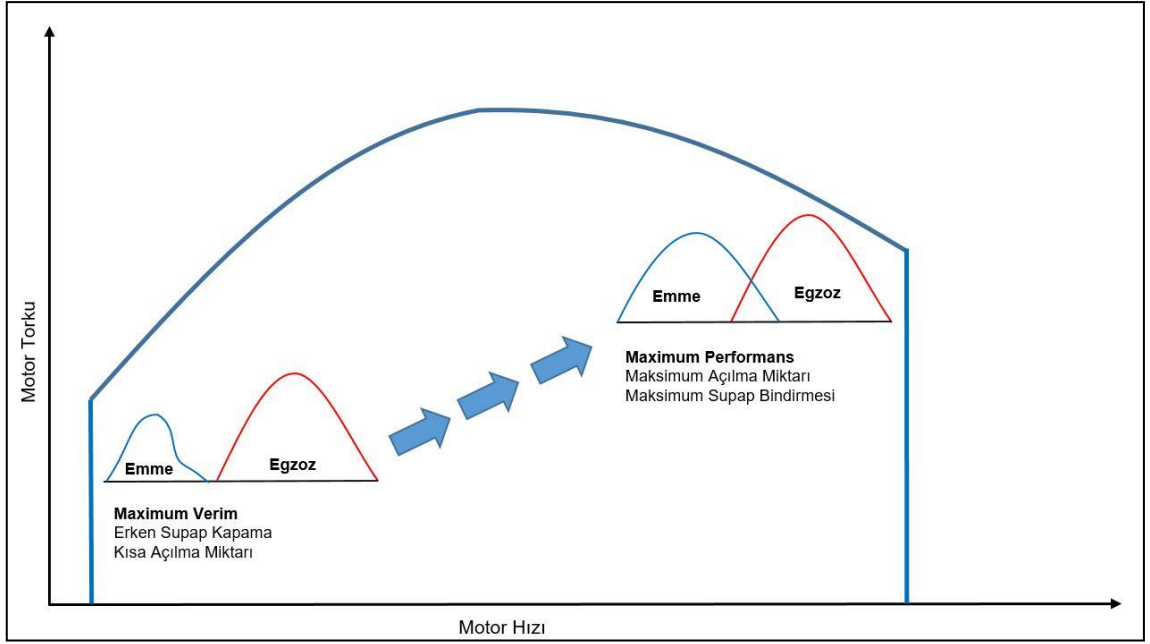
Homojen dolgu sıkıştırılmalı ateşleme: HCCI motorlar, benzinli motor ile dizel motor çalışma prensiplerini bir motorda birleştiren, yakıt hava karışımının motorun belirli çalışma noktalarında buji vasıtasıyla ateşlenmesini, belirli noktalarda ise karışımın sıkıştırılmasıyla dizel motor gibi kendi kendine ateşlenmesini sağlar. Değişken supap sistemi HCCI teknolojisini, efektif sıkıştırma oranının kontrol edilmesiyle sağlar. Emme stroğu sırasında emme valfinin piston AÖN'ya gelmeden önce kapanmasıyla efektif sıkıştırma oranı değiştirilmiş olur. Her bir motor çevrimi için bu durum değişken olarak ayarlanarak tüm motor çevrimi boyunca değişik efektif sıkıştırma oranları elde edilebilir. [3], [4]

2.4 Değişken Supap Sistemi

Değişken supap sistemleri ile sürekli kontrol edilebilecek olan supap hareket karakteristikleri;

- Supap zamanlaması
- Supap açıklık süresi
- Supap açılma miktarı

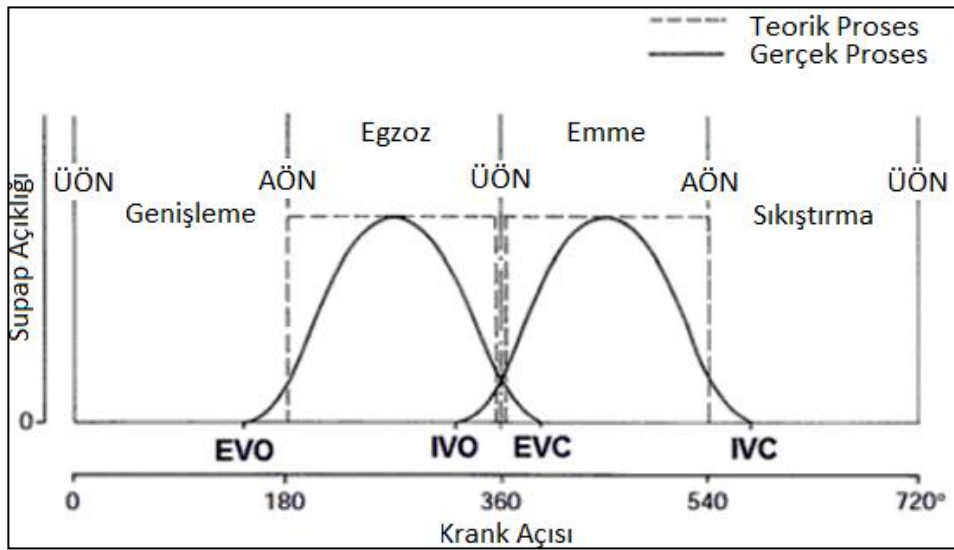
Olup, sistemin değişkenlik derecesini bu parametrelerden hangilerini, hangi operasyon sınırları arasında değiştirilebileceği belirlemektedir.



Şekil 2. 15 Motor haritasında supap sistemi profilleri

2.4.1 Değişken supap zamanlaması

Supap zamanlaması, supap hareketinin motorun krank açısına bağlı olarak gerçekleştiği zaman aralığını ifade eder. 720 KA° süren bir motor güç çevriminde, pistonun genişleme stroğu başında ÜÖN'daki konumu 0 KA° olarak kabul edildiğinde, tipik bir supap sisteminde emme ve egzoz supaplarının supap hareket profilleri, KA° zamanlaması ve supap açılma miktarına göre şekil2'deki gibidir.

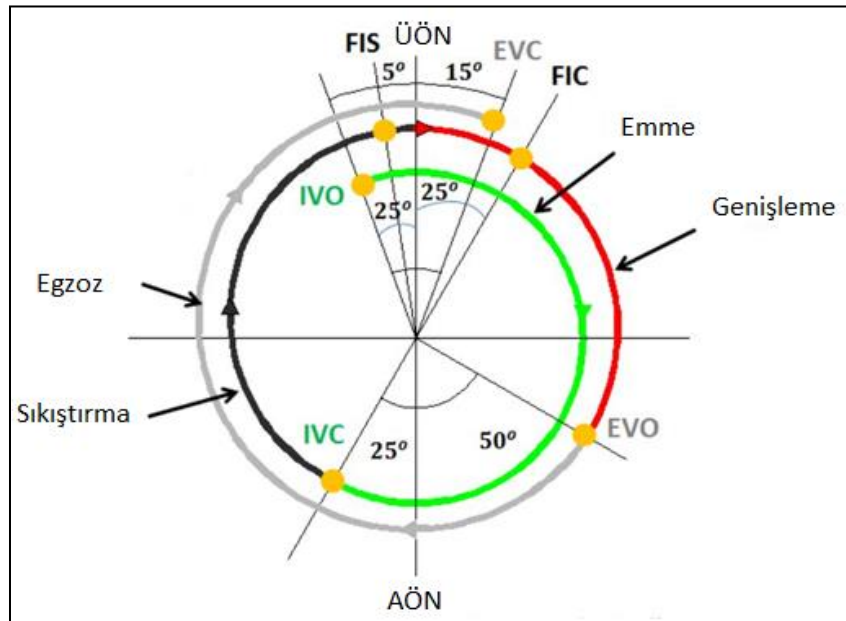


Şekil 2. 16 Supap zamanlaması teorik ve gerçek çevrim

Şekil 2.16’da ifade edilen görselde görülebileceği üzere, genişleme stroğunun sonunda, egzoz supabı piston AÖN’ya ulaşmadan yaklaşık 160 KA° zamanlamada açılmakta ve emme stroğu başlangıcında, piston ÜÖN’den AÖN’ya hareket ederken yaklaşık 380 KA° zamanlama da kapanmaktadır. Emme supabı da, egzoz stroğunun sonuna doğru yaklaşık 340 KA° ’da açılırken, sıkıştırma stroğunun başlangıcında piston AÖN’dan ÜÖN’ya hareketine başladıktan kısa bir süre sonra, yaklaşık 560 KA° de kapanmaktadır. Supap açılma ve kapanma zamanlamaları, mühendisler arasında genellikle Çizelge 2.1’deki gibi veya Şekil 2.17’deki gibi ifade edilmektedir.

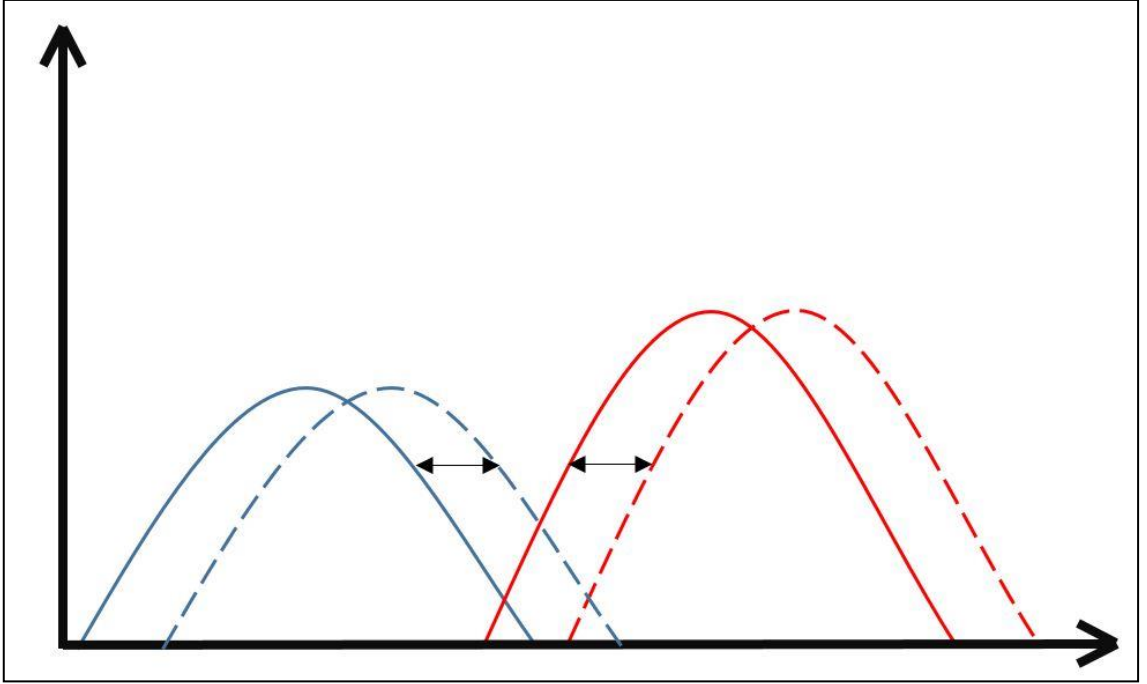
Çizelge 2. 1 Tipik supap zamanlaması tablo gösterimi

Supap Zamanlaması	
Emme Supabı Açılma (IVO)	20 KA° – AÖN’dan önce
Emme Supabı Kapanma (IVC)	20 KA° – AÖN’dan önce
Egzoz Supabı Açılma (EVO)	20 KA° – AÖN’dan önce
Egzoz Supabı Kapanma (EVC)	20 KA° – AÖN’dan önce



Şekil 2. 17 Supap zamanlaması diyagram gösterimi

Supap zamanlaması, geleneksel supap sistemlerinde, krank mili ile supaplar arasında kurulu olan kinematik zincirle sabit olarak belirlenmiş ve motor çalışma haritasına göre değişkenlik göstermeyen bir parametredir. Genellikle motorun güç isterini sağlayacak şekilde sürüş çevriminde en çok kullanılan motor performans haritası için optimize edilir. Ancak supap zamanlaması ve zamanlama profili, motorun çalışma haritası boyunca farklılık gösterilerek tüm motor haritası boyunca optimize edilebilir. Bu sayede her türlü çalışma ve yük koşulunda supap zamanlaması en optimum şekilde çalışarak motorun özgül yakıt tüketiminin azaltılmasına ve yüksek güç ihtiyacı durumlarında da gerekli olan supap zamanlamasını sağlayarak silindirlerin daha iyi hava doldurulmasını sağlayıp motor performansının arttırılabilmesine olanak tanır. Şekil 2.18’de örnek bir supap profilinin zamanlamasının kaydırılması gösterilmektedir.



Şekil 2. 18 Supap zamanlaması değişimi

Supap hareketinin zamanlamasının kaydırılması işlemi, zamanlamanın ileriye doğru veya geriye doğru alınmasını ifade eder. Supap zamanlamasının motor KA° zamanlamasında ileriye alınmasına avans geriye alınmasına da rötar adı verilir. Buna göre supaplar belirli bir KA° derece olarak rötar veya avans edilir.

Motor düşük yük, düşük hızda çalışırken supap zamanlaması: Düşük motor hızı hava hareketlerinin düşük olması anlamına gelmektedir, aynı zamanda düşük yük silindir

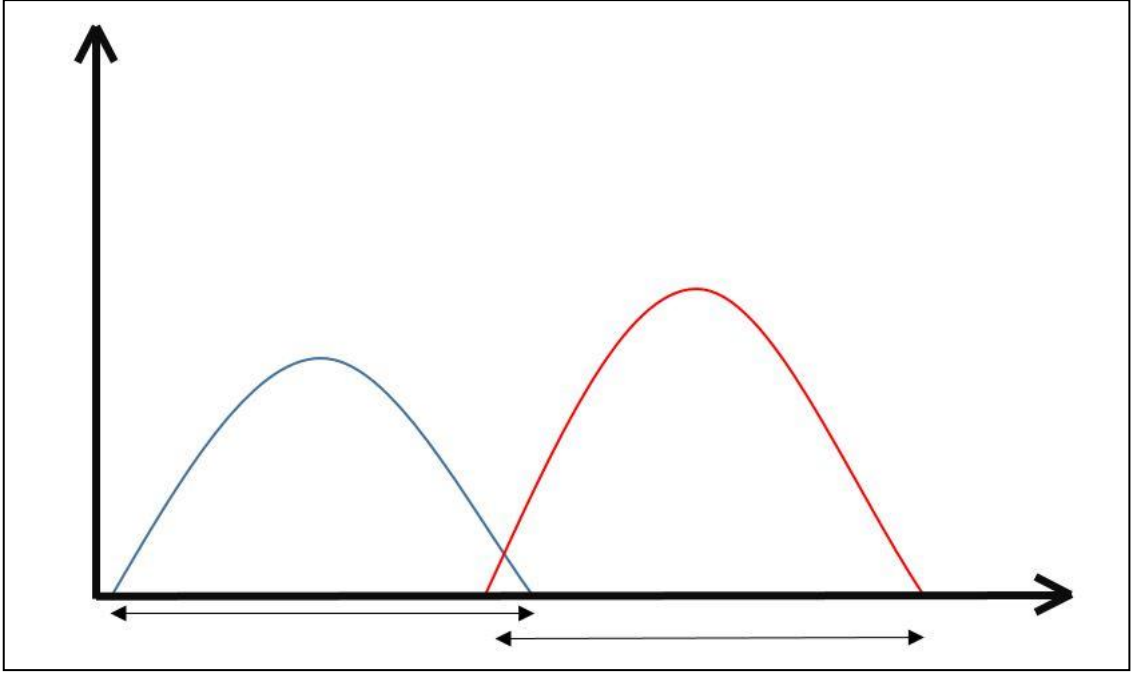
içerisinde oluşması ihtiyaç duyulan yanma kuvvetinin de az oluşması için daha az hava ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir. Düşük hava hızlarında ve miktarlarında yanma stabilitesi için emme supapları zamanlamasına maksimum rötar, egzoz zamanlamasına ise maksimum avans verilir.

Motor düşük hız, yüksek yükte çalışırken supap zamanlaması: Supap zamanlaması bu koşulda düşük olan hava hareketlerinden ve yüksek tork ihtiyacından dolayı egzoz supap zamanlamasına rötar verilir, bu sayede genişleme stroğunun daha uzun olması sağlanarak daha fazla iş elde edilir.

Motor yüksek hız, yüksek yükte çalışırken supap zamanlaması: Yüksek motor hızında silindir ve portlardaki hava hareketi azalır ancak havanın silindir içerisine girmesi için daha az zaman kalır, yüksek güç ihtiyacından dolayı ise silindir içerisine alınması gereken hava miktarı fazladır. Silindir içerisine alınan havanın yüksek miktarda olması ve volumetrik verimin arttırılması amacıyla emme supaplarına bir miktar rötar verilir, egzoz supaplarına ise bir miktar avans verilir.

2.4.2 Supap açıklık süresi

Supabın açılma ve kapanma zamanlamaları arasında kalan kısım supap açıklık süresi olarak ifade edilir. Emme portundan silindire hava geçiş süresi emme supabı açıklık süresiyle, silindirden egzoz portuna geçiş de egzoz gazı açıklık süresi ile kontrol edilir.



Şekil 2. 19 Supap zamanlaması değişimi

Motor hızı arttıkça, silindire giren ve çıkan hava hareketleri için daha az zaman kalır. Bu durum yeterince hava alınamamasına neden olarak yeterince

2.4.3 Supap açılma miktarı

Supap açılma miktarı, supabın kapalı konumdan tam açık konuma kadar ne kadar miktarda açıldığını ifade eder. Temel olarak supabın fazla açılması silindire daha fazla hava alınabilmesini sağlar, ancak düşük motor hızlarında ve düşük motor yüklerinde supabın fazla açılmasına gerek olmaz. Optimize edilen bir supap sisteminde supap açıklık miktarı her bir motor hız ve güç durumuna göre termodinamik olarak optimize edilerek maksimum verimlilik sağlanabilir.

2.4.4 Değişken Supap Sistemi Tasarım Metotları

Değişken supap sistemi tasarımları, supap sistemi karakteristiklerinin ne ölçüde değişeceğine göre çeşitlenmektedir. Bazı tasarım örnekleri supap sisteminde sadece supap zamanlamasını değiştirmekte, bazıları ise supap açıklık miktarını değiştirmektedir. Supap sisteminin tüm karakteristiklerinin de sürekli değişken olduğu tasarımlar da

bulunmakta ve bu sayede motorun tüm çalışma haritası boyunca değişken supap sistemi elde edilebilmektedir.

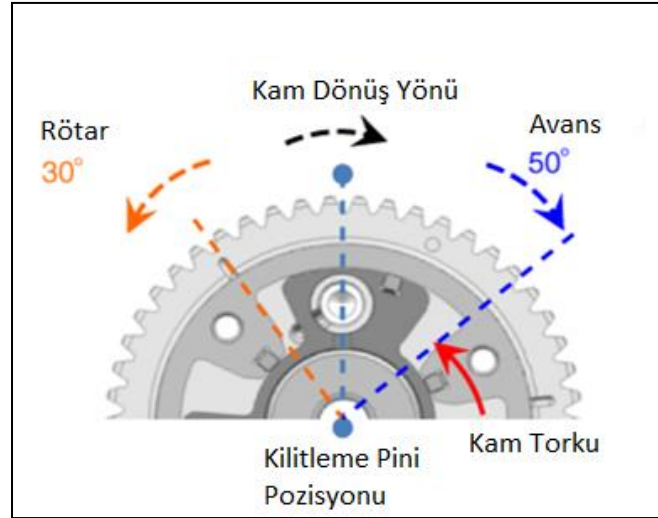
2.5 Değişken Supap Sistemi Tasarımları

Değişken supap sistemi tasarımları, supap sistemi karakteristiklerinin ne ölçüde değişeceğine göre çeşitlenmektedir. Bazı tasarım örnekleri supap sisteminde sadece supap zamanlamasını değiştirmekte, bazıları ise supap açıklık miktarını değiştirmektedir. Supap sisteminin tüm karakteristiklerinin de sürekli değişken olduğu tasarımlar da bulunmakta ve bu sayede motorun tüm çalışma haritası boyunca değişken supap sistemi elde edilebilmektedir. Supap sisteminde değişkenlik ihtiyacı motor tiplerine göre değişmekte ve motordan beklenen diğer fonksiyonel karakteristiklere göre belirlenmektedir. Özellikle günümüzde seri üretim motorlardaki maliyet azaltma baskısı nedeniyle supap sisteminde kullanılan değişken supap sistemi mekanizmaları da maliyet ve performans dengesi göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Değişken supap sistemleri genellikle supap sistemi kinematik zinciri içerisinde supabın farklı çalışma profilini sergilemesi için değişken kamlar ve bu kamların birbiri arasında geçişini sağlayan mekanizmalardan oluşur. Bu mekanizmalar mekanik olarak daha önceden belirlenen bir hıza ulaştığında devreye girerek daha önce tanımlanmış olan supap profillerinin elde edilmesini sağlar. Motor kontrol ünitesi ve elektronik sensör gruplarının motorda kullanımının yaygınlaşması ile, yük ve hız algısı ve sürücü araç kullanma profilini analiz eden MKÜ, supap sistemi çalışma profilini de anlık olarak tüm bu sensörlerden aldığı verilere göre ayarlayabilmektedir. Buna göre motor çalışma haritasının içerisinde daha geniş bir kapsamda supap sistemi çalışmaktadır. Daha az elektronik sistemler barındıran değişken supap sistemlerinde ise genellikle kademeli supap profili özelliği bulunmaktadır. Örneğin Honda VTEC teknolojisinde supap sistemi belirli bir hızı aştığı anda, bir pimin hidrolik basınç ile kontrol edilerek itilmesi ve bir kilit mekanizması ile kam milinin aktive ettiği makara izleyicisinin farklı çaptaki bir izleyici ile yer değiştirmesini sağlar. Bu sayede yüksek hızlar için daha farklı bir kinematik bir zincir ve supap profili elde edilmiş olunur. Günümüzde ise motorların ihtiyaç duyduğu değişkenlik daha geniş bir motor haritasına yayılmasıyla ve gelişen sensör ve aktüatör teknolojisi ile elektronik aktüatörler ve elektro-hidrolik aktüatörler daha fazla çalışma aralığı sunmaktadır.

2.5.1 Varyatör Sistemi - Fazlama

Supap zamanlaması kontrolleri genellikle kam millerinin krank mili vasıtasıyla sürüldüğü kam mili dişlisine yerleştirilen varyatörler vasıtası ile yapılmaktadır. Bu varyatörler kam mili hareketi esnasında hidrolik yağın varyatör içerisine alınması ve varyatörden boşaltılması yardımıyla kam milinde fazlama sağlayarak kam mili hareket zamanlamasının krank miline göre ileri veya geriye alınmasını sağlar. Varyatör içerisine giren yağ bir solenoid valf sayesinde kontrol edilir, solenoid valf MKÜ'den gelen sinyale göre açılarak varyatöre giden yağı kontrol eder. Varyatörler supap sisteminde sadece supap zamanlamasının ayarlanmasını yani fazlama görevinin gerçekleştirilmesini sağlar. Varyatöre giden yağın elektronik olarak kontrol edilebilmesi nedeniyle, sürekli kontrol edilebilir. Tipik bir varyatör sistemi temel olarak birkaç alt parçadan oluşur;

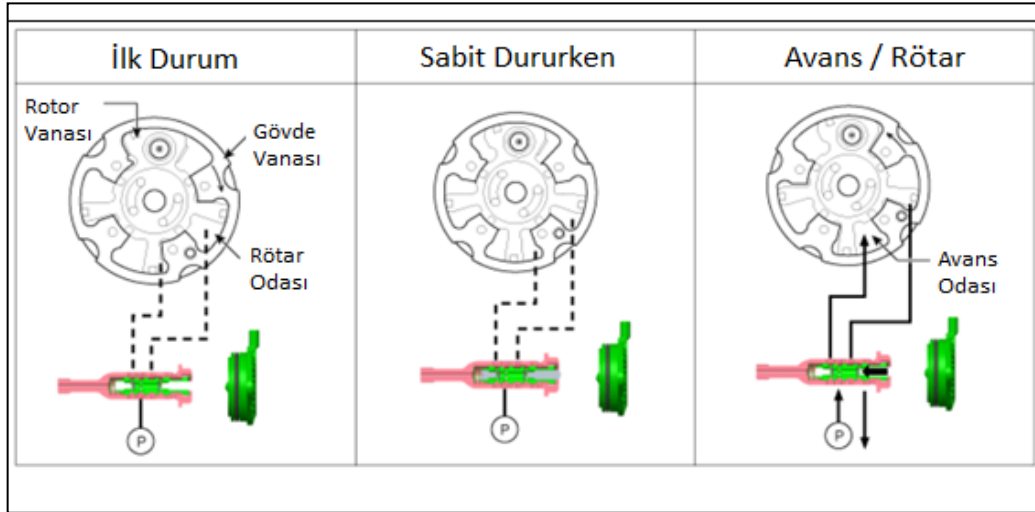
- Kam fazlayıcı varyatör,
- Solenoid yağ kontrol valfi
- Yağ sıcaklık ölçüm sensörü



Şekil 2. 20 Varyatör, avans ve rötar durumları

Varyatör sisteminin kam mili zamanlamasını avans veya rötar sağlaması, varyatör rotoru ve gövdesi arasına hidrolik yağın dolması ile kontrol edilir. Şekil 2.21'de gösterilen örnekteki gibi, kontrol valfi normal çalışma durumunda varyatör rotorunun orta pozisyonda durmasını sağlar, bu noktadan sonra supap sisteminin avans veya rötar

hareketini sağlaması için, rotor ile gövde arasında bulunan avans ve rötör hacimlerinden hangisine yağ akışı sağlanacağı kontrol valfi ile kontrol edilerek sağlanır. [5]



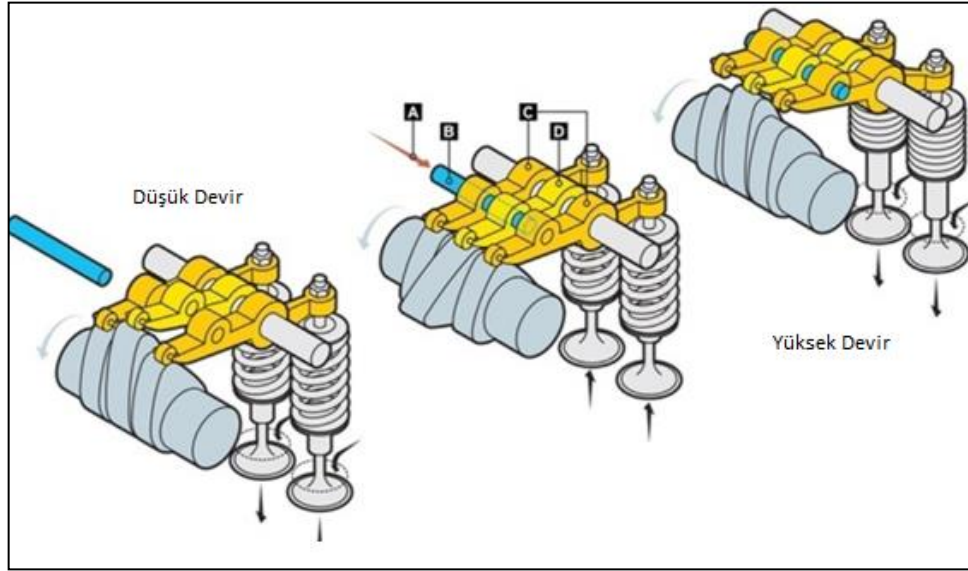
Şekil 2. 21 Varyatör, avans ve rötör durumları

Varyatör sistemleri binek araçlarda oldukça yaygın kullanılmaktadır, birçok motor ve araç üreticisinin sahip olduğu patentli sistemler bulunmaktadır. Binek araçlarda yaygın olarak yer alan OHC konfigürasyonu, egzoz ve emme kam millerinin ayrı olması sistemin uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Bu sayede 2 adet kam mili olan DOHC motorlarda egzoz ve emme kam milleri varyatörler ile ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Tek kam mili olan araçlarda egzoz ve emme kamları aynı kam mili üzerinde yer aldığı için egzoz ve emme supap zamanlamaları ayrı ayrı kontrol edilemez ve bu nedenle varyatör sistemi kullanılamaz.

2.5.2 Kam Değiştirme

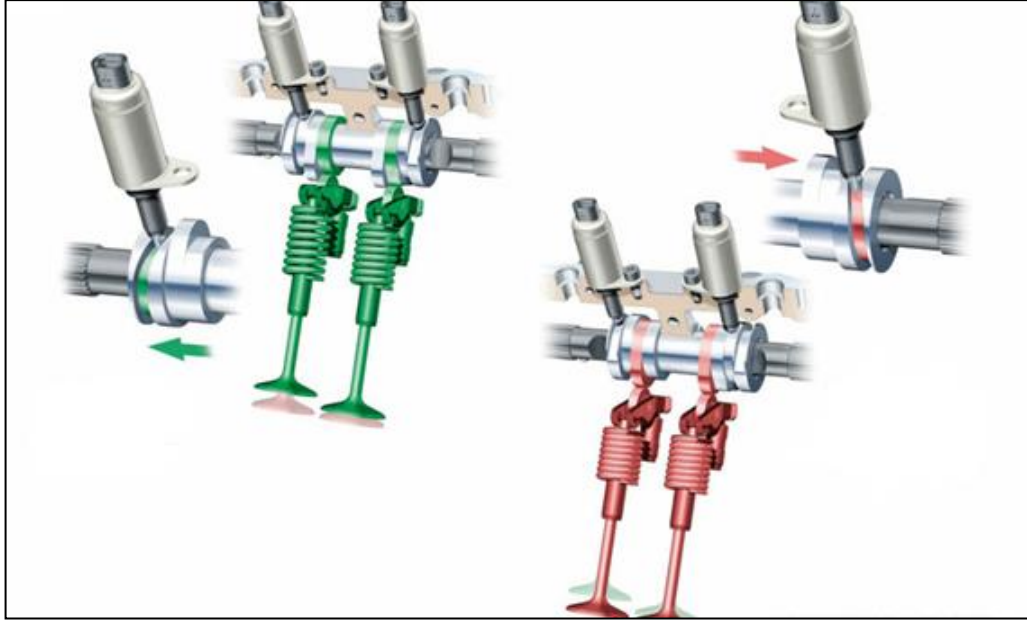
Bir diğer değişken supap sistemi mekanizması olan kam değiştirme yöntemine sahip tasarımlarda temel yöntem, kam tarafından tahrik edilen supapların daha farklı bir profile göre tasarlanan kam ile tahrik edilmesidir. İki farklı kam geometrisi motorun farklı çalışma profilleri için optimize edilir ve bir geçiş mekanizması ile ihtiyaç duyulduğu anda supapları tahrik eden kamlar arası geçiş sağlanır. Sistem genellikle önceden tanımlanmış kam profilleri arasında geçişi sağladığından sürekli bir değişkenlik sağlamamakta, sadece kademeli bir değişkenlik sağlamaktadır. Şekil 2.22’de yer alan örnekteki gibi, ilk durumda supaplar küçük kamlar ile tahrik edilmekte iken, belirli bir hızda hidrolik yağ basıncı ile

bir pim, 3 iticiyi birleştirerek ortadaki iticinin aktif olmasını sağlar, pim sayesinde tek bir gövde gibi davranan iticiler, yüksek profilli büyük kam ile tahrik olur, bu sayede kam değiştirme sağlanarak daha yüksek hızlarda ihtiyaç duyulan kam profiline, genellikle yüksek supap açıklık miktarına ve sahip olur.



şekil 2. 22 Kam değiştirme yöntemi [6]

Kam değiştirme metotları üreticilerin sahip olduğu ve diğer üreticiler için kısıtladığı patentli tasarımlar nedeniyle farklılık göstermektedir. Benzer şekilde farklı kamların kullanılmasını sağlayan diğer bir tasarım örneği de, kam mili içerisinde aksel olarak kamların hareket etmesini sağlayan ve bu sayede supapların farklı bir kam ile tahrik edilmesini sağlayan eş aksenli kayar kam ve şaft mekanizmalarıdır. Bu konseptte, kamlar bir bilezik gibi kam mili merkezindeki bir şaft üzerinde aksel olarak kaymaktadır. Kamların kayma hareketini sağlayan kam üzerinde yer alan spiral olukların aksel harekete neden olmasını sağlayan solenoid aktüatörlerdir. Bu aktüatörler aktif edildikleri zaman bir pim kamların hareket ettiği bilezik üzerindeki spiral oluğa girerek bileziğin aksel olarak kaymasını sağlar. Farklı kamlar aynı bilezik üzerinde aksel olarak sıralı yerleştirildiğinden, bileziğin aksel hareketi ile supapları hareket ettirerek kamlar değişir. Hareketin başındaki kam boşa çıkarak, diğer kamın supapları tahrik etmesi sağlanır.



Şekil 2. 23 Eş eksenli kayar kam mekanizması – Audi Valvelift [7]

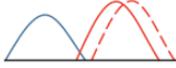
2.5.3 Hidrolik – Elektromanyetik Kontrol

Varyatör sistemi ve kam değiştirme yöntemlerinin kademeli bir değişkenlik sağlaması ve kısıtlı bir supap sistemi çalışma parametresini değiştirmesi nedeniyle daha fazla değişkenlik sağlayan sistemler de kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak elektromanyetik kontrollü aktüatörler ve hidrolik sisteme sahip elektro hidrolik mekanizmalar örnek verilebilir. Bu mekanizmalar basitçe hidrolik bir aktüasyon sağlayan hidrolik silindirden ve bu hidrolik silindirin hareketini yöneten kontrol valflerinden oluşur. Kontrol valfleri ise MKÜ tarafından yönetilir. MKÜ motor çalışma haritası içerisinde bulunan operasyon noktasına uygun supap profilini hesaplar ve anlık olarak bu profilin uygulanmasını sağlar.

Fazla sayıda elektronik aktüatör içeren elektro hidrolik ve elektromanyetik supap sistemleri, maliyetleri nedeniyle günümüzde seri üretim motorlarda çok kullanılmamaktadır. Ancak her gelişen teknolojinin zamanla maliyetinin düşmesi gibi, elektronik komponentlerin otomotiv seri üretim adetleriyle ucuzlamasıyla elektro hidrolik supap sistemi tasarımlarının daha yaygınlaşması beklenmektedir. Varyatör veya kam değiştirme gibi sistemlerle karşılaştırıldığında maliyeti yüksek olmasına rağmen motor performansına etkisi elektro hidrolik sistemlerin daha yüksektir. Çizelge 2.2’de değişken supap zamanlaması yöntemlerinin supap karakteristiğine etkileri, supap

sisteminde değiştirdiği karakteristikler ve sistemlerin motor performansına etkisi maliyet bilgileri ile karşılaştırılmıştır. [8]

Çizelge 2. 2 Değişken supap sistemi tipleri

Tip	Supap Hareket Karakteristiği	Fazlama	Açılma	Deaktivasyon	Sürekli Kontrol	Motor Performansı	Maliyet
Supap Zamanlama Kontrolü		✓	✗	✗	✓	Düşük	Düşük
Kam Değiştirme		○	✓	✓	✗	Orta	Orta
Değişken Supap Açıklık Kontrolü		○	✓	✓	✓	Orta	Orta
Hidrolik – Elektromanyetik Aktüatör		✓	✓	✓	✓	Yüksek	Yüksek

Değişken supap sistemleri araç ve motor üreticileri için birçok motorun ticari ismine etki etmiştir. Patentler dolayısıyla farklı tipte tasarımlar ortaya çıkmış ve üreticiler bu tasarımlara farklı farklı ticari isimler vermişlerdir. Değişken supap zamanlaması olan motorlar motor isimlerinde bu sisteme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Günümüzde nerdeyse tüm popüler motor üreticilerinin değişken supap sistemi tasarımları olup bu tasarımlara verdikleri ticari isimler ve bu tasarımları hangi tip değişken supap sistemine sahip oldukları Çizelge 2.3’de listelenmiştir.

Çizelge 2. 3 Üreticilerin kullandığı supap sistemi konseptleri ve ticari isimleri

Üretici	Değişken Supap Sistemi	Çalışma Prensibi
Honda	VTEC	Kam Değiştirme
Toyota	VVT-i	Supap Zamanlama Kontrolü
Audi	Valvelift	Kam Değiştirme
Ford	VCT	Supap Zamanlama Kontrolü
Porsche	Variocam	Kam Değiştirme & Değişken Supap Açıklık Kontrolü
Subaru	AVLS	Kam Değiştirme
Nissan	CVTCS	Supap Zamanlama Kontrolü
Fiat	MultiAir	Değişken Supap Açıklık Kontrolü
BMW	Vanos	Supap Zamanlama Kontrolü

ELEKTROHİDROLİK SUPAP SİSTEMİ

Elektro hidrolik supap sistemi, supap hareketlerini elektronik kontrollü bir hidrolik sistem vasıtasıyla sağlar. EHSS tasarım isterleri farklı tiplerde motorlar için konfigüre edilebilir.

Değişken supap sistemi olarak elektro hidrolik sistemin kullanılmasının avantajları;

- Yüksek supap sistemi yüklerinde çalışabilme,
- Yüksek supap sistemi hızlarında çalışabilme,
- Farklı hız ve yüklerde çalışabilme
- Hassas kontrol edilebilirlik,
- Hidrolik sistemlerin yaygın kullanımı
- Çeşitlilik

Olarak sıralanabilir. Hidrolik bir sistemin getirdiği dezavantajlar da bulunmaktadır. Böyle bir hidrolik sistemin getireceği dezavantajlar ise;

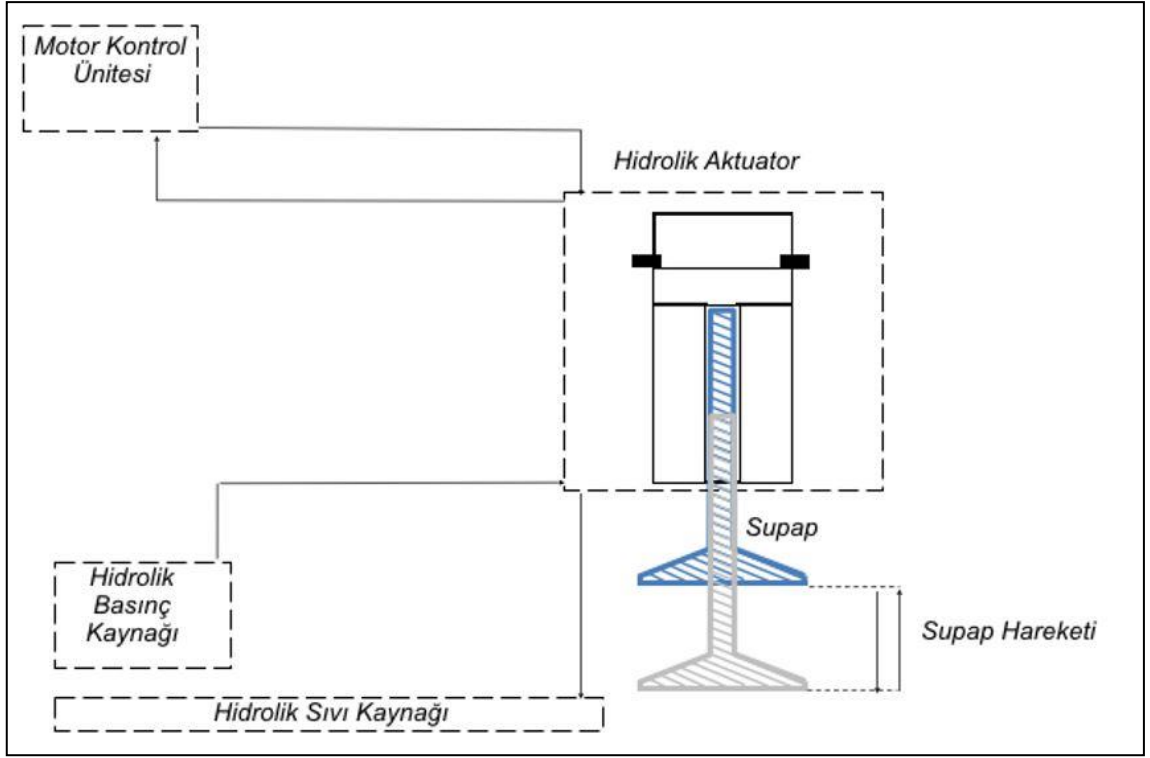
- Sistemde sızıntı
- Sıcaklığa karşı değişkenlik
- Güvenlik
- Maliyet

Olarak sınıflandırılabilir. Bir hidrolik sistem olan EHSS sistemi kullanılan konfigürasyona bağlı şekilde farklı tipte parçalardan oluşabilir. Temel olarak bu parçalar hidrolik sıvının tank içerisinde alınıp temizlenmesi, soğutulması, basınçlandırılması, kontrol edilmesi ve tekrar tanka geri dönmesini sağlayacak çeşitli parça ve sistemlerden oluşur. Bu parçalar;

- Hidrolik silindir
- Hidrolik Pompa
- Kontrol valfleri
- Hidrolik Yağ Tankı
- Borular
- Soğutma ve Filtreleme parçaları

Şeklinde sıralanabilir. EHSS elemanları olarak birçok hidrolik devre elemanı, motor yağlama sistemiyle entegre çalışarak sistem içerisindeki yağı kullanır ve motor yağlama sisteminin haricince hidrolik sistemi için yağ tankı, soğutucu, filtre parçaları gibi parçalara ihtiyaç duyulmaz.

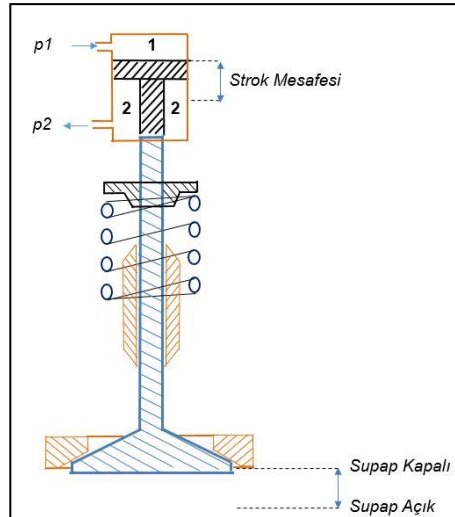
Tipik bir EHSS supapları hareket ettiren bir hidrolik silindir, bu silindire yağ akışını kontrol eden kontrol valflerinden oluşur. Sistem MKÜ'ne bağlı olarak çalışır. MKÜ sistem operasyon noktalarına göre ve aynı zamanda EGSS sisteminde supap pozisyonunu ölçerek uygun supap profilini hesaplar ve buna göre hidrolik kontrol valflerine gerekli sinyalleri iletir. Tipik bir EHSS'ne ait yerleşim Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3. 1 Elektro hidrolik supap sistemi

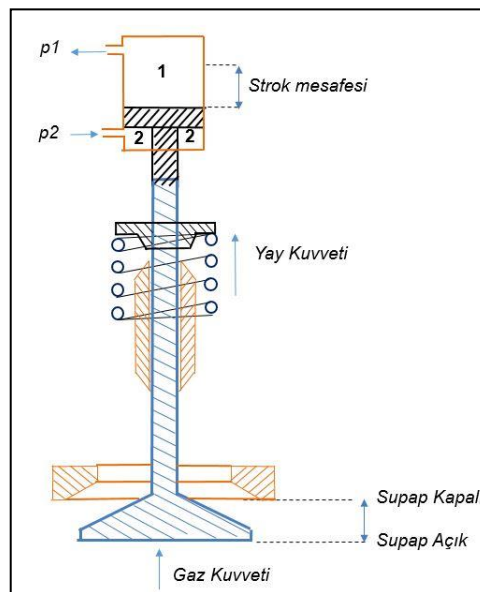
3.1 Çalışma Prensibi

EHSS basitçe supapların kam milinden aldığı hareketi bir hidrolik silindirden almasını sağlamaktadır. Hidrolik silindir ve piston mekanizması hidrolik devrenin yardımıyla supapların açılmasını, kapanmasını ve belirli bir pozisyonda sabit tutulmasını sağlar. Şekil 3.2’de şematik olarak bir hidrolik piston ve supap mekanizması gösterilmektedir. Hidrolik silindir içeresine supabın açılma yönüne doğru hidrolik basınç uygulayan p_1 basıncı ve supapın kapanma yönüne doğru silindire etki eden p_2 basıncı bulunur. Hidrolik silindir p_1 ve p_2 basınçlarının dinamik olarak kontrol edilmesiyle supabın belirtilen strok mesafesi arasındaki hareketini sağlar. Supabı hareket ettiren hidrolik silindir ve piston mekanizmasında farklı tipte tasarımlar kullanılabilir. Tasarımlar özellikle supabın hareketini sağlayan silindir tipi, supap kapanmasında yay kuvvetinde faydalanıp faydalanmayacağı gibi farklılıklar bulunmaktadır. Hidrolik devre tasarımı bölümünde farklı tipte tasarım örnekleri incelenmiş ve uygun bir hidrolik devre tasarımı yapılan tasarım karar matrisleri sonucunda belirlenmiştir. Hidrolik basınç altında supap açılmaya başlarken hidrolik silindir ve supap konumu Şekil 3.2’deki gibidir. Uygulana p_1 basıncı piston aşağıya doğru ittirerek supabın açılmasını sağlar.



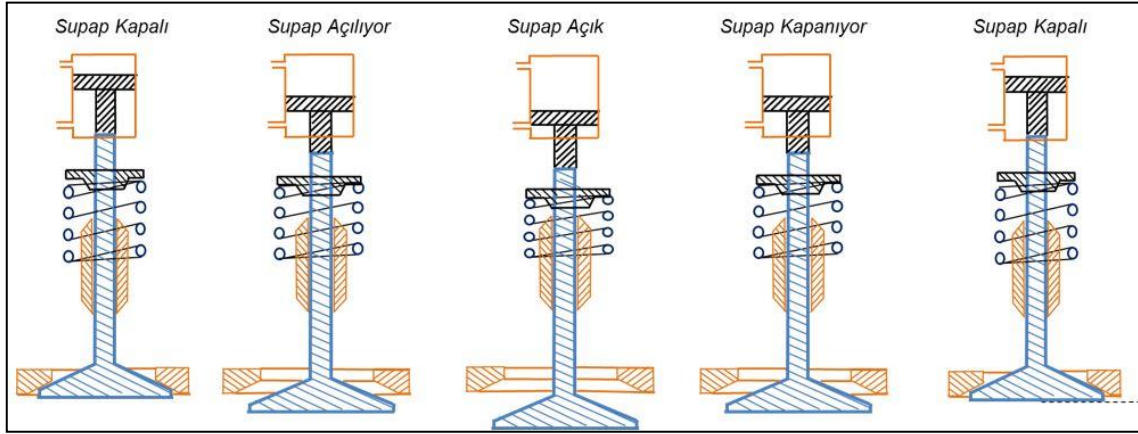
Şekil 3. 2 Hidrolik silindir ve supap şematik

Hidrolik silindir alanına uygulanan basınç ve pistonun 1 ve 2 numaralı bölgelerindeki piston kesit alanı farklılığı yardımıyla da piston aşağıya inerek supabı açar. Supap kapanma hareketi esnasında ise kullanılan hidrolik devre konseptine bağlı olarak, 1 numaralı odada bulunan hidrolik basıncın alınması veya 2 numaralı odada bulunan hidrolik basıncın oluşturduğu piston itme kuvveti 2 numaralı odada bulunan basıncın pistonu itme kuvvetinden fazla olmalıdır. Bu şart sağlandığında eğer bir supap yayı da kullanılıyor ise, supap yayının da oluşturduğu kuvvet, sistemi supabı kapatacak yönde harekete ettirir.



Şekil 3. 3 Supap kapanma hareketi

Şematik olarak hidrolik pistonun supapları hareket ettirmesiyle tipik bir supa hareketi, supabın açılıp kapanmasına geçen aşamalarla Şekil 3.4'deki gibi ifade edilebilir. Bu örnekte supa yayı da kullanılıp, supap kapanma esnasında bir geri çağırma kuvveti oluşturulmuştur.



Şekil 3. 4 Supap çevrimi boyunca supap hareketi

Hidrolik silindir içerisinde bulunan hidrolik pistonun hareketini sağlayan bir hidrolik basınç kaynağı sistem kullanılmalıdır. Bu sistemi bir veya birden fazla kontrol valfi ile kontrol edilerekten motor zamanlaması, supap açıklık miktarı veya supap sistemini diğer fonksiyonel karakteristiklerine uygun olarak hidrolik silindir içerisindeki hidrolik sıvı giriş çıkışını kontrol eder. Sistemin geniş bir motor çalışma aralığı içerisinde kullanılabilmesi için gerekli olan değişkenlik, kullanılan kontrol valflerinin değişken ve sürekli kontrol edilebilen valfler olmasıyla veya hidrolik basınç kaynağının bir değişken debili pompa ile beslenmesiyle sağlanabilir. [9] Tüm bu pompa ve kontrol valflerinin teknik isterlerde belirtilen motor hızlarında ve supap hareket profilleri içerisinde tekrar edilebilirliği çok iyi derecede olacak şekilde motor içerisinde performans ve dayanıklılık göstermesi gerekmektedir. Şekil 3.5'de örnek bir değişken debili pompa gösterilmektedir;



Şekil 3. 5 Rexroth A10VO serisi değişken debili hidrolik pompa

BÖLÜM 4

KAVRAMSAL TASARIM

Ürün geliştirme süreçlerinin ilk aşamalarında olan kavramsal tasarım sürecinde, referans alınan bir içten yanmalı motor için elektro hidrolik supap sistemi kavramsal tasarımı yapılacaktır. Kavramsal tasarım sürecinin başında tasarlanacak sistemi için teknik gereksinimlerin belirtilmesi gerekmektedir. Referans motor için teknik gereksinimler, işlevsel ve fonksiyonel gereksinimler tanımlanacak ve buna uygun kavramsal tasarım çözüm önerileri oluşturulacak ve kavramsal tasarım çözümü aranacaktır. Kavramsal tasarım sürecinde problem olarak ifade edilen elektro hidrolik supap sistemi tasarımı konusu için teknik gereksinimler referans motordan örnek olarak verilmiş, ortaya çıkan konseptler hidrolik şemanın seçiminde kriterlerin ortaya koyulması, bu kriterlerin ağırlıklandırılması ve bu kriterler için her bir tasarım konseptinin puanlanması, tasarım karar matrisinde ortaya çıkan puan durumuna göre değerlendirilerek nihai bir hidrolik devre şeması konsepti belirlenecektir.

Kavramsal tasarım sürecinde seçilen hidrolik devre sonucunda simülasyon çalışmaları yapılarak teknik gereksinimlerin doğrulanacağı hidrolik sistem tasarım ve operasyon parametreleri belirlenmiştir.

Kavramsal tasarım ve simülasyon çalışmalarının ileri çalışmalarda yapılacak olan testler ve bu testler sonucu değişken model parametreleriyle birlikte optimize edilmiş sistemin tüm detay tasarımı gerçekleştirilecektir. Yapılacak olan testler ve test sonuçları kavramsal tasarım sürecinde verilen tasarım kararları ve tasarım parametrelerini değiştirebilir.

4.1 Referans Motor Özellikleri

Referans alınan İYM, ticari ağır vasıta araçlarda kullanılan yüksek güç yoğunluğuna sahip, motor freni uygulamasının uygulandığı bir dizel motordur. Kavramsal tasarım süreci boyunca bu referans motor baz alınacak olup, (Çizelge 4.1) referans alınan motorun performans isterleri ve 3-Boyutlu modellemeler için sınır şartları olarak referans motorun tasarım sınır şartları kullanılacaktır.

Çizelge 4. 1 Referans motor teknik özellikleri

Motor Tipi	4 Strok Turbo Dizel	-
Silindir Sayısı	6	-
Motor Hacmi	12,8	L
Maksimum Güç	400	kW
Maksimum Güç Hızı	1800	d/dk
Maksimum Tork	2600	Nm
Maksimum Motor Hızı	2400	d/dk
Çap x Strok	128x166	mm
Supap Sistemi	Kafa üstü, tek kam mili	-
Supap Sayısı	Silindir Başına 4	-
Emme – Supap Çapı	43	mm
Egzoz – Supap Çapı	40	mm
Emme – Supap Açıklığı	11	mm
Egzoz Supap Açıklığı	13	mm

Kavramsal tasarım sürecinde bu motorun referans alınmasıyla ileride yapılacak çalışmalar için elektro-hidrolik supap sisteminin kullanılabileceği bir motor zemini oluşturularak sistemin motor üstündeki performans ve fonksiyonel testlerinin yapılması sağlanabilmektedir. Verilen teknik gereksinimler de bu referans motor teknik isteleri etrafında oluşturulmuştur.

4.2 Teknik Gereksinimler

Sistem tasarımında istenilen fonksiyonel karakteristikler ve fonksiyonel karakteristiklerden türetilen sistem karakteristiklerini sağlayacak şekilde, sistemin tamamını ele alan isteler, önemli sistem parametreleri olarak listelenmektedir. Teknik istelerde belirtilen değerler, operasyonel olarak ihtiyaç duyulan teknik parametrelerdir. Bu parametreler referans alınan motor ve istenilen fonksiyonel karakteristiğın gerektirdiğı şekilde hesaplanmış yahut bilinen sistem limitleri olarak referans alınmıştır.

4.2.1 Supap Açıklık Miktarı

Referans alınan motorun maksimum supap açıklığı emme supabı için 11mm, egzoz supabı için 13mm'dir. Kavramsal tasarımı sürecinde, değışken supap sistemi olarak sistemin maksimum supap açıklığı olan 13mm'ye kadar olan tüm açıklık miktarlarını sağlayacak şekilde kabul edilmiştir.

4.2.2 Supap Açılma / Kapanma Zamanlaması

Supaplar krank mili zamanından bağımsız olarak motor zamanlamasına göre istenilen zamanlamaya ayarlanabilmelidir. Referans motor sabit bir supap zamanlaması grafiğine sahip olduğundan dolayı, referans motordan bir supap açılma / kapanma zamanlaması teknik ister olarak alınmayacaktır.

4.2.3 Supap Kuvvetleri

Referans motorda emme ve egzoz supaplarına gelen kuvvetler referans alındığında, kavramsal tasarım sürecinde supapların açılma yönüne karşı her bir senaryoda verilen zamana bağılı yük grafiklerine maruz kalacağı ister olarak kabul edilmiştir.

4.2.4 Supap Açılma Süresi

Referans alınan motorun maksimum çalışma hızı olan 2400 d/dk hızında, supap açılma süresi 0,014 saniye sürmektedir. Değişken supap sisteminin supap hareketini sağlayacağı en kısa süre kavramsal tasarım sürecinde ister olarak 0,014 s kabul edilmiştir.

4.2.5 Sistem Çalışma Hızı

Kavramsal tasarım sürecinde, değişken supap sisteminin motor çalışma hızı isteri olarak referans alınan motor hızını sağlayabilmesi amacıyla ister olarak sistemin maksimum motor hızı olarak 2400 d/dk hızda çalışabilmesi ister olarak kabul edilmiştir. Sistemde kullanılacak olan hidrolik pompanın da mekanik olarak sabit bir dişli oranıyla krank miline bağlı olduğu varsayılarak, pompa hızları belirlenecektir.

4.2.6 Sistem Çalışma Sıcaklıkları

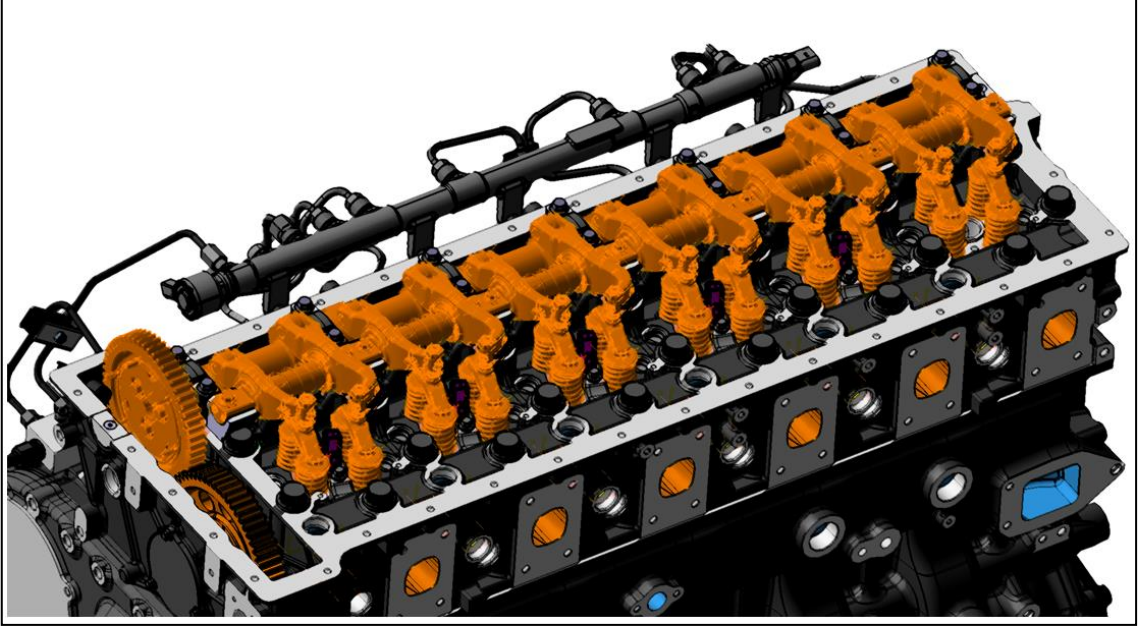
Supap sistemi motorun yüksek ısı transferi olan silindir kafası ve egzoz bölgesine yakın olduğundan dolayı sistemin çalıştığı ortam sıcaklığının yüksek olması beklenmektedir. Çalışma sıcaklığının sistem üzerindeki etkisi farklı çalışma sıcaklıklarında yağın viskozite ve yoğunluk değerlerinin değişmesinden ötürü farklılık göstereceği tahmin edilmekte olup, hidrolik modelde yapılacak analizler neticesinde sistemin bir yağ sıcaklık sensör yahut bir yağ viskozite sensörüne ihtiyaç duyup duymayacağı analiz edilecektir.

4.3 Tasarım Sınır Şartları

Elektro-hidrolik supap sistemi kavramsal tasarımı, referans alınan motorun sahip olduğu konvansiyonel supap sisteminin kaldırılması ve aynı hacim içerisine elektro-hidrolik supap sisteminin tasarlanmasını içermektedir. Çalışmanın amacı, referans alınan motordaki supap sistemi değişikliği nedeniyle motorun dış boyutlarında ve diğer alt sistemleriyle olan entegrasyonunu bozmadan elektro hidrolik supap sistemi konseptini uygulamaya koymaktır.

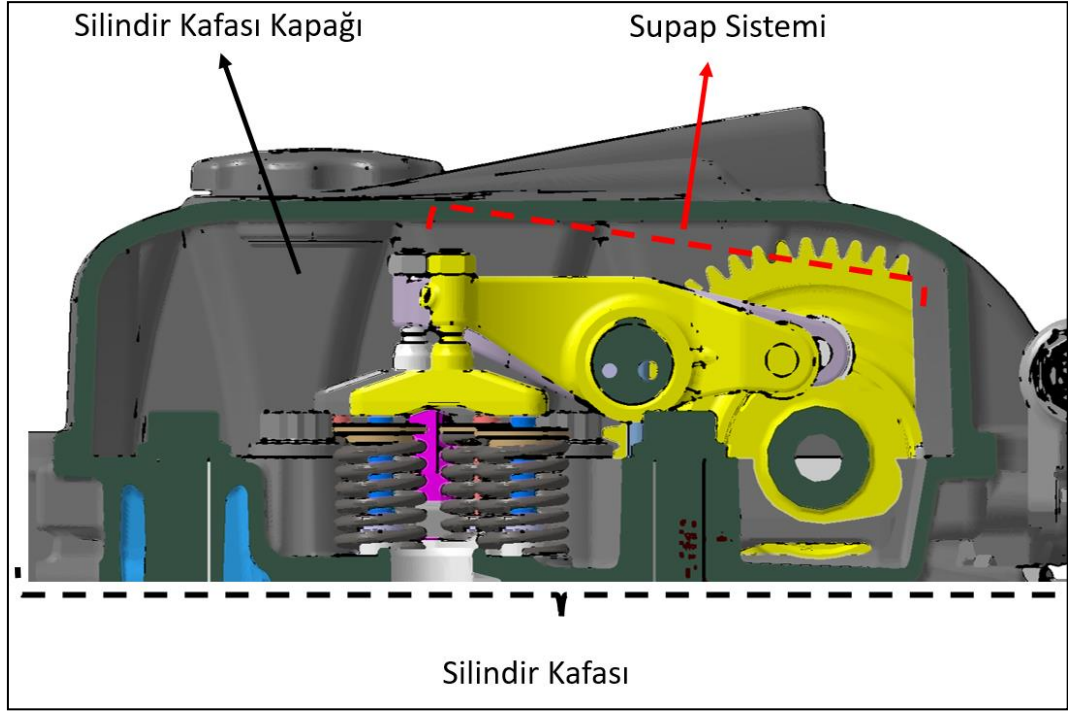
Referans alınan motor, silindir kafası üzerinde yer alan OHC konseptinde sabit geometrili bir supap sistemidir. Her bir silindirdeki emme ve egzoz supapları birer emme ve egzoz külbütör kolu yardımıyla, kam milinin hareketi sağlamasıyla hareket ederler. Kavramsal

tasarımda, Şekil 4.1’de tasarım görüntüsü yer alan ve turuncu renk ile ifade edilen supap sistemi parçalarının, kam milinin tahrik eden dişlileriyle beraber kaldırılması ve aynı alan içerisine elektro hidrolik supap sisteminin tasarlanması amaçlanmaktadır.



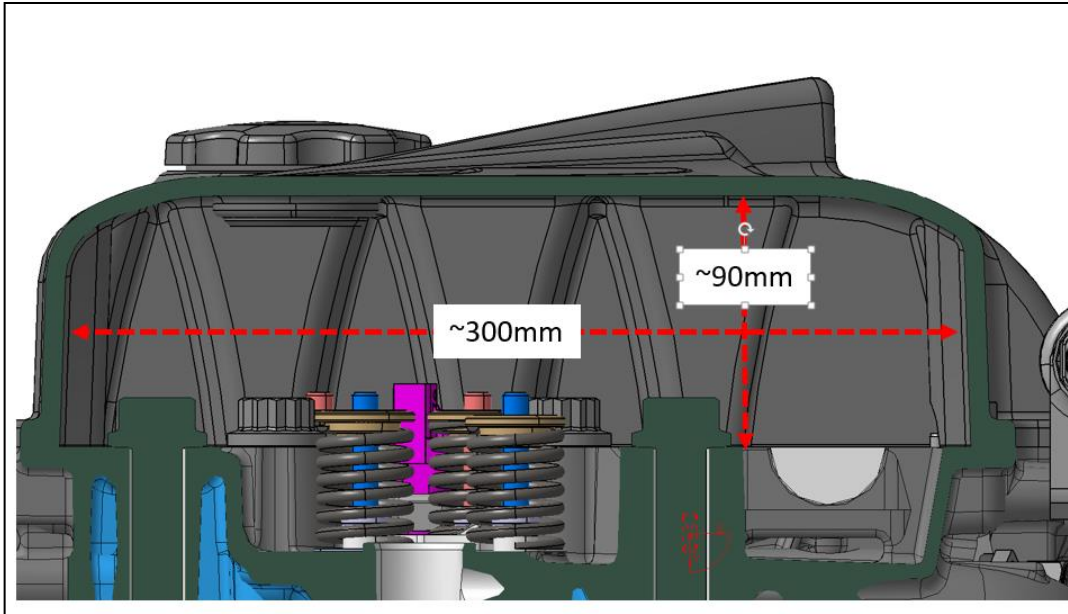
Şekil 4. 1 Referans motor supap ve supap sistemi

Referans alınan motorda supap sistemi silindir kafası üzerinde, silindir kafası kapağı altında yer almaktadır. Motor yüksekliğinin kritik olması ve değişikliğe gidilmemesi amacıyla tasarım hedefi olarak bu hacim alınmıştır. Şekil 4.2’de, krank mili eksenine dik şekilde alınan bir kesitten görülen 3-Boyutlu modelde sarı renk ile ifade edilen supap sistemi komponentleri kaldırılacaktır.



Şekil 4. 2 Referans motor kesiti, silindir kafası, kapağı ve supap sistemi

Referans motordan mekanik supap sistemi kaldırıldığında elektro hidrolik supap sistemi için silindir kafası kapağı altında kalan hacim ve boyutlar Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Kavramsal tasarım aşamasında yapılacak 3-boyutlu modelleme çalışmaları için tasarımın bu hacim zarfı içerisine sığması teknik ister olarak belirlenmiştir.



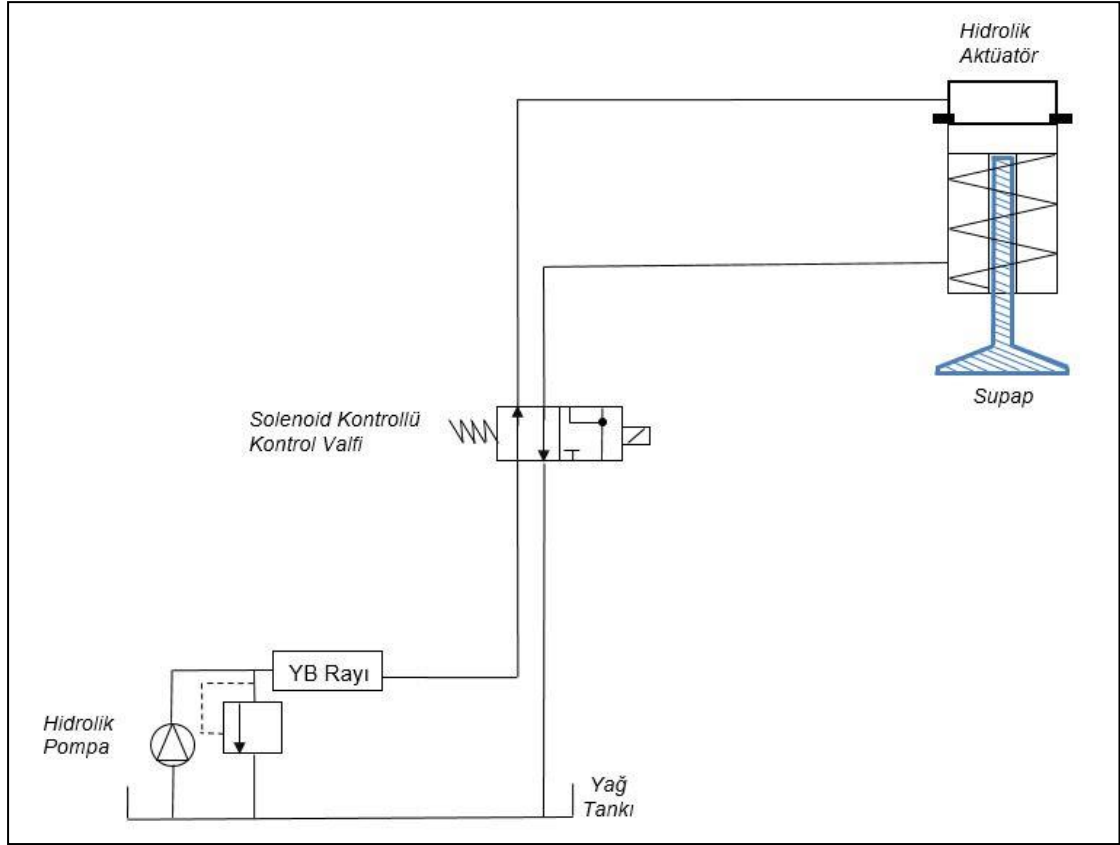
Şekil 4. 3 Tasarım hacmi

4.4 Hidrolik Devre Tasarımı

Elektro-hidrolik supap sistemi tasarımında hidrolik devre tasarımı, supap sistemi gereksinimlerini sağlayacak ve bir içten yanmalı motorda kullanılmaya uygun bir düzene sahip olmalıdır. Sistemin kullanılacak olan referans motora uygun bir paket hacmi içerisine yerleştirilebilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda motor performansı ve dayanıklılığı göz önünde bulundurularak sistemin değerlendirilmesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak kavramsal tasarım sürecinde 3 örnek hidrolik devre tasarımı incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılarak uygun kavramsal tasarım sürecindeki hidrolik devre tasarımı belirlenmiştir.

4.4.1 Hidrolik Devre Tasarım Örnekleri;

Konsept 1 -Tek etkili silindir ve yaylı tasarım: Bu konsept içerisinde supap hareketini tek yönde uygulanan basınç yardımıyla supabın açılması, bu yönde uygulanan basıncın kaldırılarak ve yayın sahip olduğu potansiyel enerjinin yardımıyla supapların kapanmasını sağlanır. Tek etkili silindir konseptinde, solenoid kontrollü bir valf, YB Rayı içerisinde yer alan hidrolik basıncın aktüatör içerisindeki hidrolik silindire iletilmesini sağlar. Supap yayı parçası konvansiyonel olarak supap tablasındaki tırnaklar vasıtasıyla bağlanabileceği gibi hidrolik silindir içerisindeki hidrolik pistonu da yerleştirilebilir. Devrenin kalan elemanları olarak bir sabit debili hidrolik pompa, pompa çıkışında yer alan bir güvenlik valfi, yüksek basıncın depolandığı bir yüksek basınç rayı ve yağ tankından oluşur.

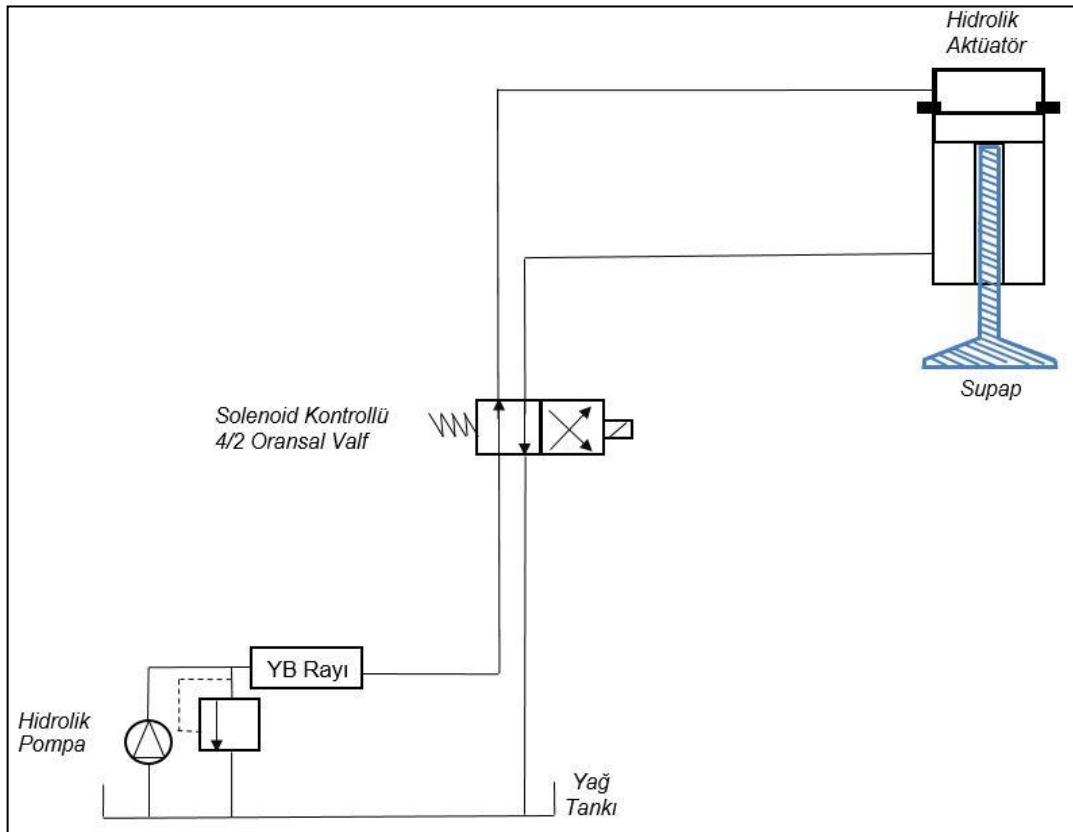


Şekil 4. 4 Tek etkili silindir ve yaylı tasarım örnek devre şeması

Birinci konsept olarak tek etkili silindir ve yaylı tasarım devre elemanlarının sayısının azlığı nedeniyle basit bir hidrolik sistem tasarımı sunmaktadır. Ancak sistemde supap kapanma hareketi yay kuvveti vasıtasıyla ve supap hareket yönünde uygulanan hidrolik basıncın silindirden boşaltılma hızına bağlı olduğundan, sistem özellikle supabın kapanma yönünde sahip olması gereken ivmeleri limitler. Supap kapanma ivmesini bu durumda yay katsayısı ve supap kapanması esnasında supabın sahip olduğu potansiyel enerji belirler. Bu durumda farklı çalışma koşulları içerisinde sistemin optimize edilmemesine neden olur. Supap oturma hızının da belirli bir aralıkta limitlenmesine de neden olan yay kuvveti, farklı motor koşulları için değişken bir supap oturma hızı kontrolü ve supap kapanma yastıklaması hareketlerini gerçekleştiremez, sadece belirli bir çalışma aralığında kontrol edilebilir.

Konsept 2 – Çift etkili silindir – oransal kontrol valfi: Çift etkili silindir konseptinde, supabın bağlı olduğu hidrolik silindir çift etkili olup supap açılma hareketi yönünde ve supap kapanma hareketi yönünde basınç uygulanmasıyla hareket eder. Konsept 1- de

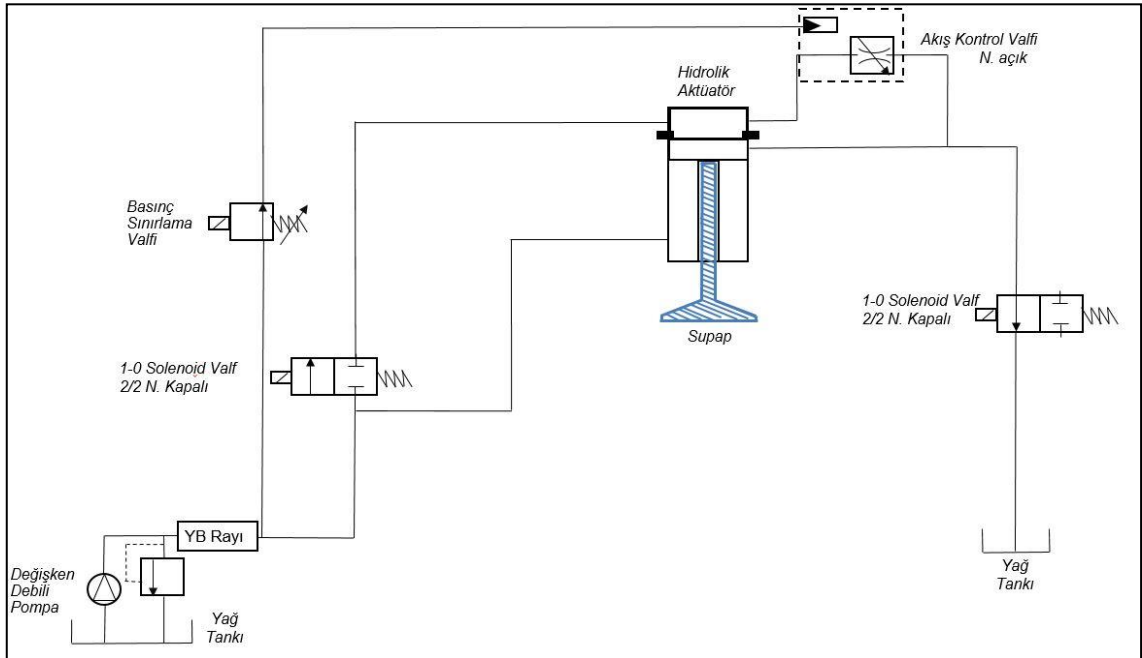
kullanılan bir supap yayı veya geri dönüş yayı bu konseptte bulunmamaktadır. Silindir içerisine her iki yöndeki portlardan giriş bir oransal valf ile sağlanır. Yerleştirilen kontrol valfi, yüksek basınç rayından alınan hidrolik basıncın pistonun hangi hareket yönüne doğru hareket edeceğine bağlı olarak hidrolik akışkanı iki porttan birine yönlendirir. Devrenin kalan elemanları konsept 1- de yer alan elemanlarla benzer şekilde, bir sabit debili hidrolik pompa, pompa çıkışında yer alan bir güvenlik valfi, yüksek basınç depolandığı bir yüksek basınç rayı ve yağ tankından oluşur



Şekil 4. 5 Çift etkili silindir

Çift etkili silindir konseptinde yay kullanılması bu nedenle ortaya çıkan supap kapanma hareketindeki esneklik kısıtlamasını ortadan kaldırmaktadır. Bu yönüyle konsept 1- e oranla daha fazla esneklik tanır. Bu sistem yine devre elemanı sayısının azlığı nedeniyle basit bir hidrolik devre şeması sunmaktadır. Sistemin getirdiği dezavantaj kontrol valfinin yüksek hızlarda yağ hareket yönünü anlık olarak iki silindir portu arasında değiştirmesi ve buna bağlı olarak sistemde meydana gelen dinamik etkilerdir. Supap açılma ve kapanma hızları kontrol valfi sayesinde ayarlanabilse de yüksek hızlı operasyonlar açısından bu tarz bir kontrol valfi kullanımı sorunlar ortaya koymaktadır. [10]

Konsept 3 - Diferansiyel silindir & 1-0 kontrol valfi: Diferansiyel silindir kullanılan bu konseptte silindir içersine akan akış bir kontrol valfi yardımıyla kontrol edilir. Bu akış kontrol valfi supabın açılma hareketini kontrol eder. Supap kapanma hareketi ise sabit bir yüksek basınç rayı bağlantısı ve hidrolik silindirdeki yağ tahliyesinin ikinci bir kontrol valfi ile kontrol edilmesiyle sağlanır. Supap kapanmasına doğru supap oturma hızının yastıklama yapılarak dinamik olarak kontrol edilebilmesi için de strok sonunda aktif olan bir akış kontrol valfi kullanılır. Hidrolik devreni diğer elemanları ise, akış kontrol valfine gelen basıncın kontrol edildiği bir basınç sınırlama valfi, yağ tankı, yüksek basınç rayı ve sistemin değişken motor koşulları için silindire gelen basıncın sürekli ayarlandığı bir değişken debili pompadır. [11]



Şekil 4. 6 Diferansiyel piston ve 2 2/2 kontrol valfi kullanımı

Bu konseptte oluşturulan hidrolik devre diğer konseptlere oranla daha fazla hidrolik devre elemanı içerdiğinden daha basit olmayan bir hidrolik devre tasarımıdır. Normal çalışma operasyonu için kullanılan kontrol valfleri ise 2/2 valfler olarak daha sağlam bir çalışma dayanıklılığı ve sürekliliği sağlar. Supap hareket yönüne doğru hareketi sağlayan kontrol valfi normalde kapalı bir valf olduğu için sistemin enerjisiz kalma durumunda kapalı kalarak supapların da kapalı kalmasını sağlar. Konsept 3-ün getirdiği bir diğer avantaj, supap kapanma stroğunun sonunda devreye giren akış kontrol valfi ve akış kontrol valfinin sağladığı yastıklama hareketidir. Yastıklama hareketi motorun herhangi

bir çalışma bölgesine göre optimize edilerek supapların istenilen maksimum kapanma hareketi ivmesiyle kapatılabilinmesini sağlar.

4.4.2 Hidrolik Devre Konseptinin Belirlenmesi

Konseptlerde yer alan devre tasarımları bir elektro hidrolik supap sistemi olarak kullanılabilirler, bu konseptlerin her birinin diğer konseptte göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kavramsal tasarım sürecinde EHSS tasarımı için belirtilen 3 konseptten biri seçilecektir. Konseptler arasında belirlenen kriterler arsında değerlendirme yapılarak bir karar matrisi oluşturulacak ve konseptler karar matrisinde puanlandırılacaktır.

Karar matrisi oluşturmada önce konseptlerin birbirlerine göre değerlendirileceği kriterler belirlenmeli ve kriterlerin karar matrisi içerisindeki puanlaması için ağırlık dağılımları belirlenmelidir. Belirlenen karar kriterleri;

Değişken supap zamanlaması: Konseptlerin değişken supap zamanlaması performanslarının karşılaştırılması.

Değişken supap açıklığı: Konseptlerin değişken supap açıklığı performanslarının karşılaştırılması.

Değişken supap oturma hızı kontrolü: Konseptlerin supap oturma hızlarını değişken olarak kontrol edebilme performanslarının karşılaştırılması.

Yüksek hızlarda çalışma: Konseptler arasında, yüksek hızlarda çalışma performanslarının karşılaştırılması.

Fonksiyonel Karakteristikler: Konseptlerin değişken supap sistemi operasyonunun yanında Bölüm 2’de belirtilen fonksiyonel karakteristikleri sağlayabilme performanslarının karşılaştırılması.

Basitlik: Konseptler arasında hidrolik sistem olarak, parça sayısının azlığı ile basitliklerinin karşılaştırılması.

Dayanıklılık: Konseptlerin bir İYM içerisinde çalışma durumlarına karşı dayanıklılıklarının karşılaştırılması.

Maliyet : Konseptlerin sistem olarak bir motorun birim fiyatına olan etkilerinin karşılaştırılması. Ucuz olan konsept daha yüksek değerlendirme puanına sahiptir.

Arızaya Hazırlıklılık: Konseptlerin bir arıza durumunda sistemin güvenli bir pozisyonda kalabilmesini sağlayan özelliklerinin karşılaştırılması.

Belirtilen karar kriterleri bu çalışma içerisinde referans motora uygulanabilirlik olarak değerlendirildiğinde Çizelge 4.2’de ifade edildiği şekilde ağırlıklandırılmıştır.

Çizelge 4. 2 Kriterlerin ağırlıklandırılması

Kriter Nu	Kriter	Ağırlıklandırma
1	Değişken Supap Zamanlaması	0,15
2	Değişken Supap Açıklığı	0,15
3	Değişken Supap Oturma Hızı Kontrolü	0,15
4	Yüksek Hızlarda Çalışma	0,15
5	Fonksiyonel Karakteristikler	0,10
6	Basitlik	0,05
7	Dayanıklılık	0,10
8	Maliyet	0,05
9	Arızaya Hazırlılık	0,10
-	TOPLAM AĞIRLIKLANDIRMA	1,00

Belirtilen kriterlerin ağırlıklandırılması, daha sonra bu kriterlere göre konseptlerin puanlandırılması ve ağırlıklandırmayla çarpılmasıyla konseptlerin nihai puanlarının ortaya çıkıp karar matrisinde değerlendirilmesini sağlayacaktır. Konseptler bu tasarım kriterlerine göre değerlendirilirken, Çizelge 4.3’de belirtilen puan aralığına göre puanlandırılacaklardır.

Çizelge 4. 3 Kriterlerin puanlandırılması

Kriteri Değerlendirme	Puanlandırma
Kriter ilgili konseptte en iyi performansa sahip	10
Kriter ilgili konseptte en kötü performansa sahip	0

Konseptler belirtilen kriterlere göre puanlandırılarak son karar matrisi için gerekli olan tüm puanlandırmalar hazırlanır. Puanlama yapılırken ilgili hidrolik devre konseptinin bu tez çalışması içerisinde ve referans alınan motora uygulanabilirliğine ve referans motorun teknik isterleri göz önünde bulundurularak puanlanmıştır. Buna göre konseptlerin bu kriterlere göre puanlandırılması;

Çizelge 4. 4 Konseptlerin kriterlere göre puanlandırılması

Kriter Nu	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3
1	6	8	8
2	6	8	8
3	0	5	10
4	10	5	10
5	4	6	8
6	10	8	4
7	10	8	6
8	10	6	8
9	10	0	10

Yukarıda yer alan çizelgede ilgili kriterlere göre puanlanan konseptler, kriter puanlarının Çizelge 2 de belirtilen ağırlıklandırmalar ile çarpıldığında elde edilen puanların kümülatif toplamı tasarım karar matrisi içerisinde konseptler arasındaki son puanlamayı ortaya koymaktadır. Kavramsal tasarım sürecinde hangi konseptin seçileceği bu puanlamanın sonucunda yapılan değerlendirmeye göre verilecektir. Kriterlerin ağırlıklarının konseptlerdeki puanlarına göre değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan son puan durumu Çizelge 4.5'deki gibi olmaktadır.

Çizelge 4. 5 Konseptlerin nihai puanlandırılması

Kriter Nu	Ağırlıklandırma	Konsept 1		Konsept 2		Konsept 3	
		Kriter Puan	Ağırlıklı Puan	Kriter Puan	Ağırlıklı Puan	Kriter Puan	Ağırlıklı Puan
1	0,15	6	0,9	8	1,2	8	1,2
2	0,15	6	0,9	8	1,2	8	1,2
3	0,15	0	0	5	0,75	10	1,5
4	0,15	10	1,5	5	0,75	10	1,5
5	0,10	4	0,5	6	0,6	8	0,8
6	0,05	10	0,5	8	0,4	4	0,2
7	0,10	10	1	8	0,8	6	0,6
8	0,05	10	0,5	6	0,3	8	0,4
9	0,10	10	1	0	0	10	1
Toplam Puan			6,7		6,0		8,4

Yapılan ağırlıklandırılmış tasarım karar matrisinde, toplam puan olarak konsept 2 ve konsept 3 yakın puanlara sahiptirler. Her iki konseptte bu çalışmanın konusu olarak

referans motora uygulanabilir. Konsept 3'ün getirdiği daha fazla sayıda devre elemanı konsept basitlik olarak problem oluştursa da, 1-0 çalışan valflerin kullanılması ve hidrolik silindire giden akışın değişken debili pompa kullanılarak kontrol edilmesiyle sistemin değişken debili pompa sayesinde daha az enerji harcayacağı düşünülerek tasarım değerlendirme matrisinde en yüksek puanı alan Konsept 3, EHSS kavramsal tasarım sürecinde hidrolik devre konsepti olarak seçilmiştir.

4.4.3 Hidrolik Devrenin Çalışma Durumu

Kısım 3.5.2 de belirlenen hidrolik devre konseptinin, bir supap hareket çevrimi sırasında hidrolik devre olarak sergilediği durum ve davranışlar, supabın her bir hareket profilinde hidrolik devrenin nasıl çalıştığı ile gösterilebilir. Hidrolik devre içerisinde yer alan hidrolik devre elemanları, supap hareket profiline göre kontrol edilirler. Buna bağlı olarak hidrolik devreni nasıl bir davranış sergileyeceğini öncelikle bir supap hareketini aşağıda belirtilen şekilde kısımlara bölerek belirleyebiliriz.

- Supap kapalı pozisyon
- Supa açılırken – strok başı
- Supap açılırken – strok sonu
- Supap kapanıyor – strok başı
- Supap kapanıyor – strok sonu
- Supap kapalı pozisyon

Bir supap çevriminde yukarıda belirtilen sıra takip edilerek supap kapalı pozisyondan açılarak tekrar kapalı pozisyona gelmesi durumu hidrolik devre üzerinde sırasıyla şematik olarak gösterilebilir.

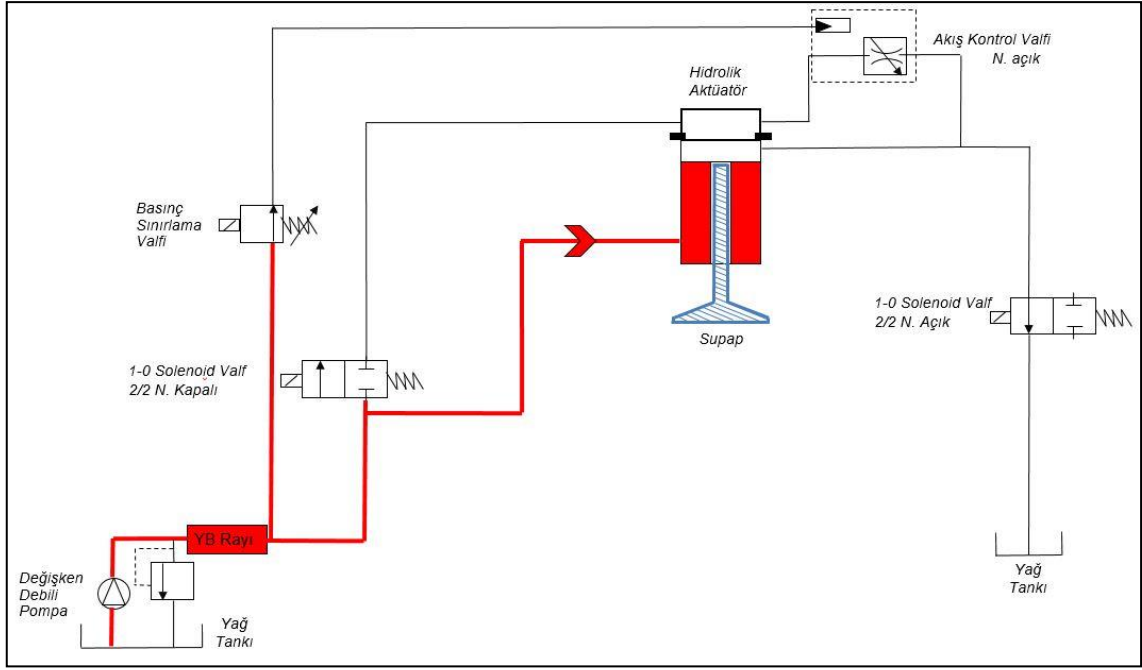
Şematik gösterimde kullanılan grafik ifadelerinin tanımı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7 Hidrolik devrede kullanılan grafiksel tanımlamalar

Supap kapalı pozisyon

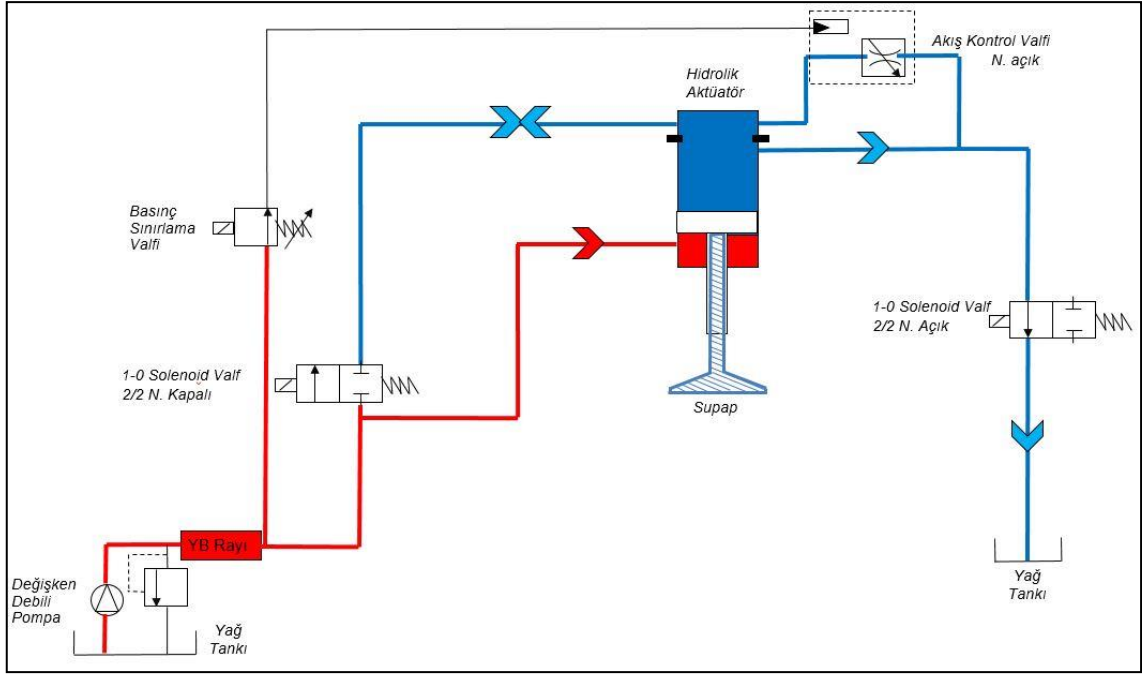
Supapların kapalı olması, İYM çalışmaya başlamadan hemen önceki durumda ve motor çalışması esnasında silindir içerisindeki sıkıştırma ve genişleme hareketlerinde ortaya çıkmaktadır. Sitem çalışmaya başladığında değişken debili pompanın uyguladığı basınçla, hidrolik silindire giden hidrolik basıncı kontrol eden ve normalde kapalı olan solenoid valf, hidrolik yağın direk olarak supapları kapatan yöne etki etmesini sağlar. Bu durumda supap hidrolik yağ basıncı altında kapalı olarak kalır. İkinci solenoid kontrol valfi normalde açık olduğu için bir önceki çevrimden supabın açılmasını sağlayan yönde bir hidrolik yağın da silindir içerisinde kalmamasını ve tahliye edilmesini sağlar. Supap kapanması sırasında yastıklama sağlayan akış kontrol valfi ve akış kontrol valfini kontrol eden basınç sınırlama valfleri de enerjisiz durumdadır.



Şekil 4. 8 Supap kapalı pozisyon

Supap açılırken – strok başı

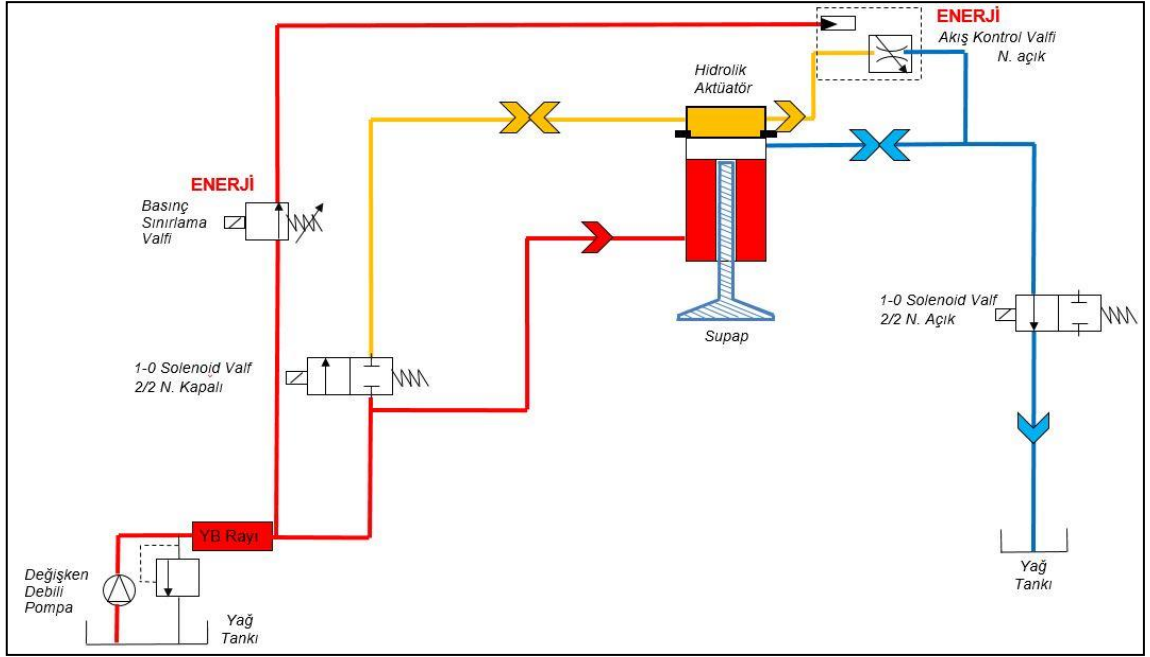
Supap açılma hareketini gerçekleştirebilmek için kapalı pozisyondan hareketini sağlayacak şekilde supap açılma yönüne doğru hidrolik pistonun hareket etmesi gerekmektedir. Bunun için hidrolik silindire giden hidrolik yağ akışını kontrol eden ve normalde kapalı olan kontrol valfi açılarak pistonun supap açılma yönünde hareketini sağlayacak hidrolik basınç silindirin üst bölgesine gönderilir. Aynı anda, silindirin üst bölgesinde yer alan hidrolik yağın tahliyesini sağlayan ve normalde açık olan 2. Kontrol valfi de aktive edilerek kapatılır, bu sayede hidrolik silindirin üst bölgesindeki tahliye kanallarını kapatılmasıyla hidrolik basınç silindir içerisindeki pistonu supap açılma yönüne doğru ittirerek supabın açılmasını sağlar.



Şekil 4. 11 Supap açılma strok sonu

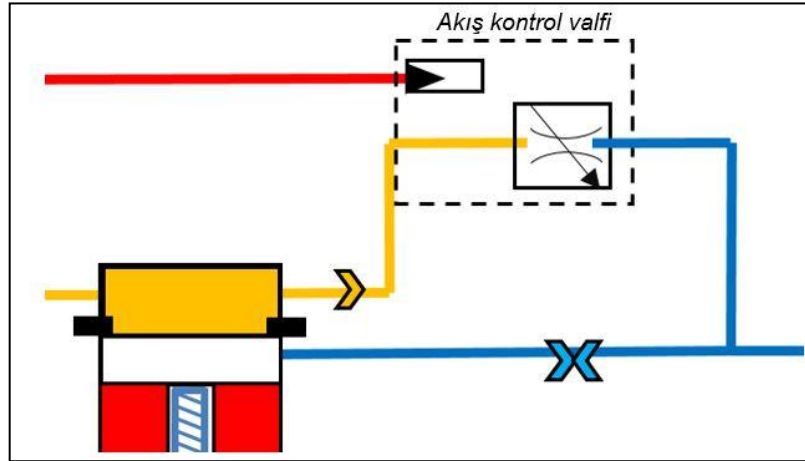
Supap kapanırken – strok sonu

Supap kapanma hareketinin strok başından strok sonuna doğru değişkenlik gösteren kısmı, supabın yastıklama hareketi yaparak supap oturma hızının kontrol edilmesini sağlayan akış kontrol valfinin açılmasıdır. Basınç sınırlama valfinin açılmasıyla ayarlanan bir hidrolik basıncı akış kontrol valfine yönlendirerek akış kontrol valfinin silindirden tahliye edilen yağın strok sonuna doğru kalan kısmının daha küçük bir orifisden geçerek supap kapanma hızının azaltılmasını sağlar. Bu durumda silindirin üst bölgesinde akış tahliyesinin bir orifis ile kısıtlanmasından ötürü bir basınç artışı olur. İkinci kontrol valfi normalde açık olarak enerjisiz halde akış kontrol valfi içerisindeki orifisden gelen yağın tanka doğru tahliyesini sağlar. Silindir içerisindeki hidrolik yağın akış kontrol valfi yerine normal tahliye kısmından tahliye edilmemesi ise akış kontrol valfi ve direk hat arasında hidrolik pistonun denk getirilmesiyle sağlanır. Bu sayede stroğun belirli bir miktarına kadar akış kontrol valfi bir kısıtlama yapmaz ve silindir her iki çıkış portundan da hidrolik yağı tahliye eder. Belirli bir stroktan sonra ana tahliye portu kapanır ve tahliye akış kontrol valfinin bağlı olduğu porttan gerçekleşir.



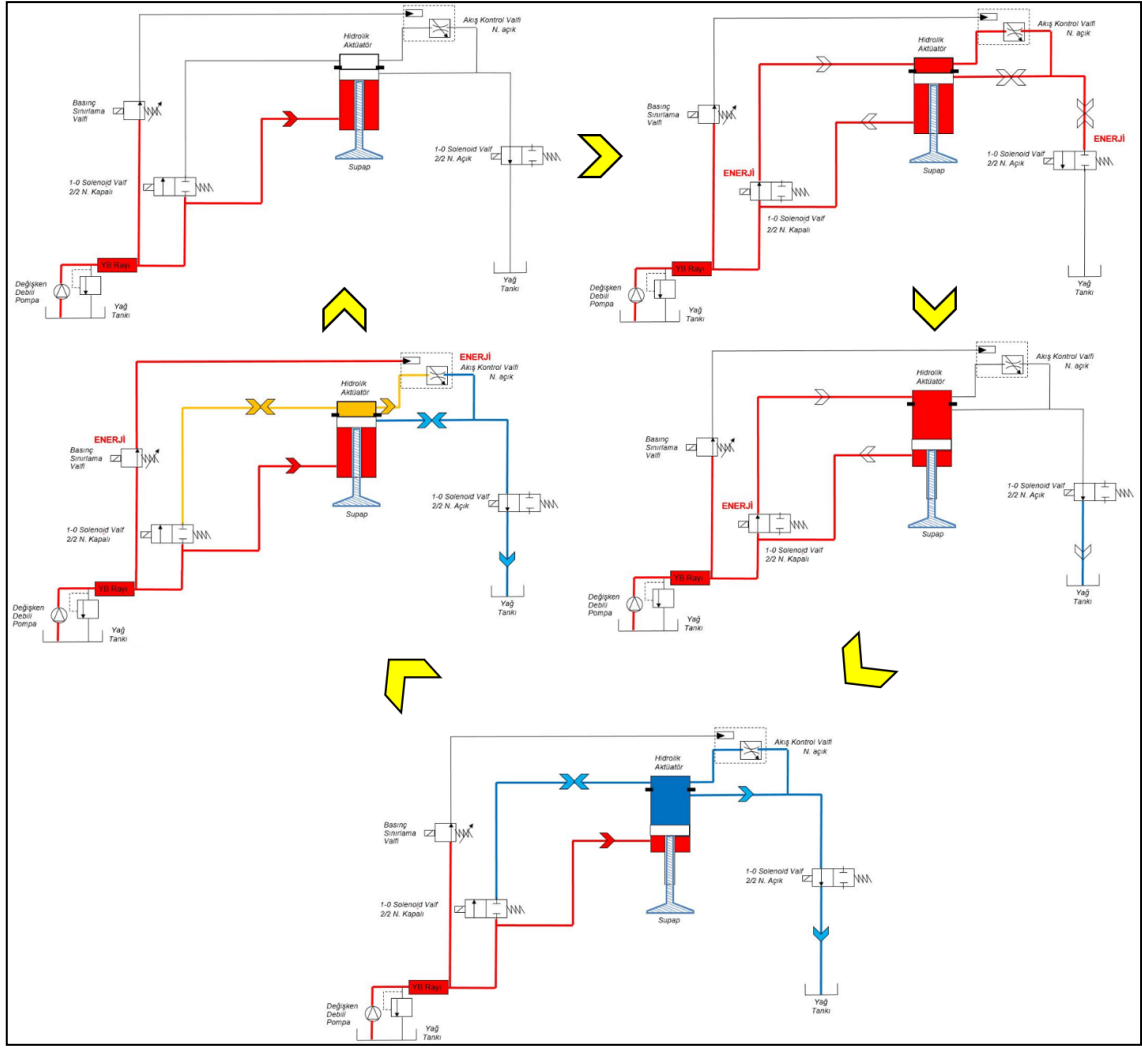
Şekil 4. 12 Supap açılma strok sonu

Supap oturma hızını kontrol ederek supap kapanması esnasında yastıklama hareketini sağlayan akış kontrol valfi ve silindir tahliye portlarının şematik yerleşimi detaylı olarak aşağıda Şekil 4.13 de gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 Akış kontrol valfi şematik gösterim

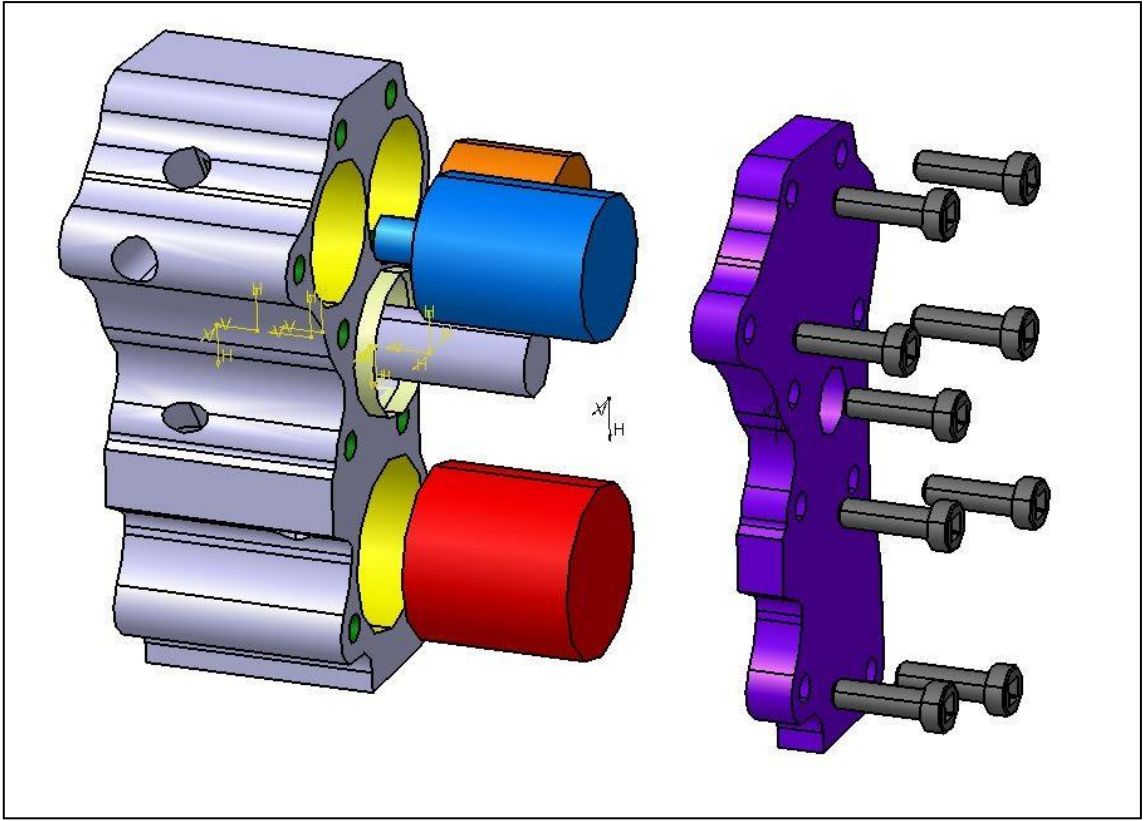
Bir supap çevrimi boyunca hidrolik devredeki durum aşağıdaki gibi gösterilebilir;



Şekil 4. 14 Hidrolik devrenin supap çevrimi boyunca hareketi

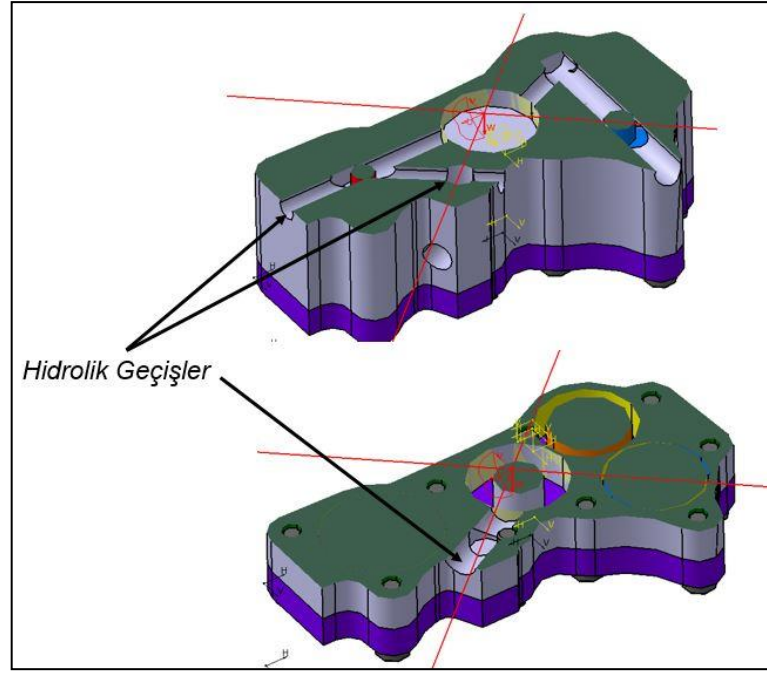
4.1 3 Boyutlu Tasarım

EHSS kavramsal tasarımı içerisinde sistemin referans alınan motorda kullanılabilirliği için 3-boyutlu kavramsal tasarım, bilgisayar destekli tasarım yöntemi ile (CAD) CATIA V5 programı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda silindir başına 2 emme ve 2 egzoz supabına sahip olan referans motorun, emme ve egzoz supaplarını bir köprü vasıtasıyla ikişer ikişer kontrol edecek şekilde silindir başına bir emme ve bir egzoz aktüatörü kullanılmıştır. Emme ve egzoz aktüatörlerinin tasarım kolaylığı ve kompleksite oluşturmaması adına eşlenik olarak kullanılması planlanmıştır. Bu sayede böyle bir sistemin seri imalat koşullarında kavramsal tasarımının ilerletilip seri imalat bir tasarıma döndürülmesiyle sistemin toplam kalıp maliyetleri ve motorda kullanılan birim sistem maliyetleri düşer. Referans motor 6 silindir içerdiğinden toplamda 12 aktüatör gövdesi

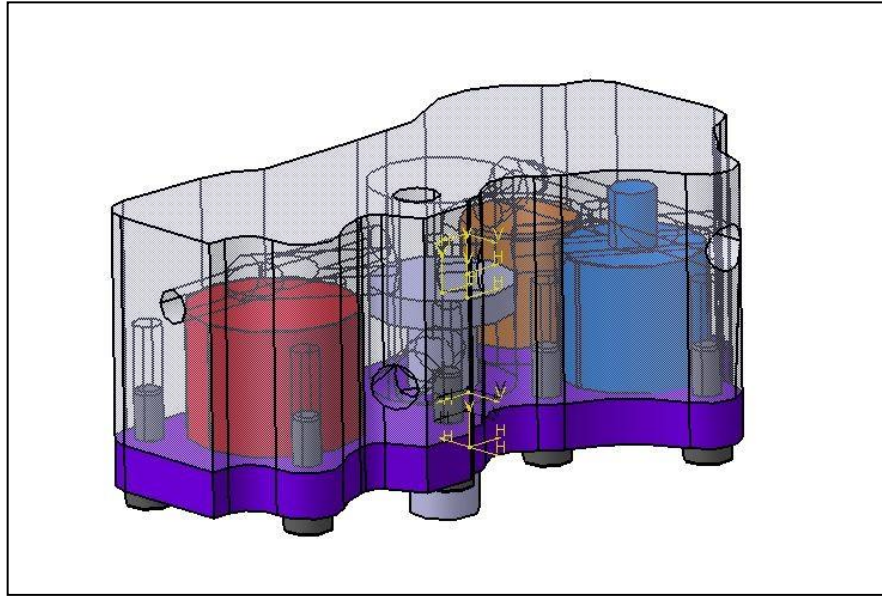


Şekil 4. 16 Aktüatör gövdesi montaj gurubu parçaları

3 boyutlu kavramsal tasarım, EHSS sisteminin referans motora prototip fazında uygulanabilirliği için tasarlanmıştır. Buna göre 3-boyutlu tasarım seri üretime yönelik tasarım tipleri ve imalat yöntemleri içermemektedir. Örneğin ana aktüatör gövdesi döküm bir gövde yerine tamamen bir Alüminyum kütük malzemedan talaşlı imalat ile işlenip solenoid, piston yuvaları ve akışkan geçişlerini sağlayan hidrolik kanallar işlenerek üretilir. Aktüatör gövdesinde açılan kanalları Şekil 4.17’de görülmektedir. Ana gövde içerisinde hidrolik geçişlerin, valflerin ve silindirin yerleşimi de Şekil 4.18’de gösterilmektedir.



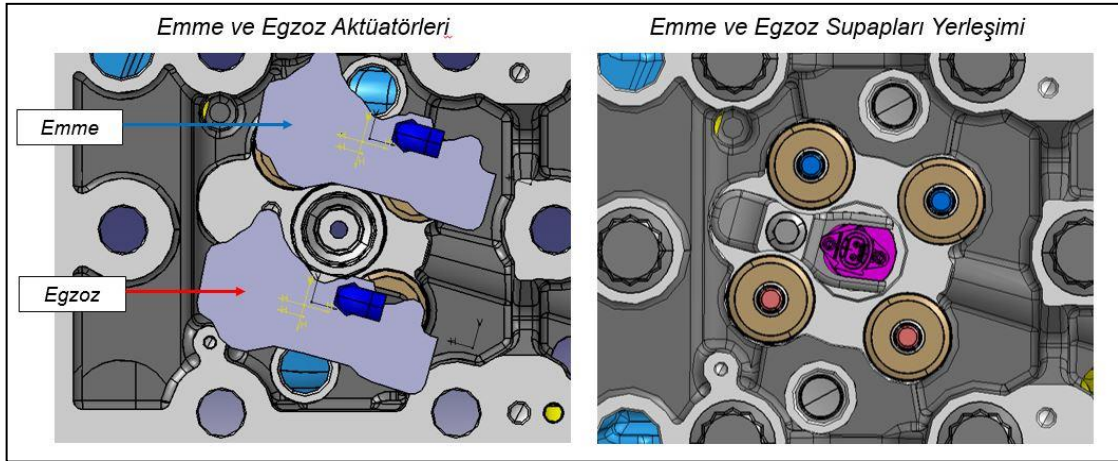
Şekil 4. 17 Ana aktüatör gövdesi içerisindeki hidrolik geçişler ve kanallar



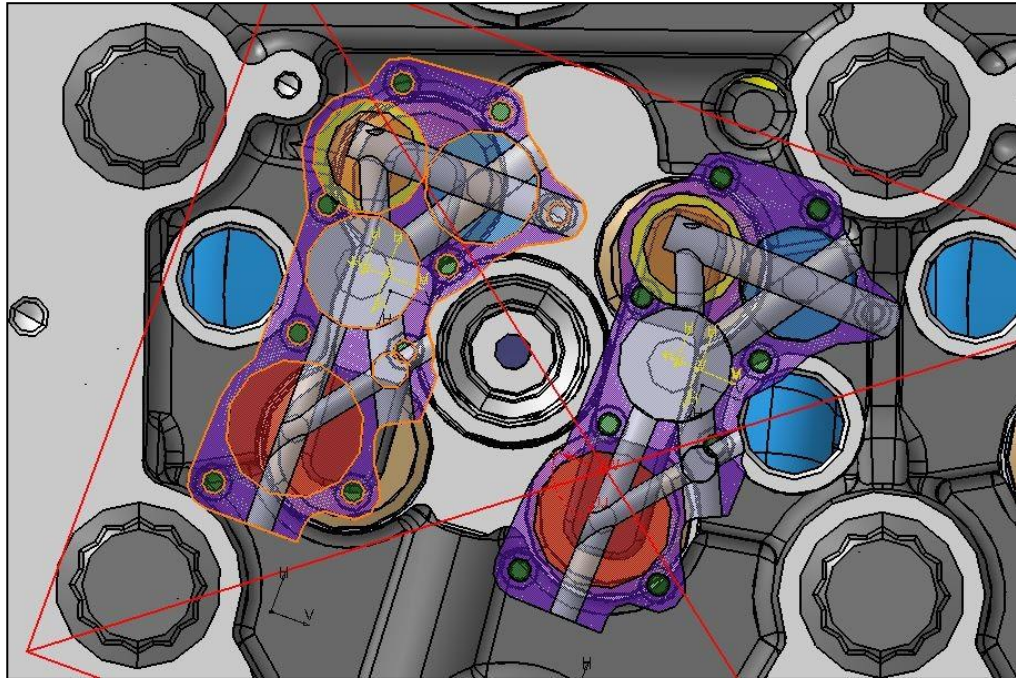
Şekil 4. 18 Aktüatör gövdesi – saydam görünüm

Emme ve egzoz supapları için aynı aktüatör kullanılacağından paketleme limitleri açısından supap konfigürasyonuna göre silindir kafasında aktüatör etrafında yer alan komponentlere göre paket tasarımları kontrol edilmelidir. Örneğin supaplar arasında olan yakıt enjektörü iki aktüatör arasındaki mesafe için kritik bir tasarım limitleyici bir faktördür. Kavramsal tasarım aşamasında sistemin referans motorun sahip olduğu yakıt

enjektörü boyutu ve silindir kafasında yakıt enjektörünün yerleştirilmesi için yapılan işlemleri dikkate alarak aktüatörlerin emme ve egzoz supaplarını aktive edecek şekilde konumlandırılması bir silindir için Şekil 4.19'daki gibi yapılmıştır. Bu konumlandırmaya göre yakıt enjektörü iki aktüatör arasında kalabilmektedir. Komşu silindirlerde bulunan aktüatörler arada ise herhangi bir komponent bulunmakta ve mesafeler oldukça yeterli olmaktadır.



Şekil 4. 19 Emme ve egzoz aktüatör yerleşimleri ve supap yerleşimleri



Şekil 4. 20 Aktüatör gövdelerinin silindir kafası üzerinde yerleşim

HİDROLİK SİMÜLASYON

Referans motor üzerinde ortaya konulan tasarım sistemin çalıştığı farklı operasyon noktaları için MATLAB SimScape programıyla modellenerek elde edilen sonuçlarla sistem tasarım parametreleri belirlenmiştir. Karar matrisi sonucu seçilen ve kavramsal tasarımı gerçekleştirilen modelin farklı motor hızları ve farklı supap yükleri karşısında hidrolik devre elemanlarının parametreleri belirlenmiş ve hedeflenen supap açılma süreleri, supap açıklık miktarları ve supap zamanları elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir çalışma senaryosu için teknik gereksinimlerin sağlanacağı hidrolik sistem tasarım parametreleri elde edilmiştir.

5.1 Simülasyon Senaryoları

Kavramsal tasarımı sunulan hidrolik devre sisteminin temel tasarım parametrelerini belirlemek için, kurulan simülasyon modeli, motorun çalışma haritası içerisindeki kritik bölgeler için simule edilecektir. Belirlenen simülasyon senaryoları referans alınan motorun sahip olduğu kritik çalışma bölgeleri olup, kurulan modelde tanımlanan hidrolik sistem parametrelerinin bu çalışma bölgelerinde teknik isterlerde belirtilen gereksinimleri sağlayacak şekilde ve referans motorun bu bölgelerde sahip olması gereken supap karakteristiklerini sağlayabilecek şekilde olması gerekmektedir. Değişken geometrili supap sistemlerinin temel kullanım nedeni, çalışmanın başında belirtildiği üzere, motorun düşük ve yüksek hızlarda ihtiyacı olan farklı supap hareket profillerini elde ederek farklı çalışma bölgelerinde istenilen performansı elde etmektir. Yaklaşık

olarak bir içten yanmalı motorda temel olarak tanımlanabilecek olan kritik çalışma bölgeler;

- Rölanti hızı
- Maksimum tork alınan motor hızı
- Maksimum güç alınan motor hızı
- Maksimum motor hızı

Olarak ifade edilebilir. Bu çalışma kapsamında referans alınan motorun yukarıda belirtilen kritik çalışma bölgelerindeki motor hızları, supapların üzerine gelen kuvvetler ve supap sisteminin motor performansı için ihtiyaç duyduğu supap açılma miktarı ve supap açık kalma süreleri dikkate alınarak, tasarlanan hidrolik sistemin teknik isterler kapsamında bu kritik bölgelerin performans gereksinimlerini sağlayacak parametreleri belirlenecektir.

5.1.1 Rölanti Hızı

Referans alınan motorun sahip olduğu rölanti hızı 550 d/dk olmaktadır. Rölanti durumunda motor aksesuar sistemlerini çalıştırır ve yenmesi gereken motor iç sürtünmeleridir. Rölanti durumunda özel bir motor uygulaması yok ise motor herhangi bir güç aktarımı yapmaz. Bu durumda supap profilinin motorun çalışma devrini koruyacağı ve aynı zamanda düşük olan hava hareketleri nedeniyle supap sisteminin pompalama kayıpları yaratmayacağı bir supap profiline ihtiyaç duyulur.

Referans motor için supap rölanti hızında motorun sahip olması gereken supap hareket profili, supap açıklık miktarı ve supap açık kalma süresi olarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

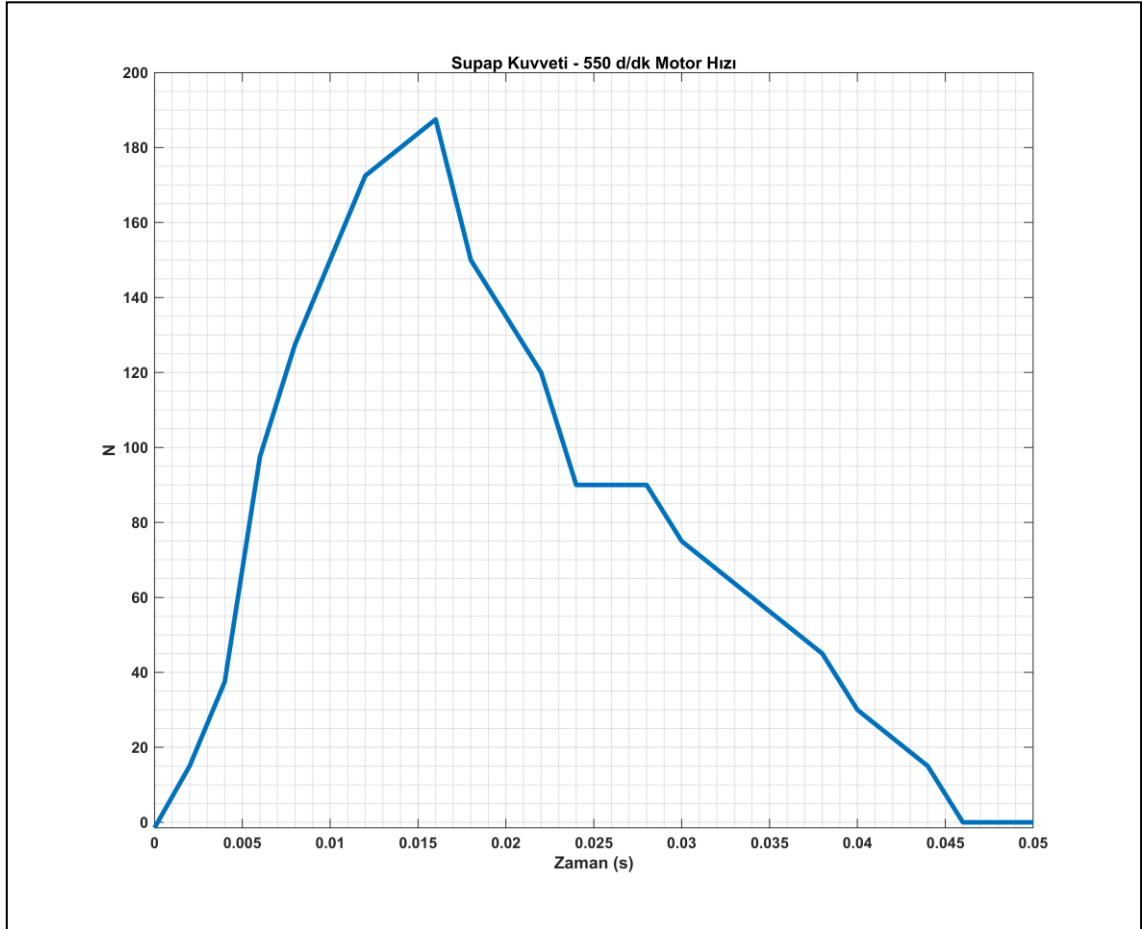
Çizelge 5. 1 Rölanti hızı senaryosu supap koşulları

Senaryo	Rölanti Hızı	-
Motor Hızı	550	d/dk

Çizelge 5. 1 Rölanti hızı senaryosu supap koşulları (Devamı)

Supap Açıklık Miktarı	9	Mm
Supap Açık Kalma Süresi	150	KA°
Supap Açık Kalma Süresi	45	ms

Referans motor tasarımında yapılan yanma ve motor performans analizleri neticesinde, rölanti hızı senaryosunda supaplara gelen kuvvetler Şekil 5.1'deki gibi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. 1 Rölanti hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler

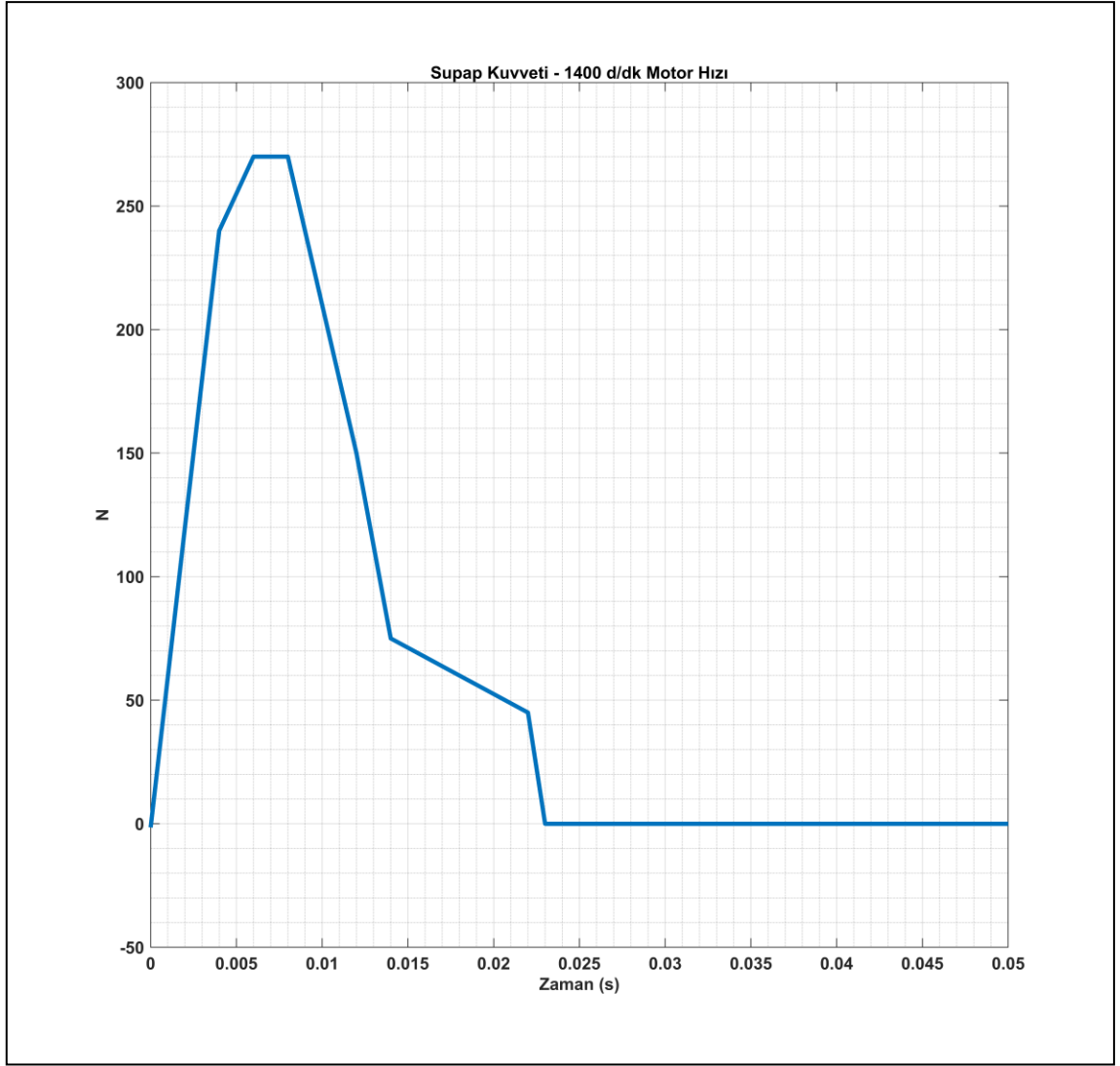
5.1.2 Maksimum Tork Alınan Motor Hızı

Motor tasarımında birçok motor alt sistem tasarımında maksimum tork alınan motor hızı önemli bir tasarım parametresidir. Motor haritaları incelendiğinde görülebileceği üzere, motor torku maksimum güç alınan hızın daha düşüğünde alır. Maksimum tork alınan motor hızında supaplar yüksek miktarda taze hava ihtiyacından ötürü yüksek supap açıklık miktarına ve açık kalma süresine sahiptir. Referans motor için supap maksimum tork alınan motor hızında motorun sahip olması gereken supap hareket profili, supap açıklık miktarı ve supap açık kalma süresi olarak Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.;

Çizelge 5. 2 Maksimum tork hızı senaryosu supap koşulları

Senaryo	Maksimum Tork Alınan Motor Hızı	-
Motor Hızı	1400	d/dk
Supap Açıklık Miktarı	10	mm
Supap Açık Kalma Süresi	200	KA°
Supap Açık Kalma Süresi	23	ms

Referans motor tasarımında yapılan yanma ve motor performans analizleri neticesinde, maksimum tork alınan motor hızı senaryosunda supaplara gelen kuvvetler Şekil 5.2’deki gibi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. 2 Maksimum tork alınan motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler

5.1.3 Maksimum Güç Alınan Motor Hızı

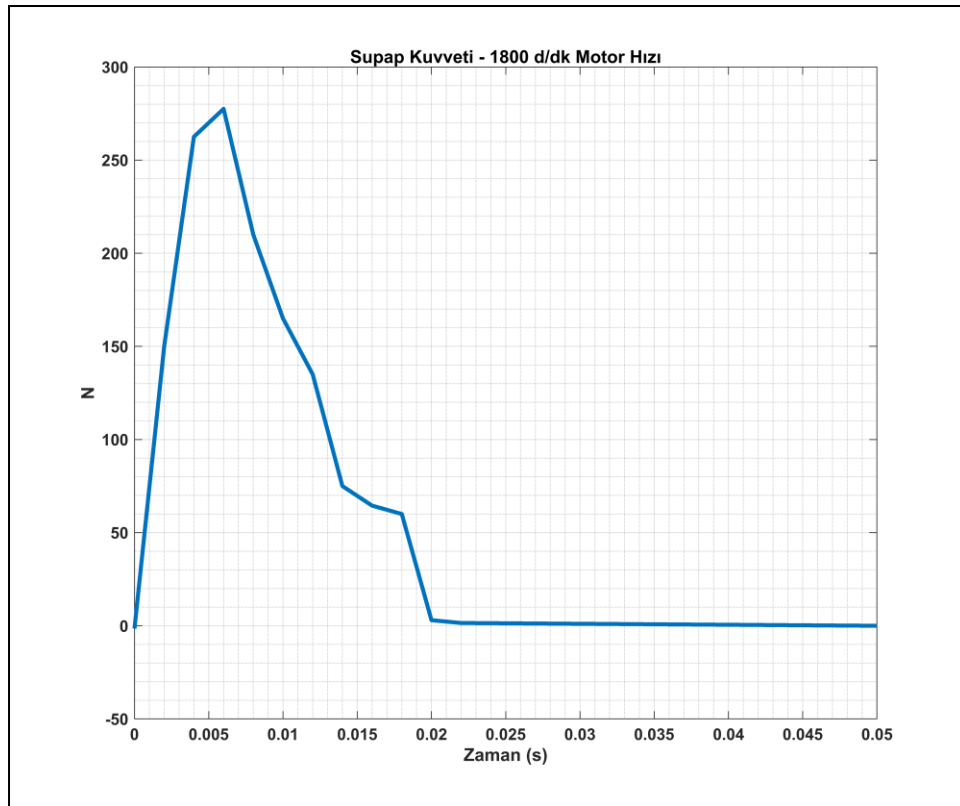
Maksimum güç alınan motor hızı, maksimum tork alınan motor hızından fazla olarak, maksimum tork miktarı yahut ondan daha düşük bir miktarda tork elde edilen ve elde edilen tork ile motor hızı çarpımının motor haritasında aldığı en büyük değer olarak ortaya çıkan motor hızıdır.

Referans motor için supap maksimum güç alınan motor hızında motorun sahip olması gereken supap hareket profili, supap açıklık miktarı ve supap açık kalma süresi olarak Çizelge 5.3’de gösterilmiştir;

Çizelge 5. 3 Maksimum güç hızı senaryosu supap koşulları

Senaryo	Maksimum Güç Alınan Motor Hızı	-
Motor Hızı	1800	d/dk
Supap Açıklık Miktarı	12	mm
Supap Açık Kalma Süresi	240	KA°
Supap Açık Kalma Süresi	22	ms

Referans motor tasarımında yapılan yanma ve motor performans analizleri neticesinde, maksimum güç alınan motor hızı senaryosunda supaplara gelen kuvvetler Şekil 5.3'deki gibi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. 3 Maksimum güç alınan motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler

5.1.4 Maksimum Motor Hızı

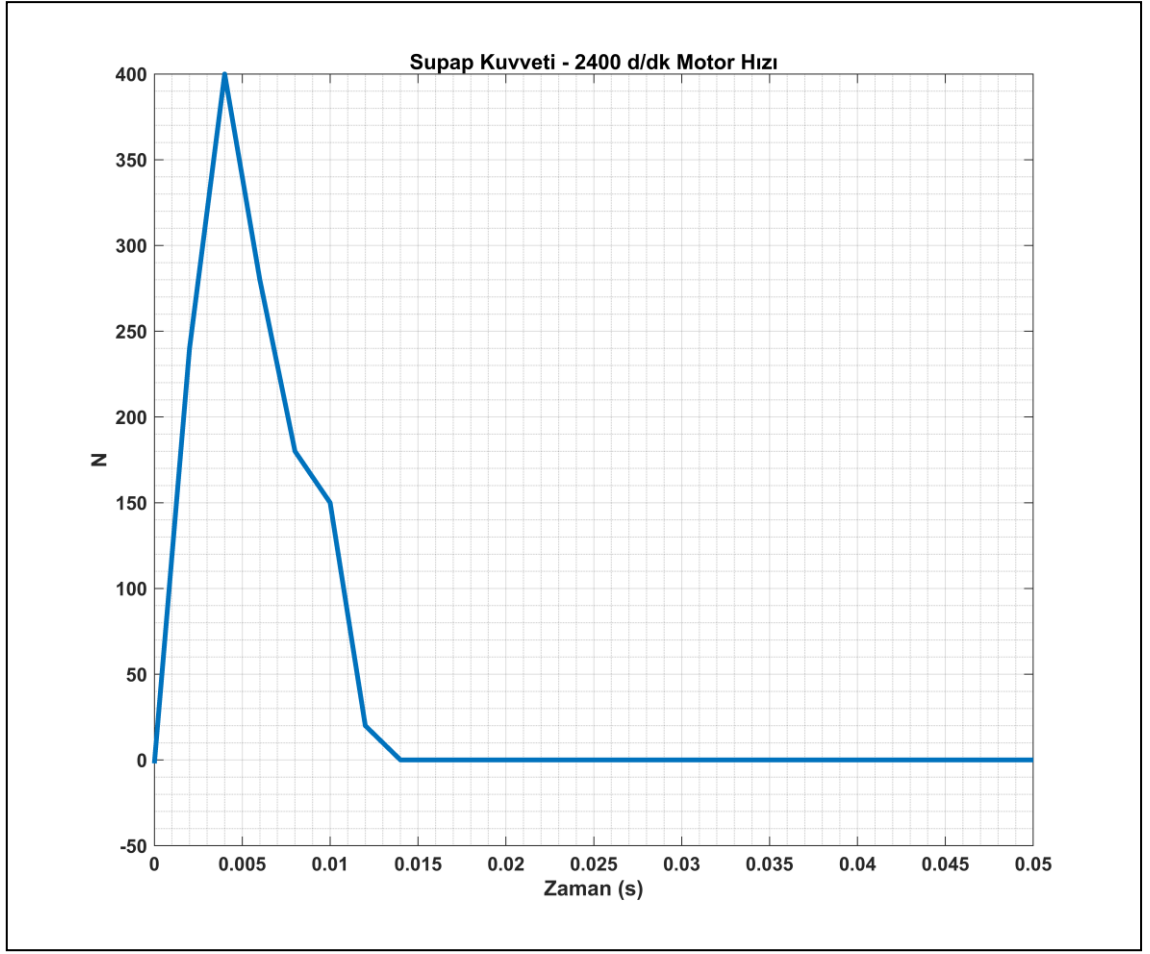
Maksimum motor hızı motorun yapısal olarak izin verilen maksimum hız limitidir. Tüm motor sistemleri ve özellikle motor yataklar ve piston, motorun maksimum sahip olacağı motor hızına göre tasarlanır. Maksimum motor hızı bölgesinde, limite yaklaşıldığında motor yakıt enjeksiyonunu keser ve motor yakıt hava karışımıyla güç üretmez, bu durumda supap sisteminden ihtiyaç duyulan gereksinim, yüksek motor hızından dolayı çalışmasını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesidir. Supap açıklık miktarı yüksek olmakta ancak supap açık kalma süresi kısa olmaktadır.

Referans motor için maksimum motor hızında motorun sahip olması gereken supap hareket profili, supap açıklık miktarı ve supap açık kalma süresi olarak Çizelge 5.4’de gösterilmiştir;

Çizelge 5. 4 Maksimum motor hızı senaryosu supap koşulları

Senaryo	Maksimum Güç Alınan Motor Hızı	-
Motor Hızı	2400	d/dk
Supap Açıklık Miktarı	13	mm
Supap Açık Kalma Süresi	180	KA°
Supap Açık Kalma Süresi	12,5	ms

Referans motor tasarımında yapılan yanma ve motor performans analizleri neticesinde, maksimum motor hızı senaryosunda supaplara gelen kuvvetler Şekil 5.4’deki gibi ortaya çıkmıştır.



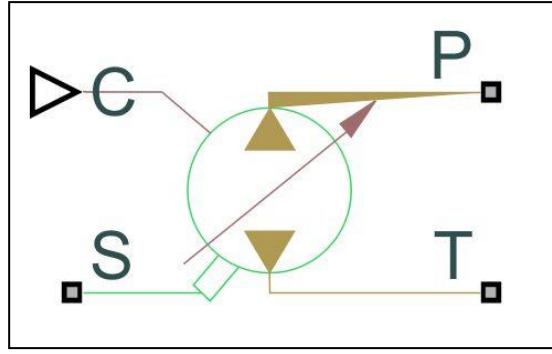
Şekil 5. 4 Maksimum motor hızında supap üzerine etkileyen kuvvetler

5.2 Model Kurulumu

Kavramsal tasarımda seçilen şematik hidrolik devre şeması çalışması, MATLAB SimScape modeli kurularak simule edilmiştir.

5.2.1 Değişken Debili Pompa

Belirlenen hidrolik devre şemasında, hidrolik sistemi besleyen bir değişken debili pompa bulunmaktadır. Değişken debili pompa, sistemin farklı çalışma koşulları için ihtiyacı olan debi ve basıncı sağlayabilmektedir. Bu sayede sistemde 1-0 çalışan ve yapısal olarak daha basit ve hızlı olan akış kontrol valfleri kullanılarak sistemin pompa parametreleriyle kontrol edilmesi sağlanır. Bunun için MATLAB Simscape ara yüzündeki değişken debili pompa modülü kullanılmıştır.



Şekil 5. 5 Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi

Şematik gösterimde yer alan pompanın portları;

- **P:** Pompanın basıncı ilettiği port
- **T:** Pompanın hidrolik sıvı giriş portu
- **C:** Pompa kontrol sinyal girişi
- **S:** Pompa açısal hız sinyal girişi

Şeklinde tanımlanabilir. Modelleme esnasında, pompanın içten yanmalı motora sabit bir çevrim oranıyla bağlandığı varsayılarak, her bir senaryo için sabit bir çevrim oranıyla pompa açısal hızı belirlenecektir. Bu sayede her bir senaryo için, motor 550 d/dk hızı ile 2400 d/dk hızı arasında çalışırken, değişken debili pompa da sabit bir çevrim oranıyla, pompa tasarım aralığında çalışacaktır. Pompanın debi ve basınç isterleri ise her bir senaryo için değerlendirilecek ve belirlenecektir. Pompa ile krank mili arasındaki çevrim oranı 0,74 olarak belirlenmiştir. Bu oran aynı zamanda referans alınacak bir değişken debili pompanın da maksimum pompa hızı değerleriyle de uyumlu olmalıdır. Varsayılan bu çevrim oranıyla birlikte, senaryolar için belirlenen değişken debili pompanın açısal hız değerleri d/dk ve rad/s olarak Çizelge 5.5’de belirtilmiştir;

Çizelge 5. 5 Senaryolara göre motor ve pompa hızları

Senaryolar	Motor Hızı (d/dk)	Pompa Hızı (d/dk)	Pompa Hızı (rad/s)
Rölanti	550	742,5	77,75
Maksimum Tork	1400	1890	197,92

Çizelge 5. 5 Senaryolara göre motor ve pompa hızları (Devamı)

Maksimum Güç	1800	2430	254,47
Maksimum Hız	2400	3240	339,29

Modelde değişken debili pompanın parametrelerini belirleyebilmek ve değerlerin gerçekçiliğini sağlamak için referans bir değişken debili pompa belirlenmiştir. Bunun için belirlenen pompa, REXROTH firmasının A10VO serisi değişken debili pompalarından maksimum 18 cm³/d debiye sahip olan A10VSO modelidir.



Şekil 5. 6 Rexroth A10VSO değişken debili pompa

Referans alınan pompanın teknik özellikleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir;

Çizelge 5. 6 Referans alınan pompanın teknik özellikleri

Parametre	Sembol	Birim	Değer
Kapasite	V_d	cm^3/d	18
Maksimum Hız	n_{nom}	d/dk	3300
Maksimum Anlık Hız	n_{mak}	d/dk	3900

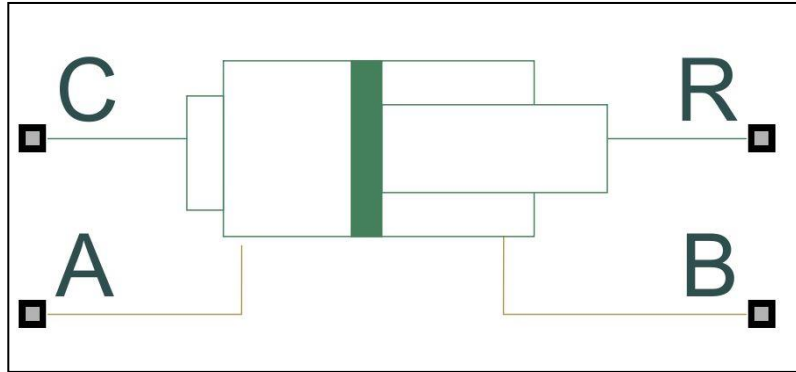
Çizelge 5. 6 Referans alınan pompanın teknik özellikleri (Devamı)

Güç	P_{mak}	kW	28
Tork	T_{mak}	Nm	80
Basınç	ΔP	Bar	280

5.2.2 Hidrolik Silindir

Sistemde kullanılacak olan hidrolik silindir, rafta hazır bir ürün olmayacağı ve motora özel tasarlanacağı için referans bir hidrolik silindir parametreleri dikkate alınmamıştır. Bunun yerine motor tasarımında paket tasarımını el vereceği şekilde bir hidrolik silindir boyutlandırması yapılmıştır.

Seçilen hidrolik devre şemasında kullanılan hidrolik silindir tipi, çift etkili silindir olup, MATLAB Simscape arayüzü içerisindeki çift etkili silindir modülü kullanılmıştır.

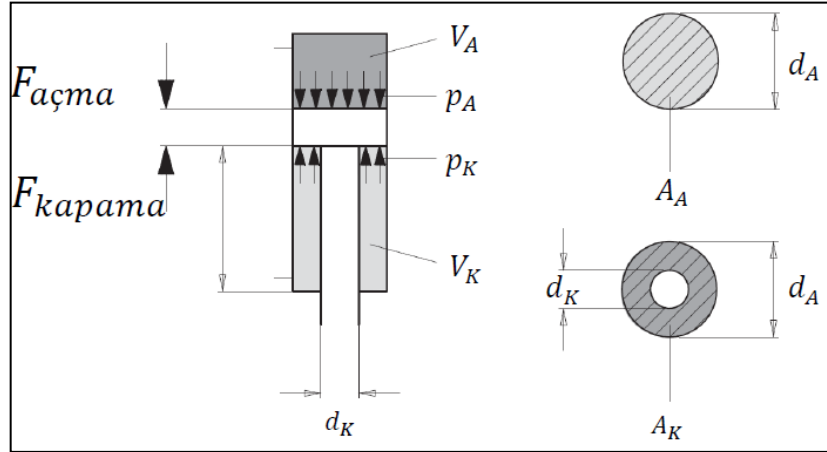


Şekil 5. 7 Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi

Şematik gösterimde yer alan hidrolik silindirin portları;

- **C:** Silindirin bağlı olduğu referans - gövde
- **R:** Pistonun hareketini ilettiği bağlantı portu
- **A:** Silindirin yağ beslendiği A portu
- **B:** Silindirin yağ beslendiği B portu

Şeklinde tanımlanabilir. Burada supabın açılmasını sağlayan, hidrolik basıncın A portuna etki ederek, pistonun B portu yönünde hareket etmesidir. Şekil’de, supabın açılma ve kapanma yönüne doğru olan kuvvetler ve hidrolik silindir içerisindeki boyutsal parametreler ifade edilmiştir.



Şekil 5. 8 Hidrolik silindir şematik gösterimi ve parametre isimlendirme

Sistem için seçilen piston çapı, supap açma yönünde;

$$d_A = 20mm \quad (5.1)$$

Supap kapanma yönünde belirlenen piston sap çapı;

$$d_K = 10mm \quad (5.2)$$

Olarak seçilmiştir. Hidrolik basıncın supabı açma ve kapama yönünde etki edeceği net piston kesit alanları ise belirlenen piston çapı ve sap çapına göre hesaplanırsa;

$$A_A = 314,15mm^2 \quad (5.3)$$

$$A_A = 314,15\text{mm}^2 - 78,54\text{mm}^2 = 235,61\text{mm}^2 \quad (5.4)$$

Değerleri elde edilir. Hesaplanan kesit alanları ve supap açılma miktarı, modeldeki çift etkili silindir modülüne girilir.

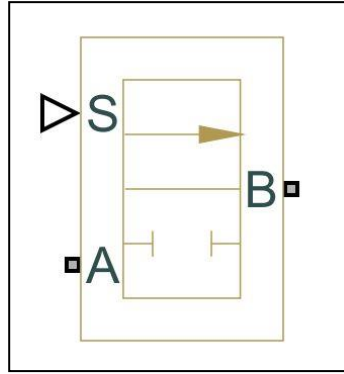
Simscape çift etkili modülünde, hesaplamalardaki varsayımlar ise;

- Silindir piston arası sürtünmeler ihmal edilmiştir.
- Ataletler ihmal edilmiştir.
- Hidrolik akışkanın tamamen sıkıştırılamaz olduğu varsayılmıştır.

- Silindir içerisindeki sızıntılar ihmal edilmiştir.
- Piston hareketinin tamamlandığı silindir uçları inelastik varsayılmıştır.

5.2.3 Akış Kontrol Valfleri

Hidrolik devrede, çift etkili silindirin supap hareketini gerçekleştirmesi için 2 adet 1-0 çalışan akış kontrol valfi kullanılmıştır. Oransal kontrollü valf kullanmak yerine, yapısal olarak daha basit olan 1-0 valfler, sistemin hızlı çalışmasına daha uygundur. Oransal valfler yerine sistem değişken debili pompa parametreleriyle farklı pompa kapasitesi, debi ve basınç ihtiyacını sağlamaktadır. Akış kontrol valfleri, MATLAB Simscape arayüzü içerisindeki 2 yollu valfler ile sağlanmaktadır.

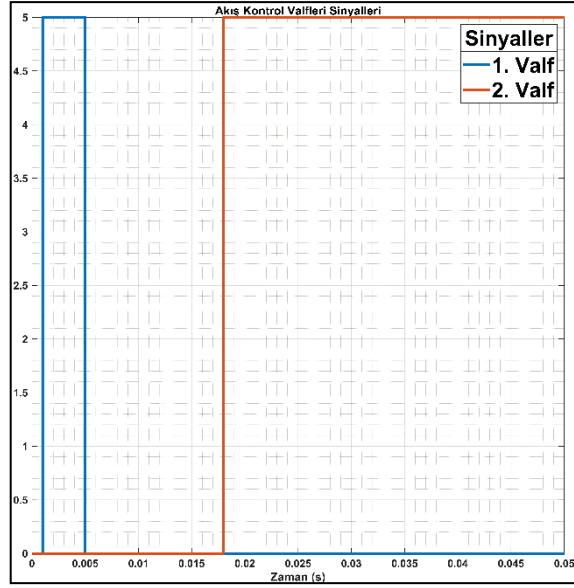


Şekil 5. 9 Simscape kontrol valfi modülü şematik gösterimi

Şematik gösterimde yer alan iki yollu valfin portları;

- **S:** Valf hareket sinyal giriş portu
- **A:** Basınç giriş portu
- **B:** Basınç çıkış portu

Şeklinde tanımlanmaktadır. Modül içerisindeki model parametreleri, maksimum tanımlanan kesit alanı ve açılma miktarı olarak modellenmiştir. Valfin sadece 1-0 çalıştığı varsayılarak, kontrol sinyalleri 1-0 olarak modellenmiştir. Örnek olarak, 550 dk/ motor hızında, 1. Akış kontrol valfinin çalışma sinyali Şekil 5.10'da gösterilmiştir;



Şekil 5. 10 Örnek bir kontrol valfi sinyali

5.2.4 Diğer Simülasyon Devre Elemanları

MATLAB Simscape modelinde sistemde yer alan ve sistemin çalışması için tanımlanan değerler içeren devre elemanları da aşağıdaki devre elemanlarıdır;

- Hidrolik referans kaynağı
- İdeal açısal hız kaynağı
- İdeal kuvvet kaynağı
- Referans piston kütlesi
- Valf sinyalleri
- Basınç güvenlik valfi

Hidrolik referans kaynağı, değişken debili hidrolik pompanın hidrolik basıncı aldığı ve hidrolik tankı görevi gören sınırsız – ideal şartlarda hidrolik kaynak görevi görür. Aynı zamanda basınç güvenlik valfi ve hidrolik silindirden akışı supap kapanma yönüne doğru boşaltan 2. Kontrol valfinden geçen hidrolik akış hidrolik referans kaynağına boşalır.

İdeal açısal hız kaynağı ise içten yanmalı motorun daha önce belirlenen çevrim oranıyla değişken debili pompayı hareket ettirdiği açısal hızı veren kaynak olarak kabul edilir.

Buna göre motor Çizelge 5.6'da belirlenen senaryolar için hidrolik pompa hızları bu ideal açısız hız kaynağı ile pompaya sağlanır.

İdeal kuvvet kaynağı ise sistemin modellenmesinde, referans motor için kullanılacak olan supaba gelen kuvvetleri hidrolik pistonu iletmek için kullanılan devre elemanıdır. Supap kuvvetleri ilgili senaryo için zamana bağlı olarak ideal kuvvet kaynağına bir kuvvet-zaman sinyali ile iletilir ve bu şekilde supaplara gelen kuvvetler simülasyon modelinde modellenmiş olur.

Referans piston kütlesi de, devre elemanı olarak supap hareketinde sistemin temel hareket eden kütlesini de sistemde hesaba katmak için kullanılan ve bir ağırlığın tanımlandığı devre elemanıdır.

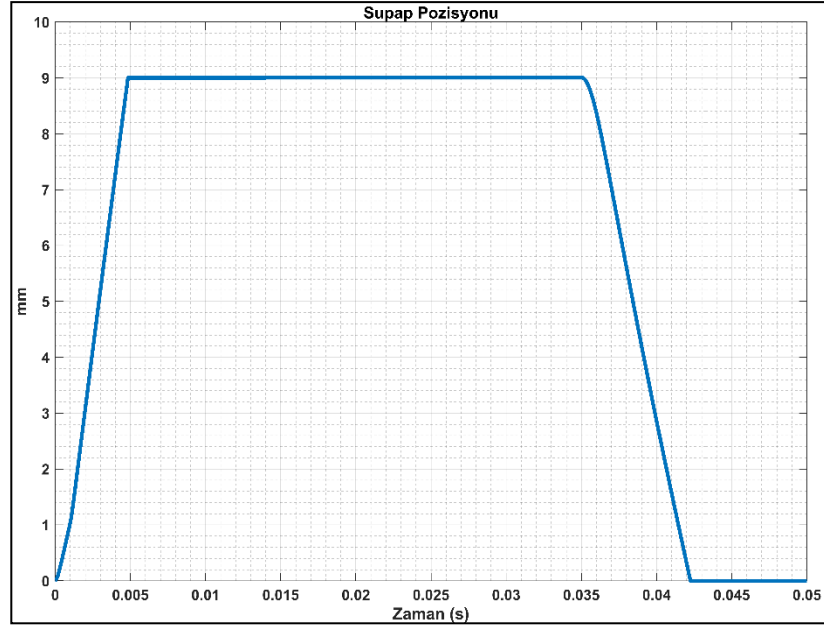
Valf sinyalleri, akış kontrol valflerini zamana bağlı olarak kontrol etmek için her bir senaryoya göre valfler 1-0 çalışacak şekilde oluşturulmuş sinyal grafiklerini ifade eder. Bu sinyal grafikleri kontrol valflerinin S portlarına bağlanarak valfin kontrol edilmesini sağlarlar.

Basınç Güvenlik valfi, değişken debili pompa çıkışındaki basıncın sistem içerisinde anlık oluşturduğu yüksek basınç noktalarını indirgemen için kullanılan ve sistemin tümünün maruz kalacağı gereksiz fazla basıncın oluşmasını engelleyen valflerdir. Bu sayede hem sistemin güvenli basınç aralığında kalması hem de değişken debili pompanın sistemde akış olmayan noktalarda gereksiz güç tüketimi oluşturmamasını sağlar.

5.3 Simülasyon Sonuçları

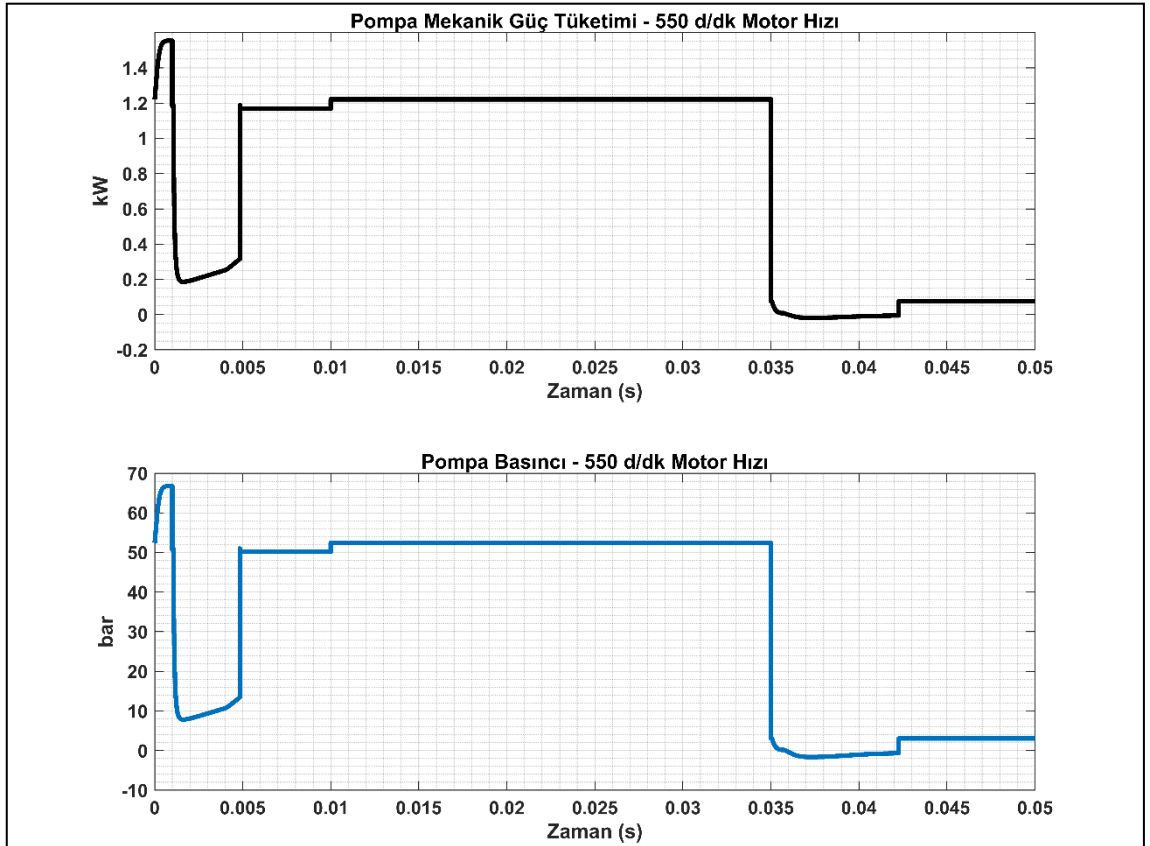
5.3.1 Rölanti Hızı

Motorun rölanti hızı olan 550 d/dk çalışma hızında, değişken debili pompa 742,5 d/dk çalışma hızıyla supapların hareketinin 42ms içerisinde tamamlanmasını sağlamaktadır.



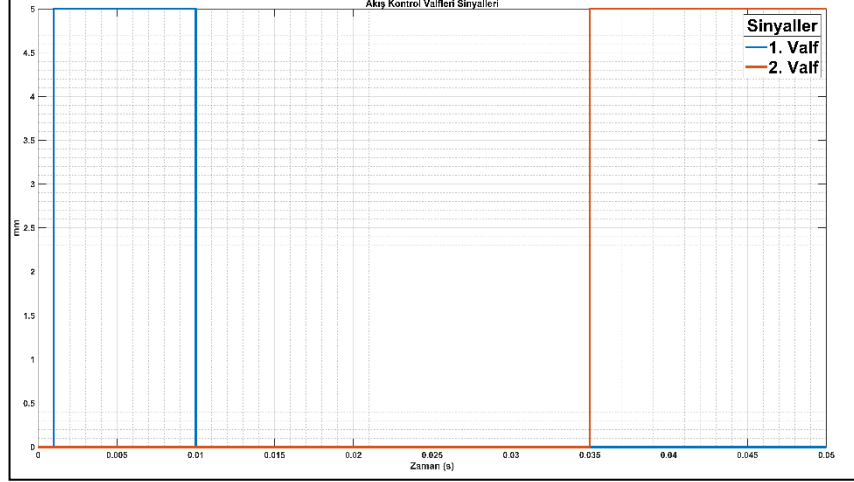
Şekil 5. 11 Supap hareket grafiği – 550 d/dk

Motor hızının düşük olması nedeniyle pompanın silindir hareketini sağlaması için ihtiyaç duyduğu kapasite $15 \text{ cm}^3/d$ olarak sağlanmıştır. Değişken debili pompanın tükettiği mekanik güç ve sağladığı basınç artışı Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 12 Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 550 d/dk

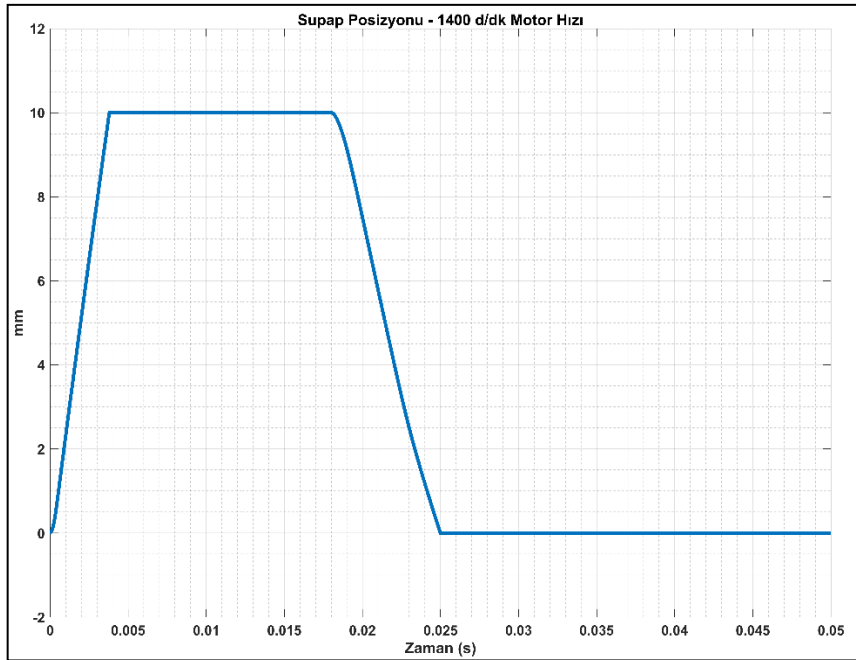
Hidrolik silindire hidrolik akışını kontrol eden valflerin kontrol sinyalleri ise Şekil 5.13’de yer almaktadır.



Şekil 5. 13 Kontrol valfi sinyalleri – 550 d/dk

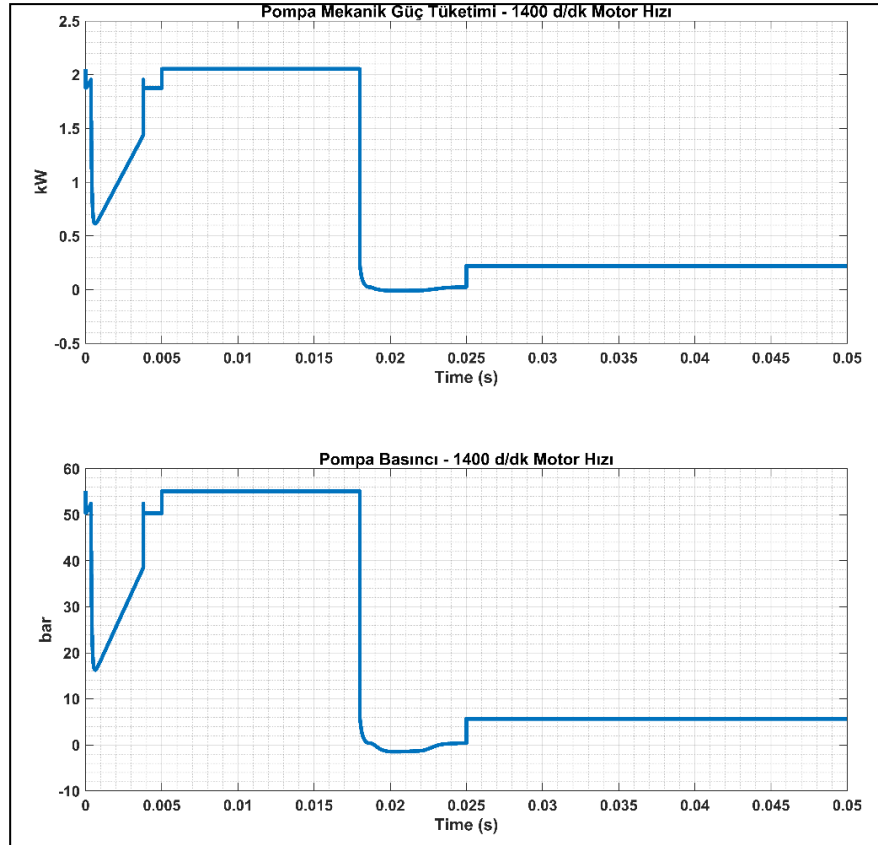
5.3.2 Maksimum Tork Hızı

Motorun maksimum tork hızı olan 1400 d/dk çalışma hızında, değişken debili pompa 1890 d/dk çalışma hızıyla supapların hareketininin 42ms içerisinde tamamlanmasını sağlamaktadır.

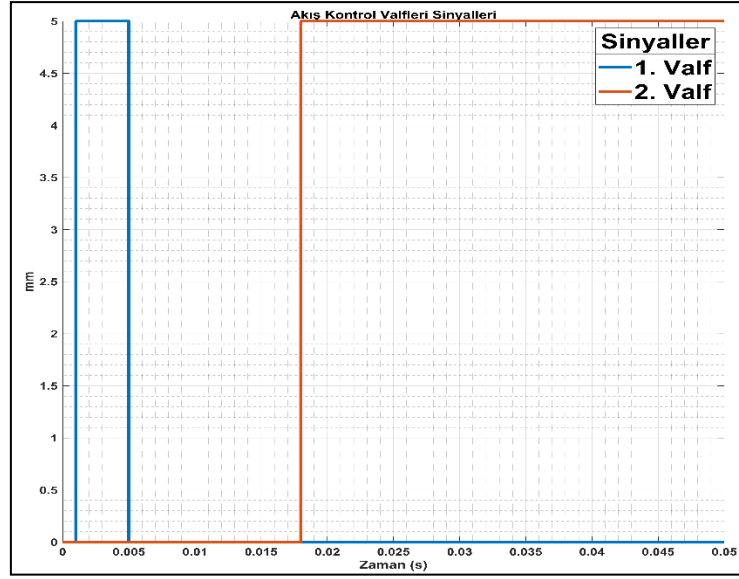


Şekil 5. 14 Supap hareket grafiği – 1400 d/dk

Maksimum tork hızı rölantı hızına göre yaklaşık 2.5 kat daha fazladır. Sabit dişli oranlı olmasından ötürü değişken debili pompanın da hızı yükselmekte ve bundan dolayı pompanın silindiri doldurabilmesi için ihtiyacı olan kapasite gereksinimi azalmaktadır. 1400 d/dk motor hızı ve belirtilen yük altında istenilen supap grafiğinin elde edilmeye çalışıldığı bu senaryoda, değişken debili pompanın $8 \text{ cm}^3/\text{d}$ kapasitesi, sistemin 25ms içerisinde 10mm supap açıklığıyla çalışabilmesini sağlamaktadır.



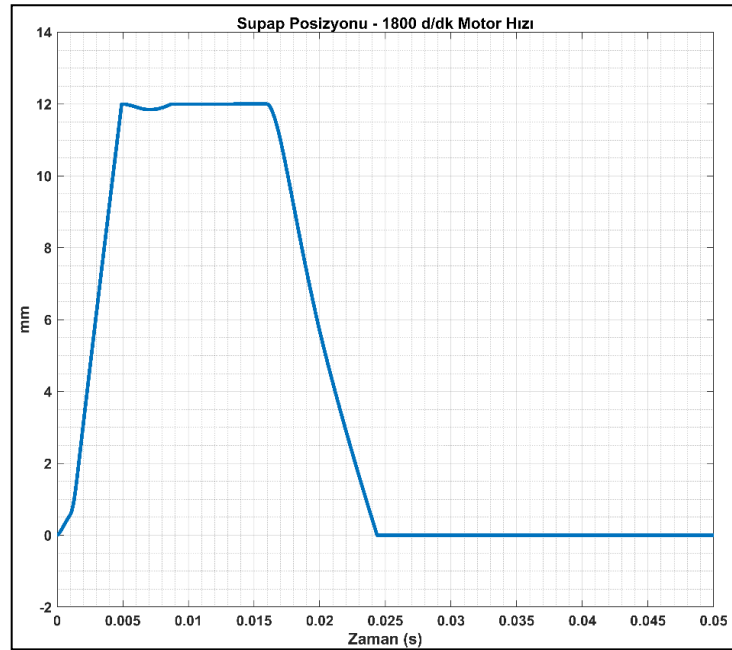
Şekil 5. 15 Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1400 d/dk



Şekil 5. 16 Kontrol valfi sinyalleri – 1400 d/dk

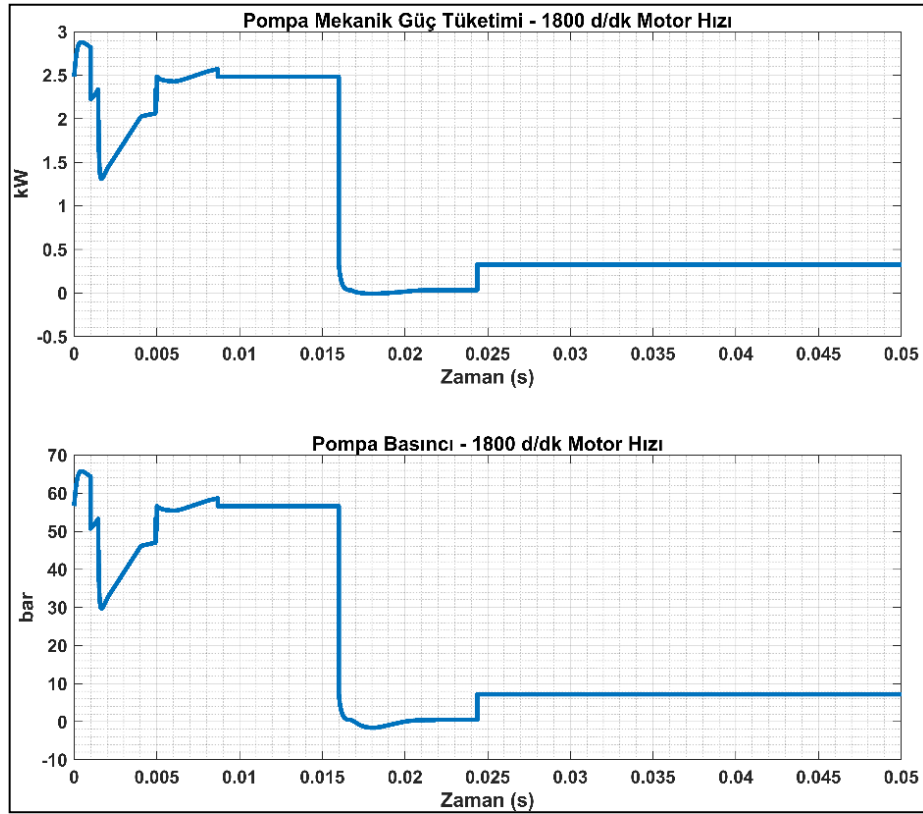
5.3.3 Maksimum Güç Hızı

Maksimum tork alınan hızdan daha yüksek bir hız olan maksimum güç hızında, supap sistemi 12mm supap açıklık miktarını, 24ms içerisinde sağlayabilmektedir. Şekil 5.17’de supap grafiğinin 4-8 ms arasında yaklaşık olarak 0.1mm maksimum açıklıktan geri geldiği bir dalgalanma alanı görülmüştür. Bu dalgalanma miktarı sorunlu bir miktar olarak görülmediğinden bir önlem alınma ihtiyacı duyulmamıştır.



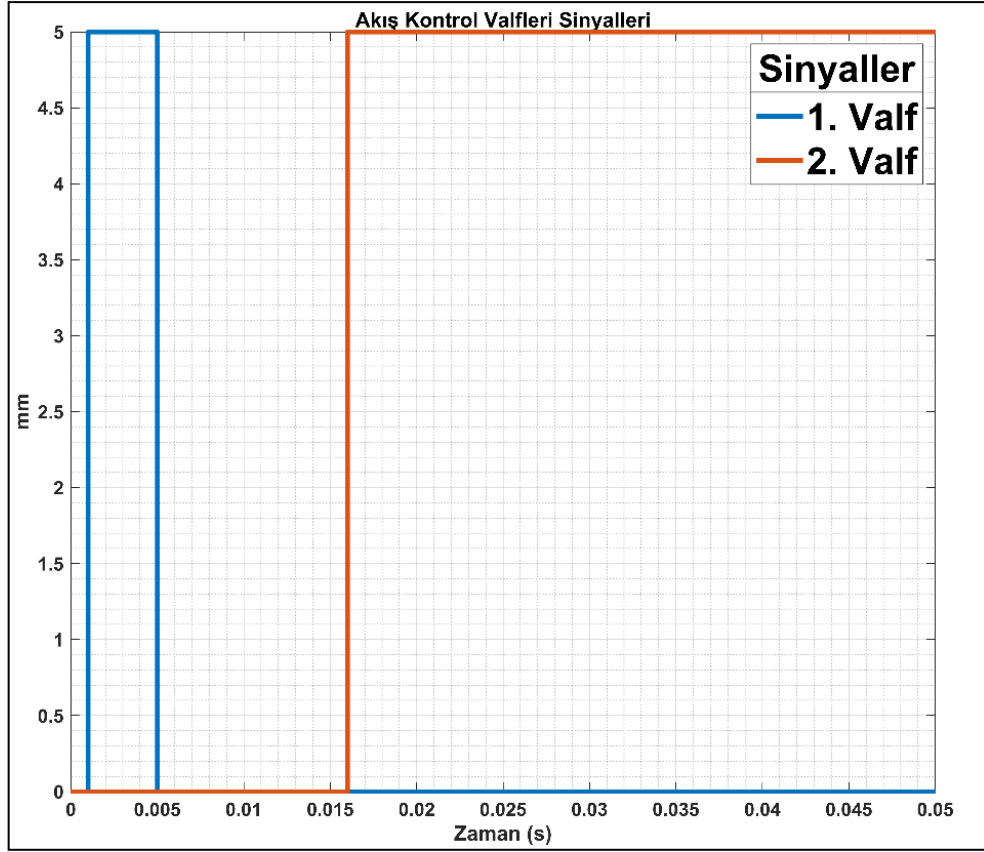
Şekil 5. 17 Supap hareket grafiği – 1800 d/dk

Maksimum güç hızı supap üzerine en yüksek kuvvetlerin geldiği yük durumudur. Maksimum motor hızının anlık olarak karşılaştığı kuvvet maksimum güç hızından fazla olsa da, strok boyunca maksimum güç noktasında supaplar daha fazla kuvvete maruz kalırlar. Değişken debili pompanın Şekil5.17’de belirtilen supap hareketini sağlaması için ihtiyaç duyulan pompa kapasitesi, pompanın 2430 d/dk hızda dönerken, $7 \text{ cm}^3/d$ olarak belirlenmiştir. Bu yüzden grafiklerden görülebileceği üzere maksimum güç noktasında değişken debili pompanın harcadığı mekanik güç miktarı daha fazla olmaktadır.



Şekil 5. 18 Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1800 d/dk

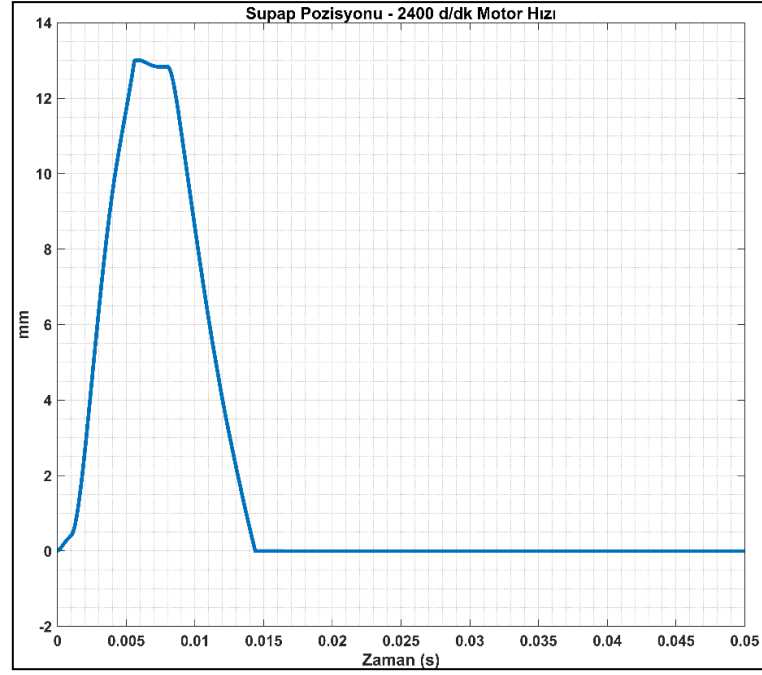
Maksimum güç noktasında silindirdeki hidrolik akışını kontrol eden akış kontrol valflerinin sinyalleri de Şekil 5.19’daki gibidir;



Şekil 5. 19 Kontrol valfi sinyalleri – 1800 d/dk

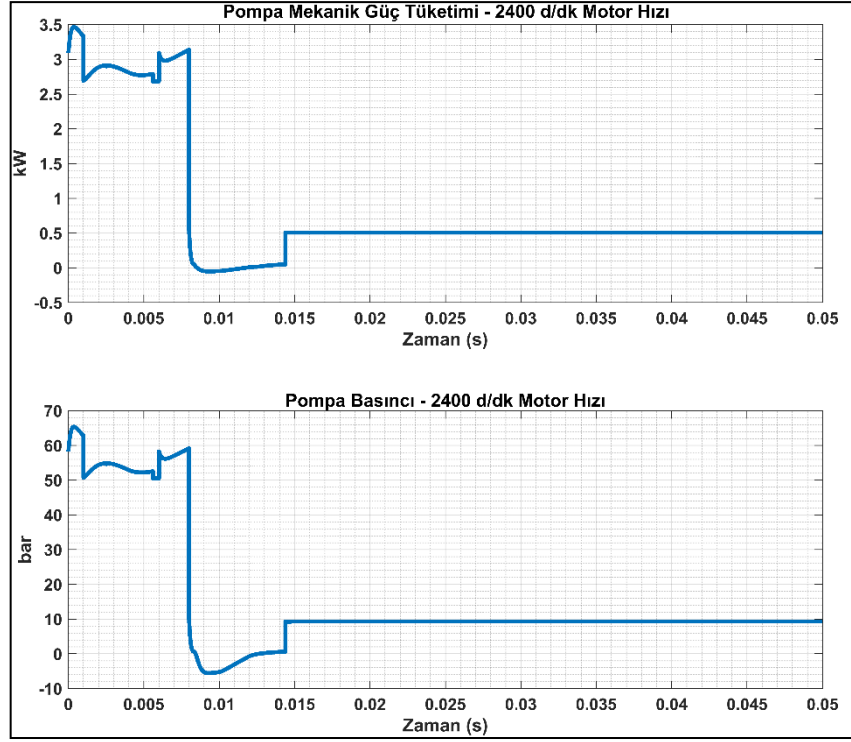
5.3.4 Maksimum Motor Hızı

Maksimum motor hızı bölgesinde supaplar açılma esnasında kısa süreli yüksek kuvvete maruz kalırlar, açılma zamanının da çok kısa olmasından dolayı hidrolik sistemin çok hızlı tepki verebilmesi gerekmektedir. Buna göre parametreleri belirlenen hidrolik sistem, 2400 d/dk motor hızında, supapların 14ms içerisinde açılıp kapanabilmesini sağlamaktadır.



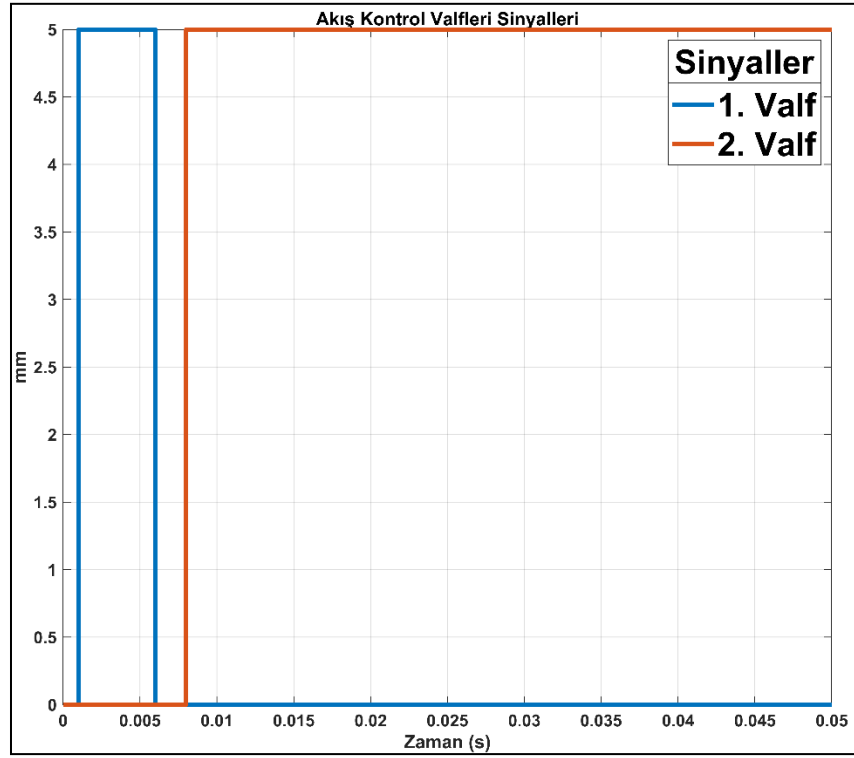
Şekil 5. 20 Supap hareket grafiği – 2400 d/dk

Yüksek motor hızı ve paralelinde yüksek değişken debili pompa hızıyla birlikte, hidrolik silindire giden akış için ihtiyaç duyulan kapasite miktarı diğer çalışma senaryolarına göre daha az olarak ortaya çıkmaktadır. Maksimum motor hızında istenilen supap grafiğini veren değişken debili pompanın kapasitesi $6 \text{ cm}^3/d$ olarak belirlenmiştir. Buna göre pompanın mekanik güç tüketimi ve pompa basıncı Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 21 Pompa mekanik güç tüketimi ve basınç grafiği – 1800 d/dk

Maksimum motor hızında akış kontrol valflerinin kontrol sinyalleri Şekil 5.22'deki gibidir;



Şekil 5. 22 Kontrol valfi sinyalleri – 2400 d/dk

Şekil 5.22’de görülebileceği üzere, maksimum motor hızı, valflerin kontrollerinin zamanlaması açısından en kritik hız olmaktadır. 1. Kontrol valfi sadece 5ms boyunca açık kalmaktadır.

5.4 Dinamik Etkiler

Elektro hidrolik supap sistemi, içten yanmalı motorun hız ve ivmelerinin en yüksek olduğu alt sistemlerden birisi olan supap sistemi ve hidrolik sistemin dinamiklerinden gelen yüksek derecede dinamikliğe sahip bir sistemdir. İçten yanmalı motor parametreleri ile idealize edilmiş bir hidrolik sistemin dinamik davranışlarının modellenmesi, test edilmesi ve testler sonucunda tüm sistem dinamiklerinin etkilerinin tekrar modellenmesiyle sistemin tüm motor çalışma parametreleri için optimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için ise motor parametrelerine göre yaklaşım sergilenen hidrolik model prototip olarak motorda farklı çalışma şartlarında denenmelidir. [12]

Elektro hidrolik supap sistemi, çalışma mimarisi ve karakteristikleri düşünüldüğünde sistemin aşağıdaki dinamik etkiler altında olması beklenir;

- Sistem rijitliği
- Sistemin sönümü
- Dinamik yükler, ivmelenme ataletleri
- Viskozite, sıcaklığa bağlı değişim
- Hidrolik akışkan sıkıştırılabilirliği
- Zamana bağlı basınç artım oranı, sistem elemanlarında basınç oluşum hızı.
- Sistemdeki akışkan sızmaları
- Zamanla oluşan aşınmalar
- Montaj koşullarının getirdiği değişkenlikler

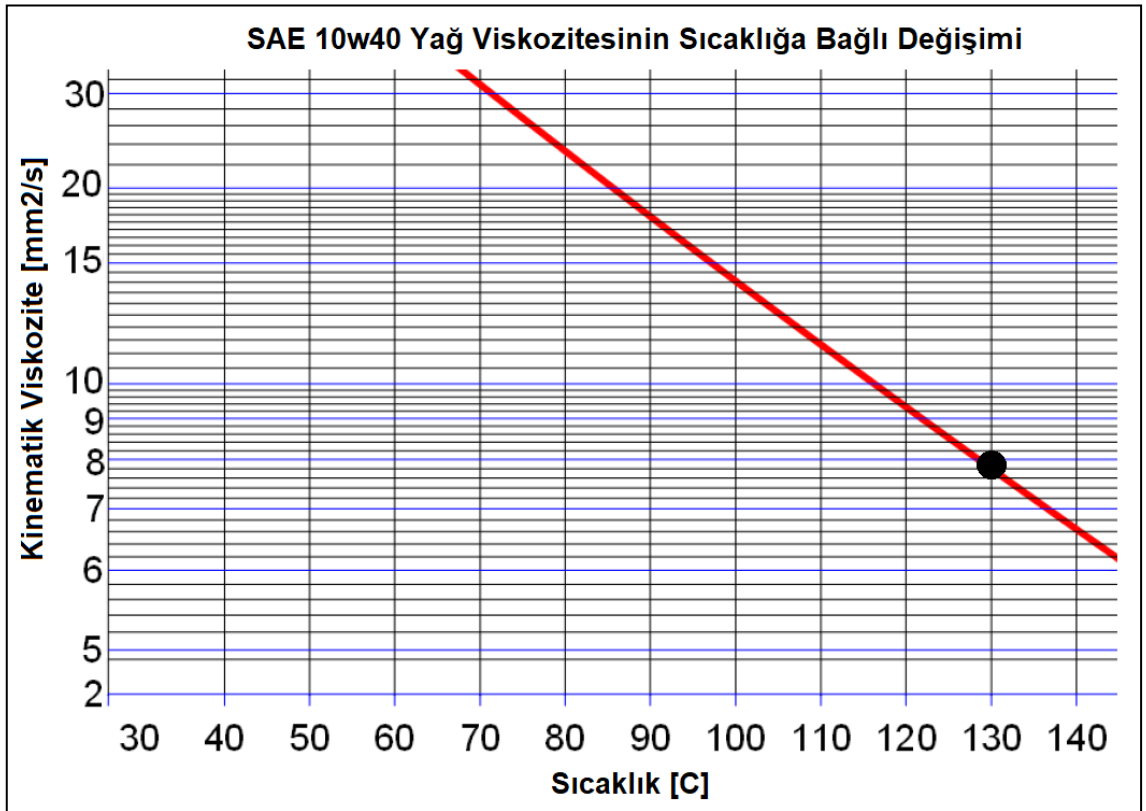
Bu dinamik etkilerden sistemin sıcaklığa bağlı olarak hidrolik sıvısının viskozite değişiminin sistem performansına etkisi Simscape ortamında, sistemde kullanılan yağın viskozite ve yoğunluk değerlerinin değiştirilmesiyle incelenecektir. MATLAB Simscape modelinde varsayılan hidrolik yağ özellikleri olarak kullanılan yağ özellikleri,

Çizelge 5. 7 MATLAB SimScape varsayılan hidrolik sıvı özellikleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	d	900	Kg/m^3
Kinematik Viskozite	v	18	mm^2/s

Ortalama motor çalışma sıcaklıkları göz önünde bulundurulduğunda, maksimum güç noktasında motor yağının en yüksek sıcaklığa ulaşacağı düşünülerek, sistemin modelleneceği yağ sıcaklığı maksimum 130 C° derece olarak varsayılmıştır.

Şekil 5.23’de yer alan grafik, SAE 10w40 motor yağına ait olmakla beraber kinematik viskozite değerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Buna göre bu grafikte 130 C° yağ sıcaklığı için yağın sahip olduğu viskozite değeri 7,8 mm^2/s olarak ölçülmüştür. Yağ yoğunluğu da 130 C° için 784,3 Kg/m^3 olarak verilmiştir.

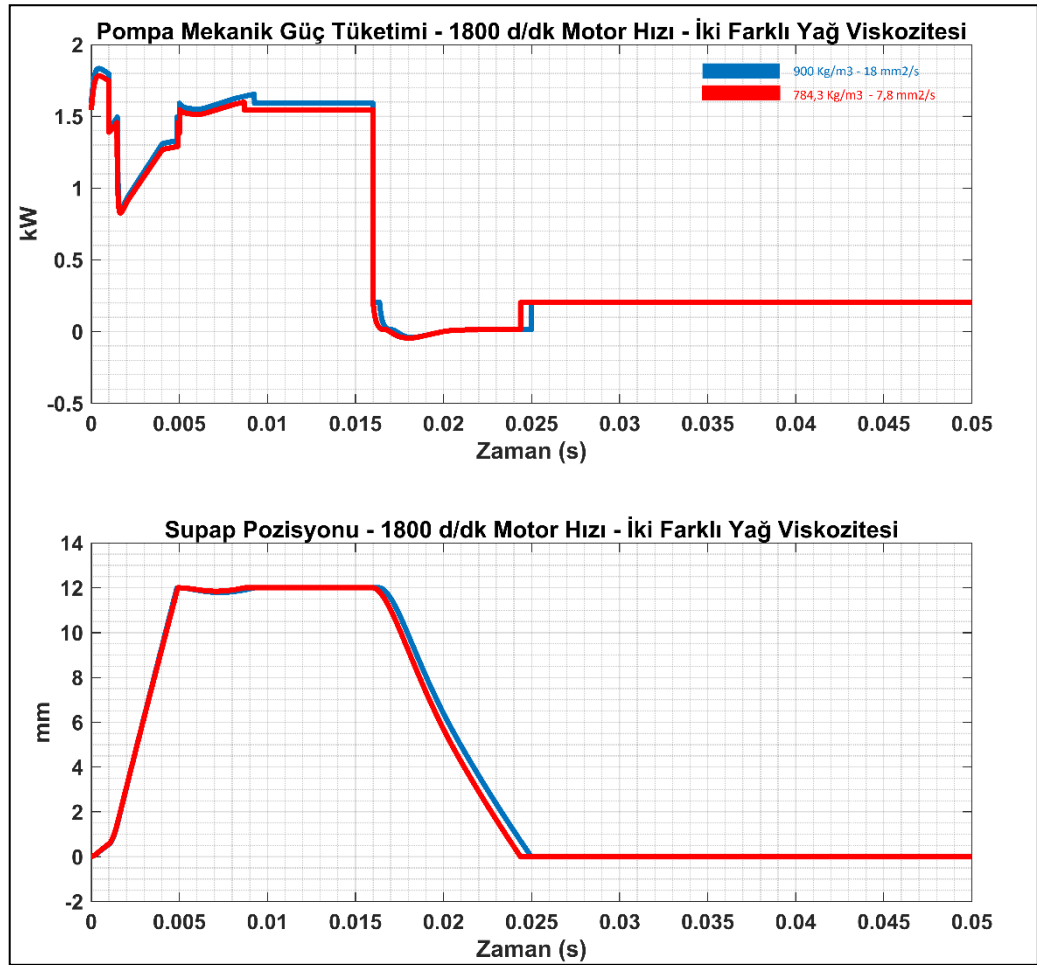


Şekil 5. 23 SAE 10w40 yağın sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Çizelge 5. 8 130 C° yağ sıcaklığı için yağ yoğunluk ve kinematik viskozite değerleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	d	784,3	Kg/m^3
Kinematik Viskozite	v	7,8	mm^2/s

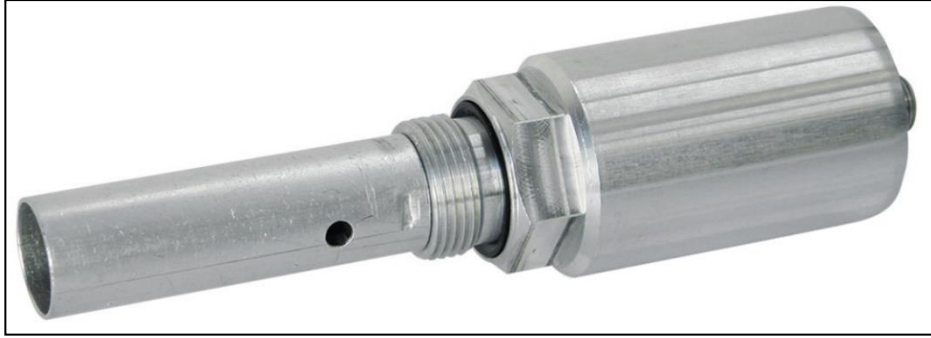
Maksimum motor gücü devrinde yapılan analiz sonucu ortaya çıkan supap grafiği ve değişken debili pompanın güç tüketimi grafikleri Şekil 2.24'de gösterilmiştir;



Şekil 5. 24 Simscape değişken debili pompa modülü şematik gösterimi

Şekil 2.24'de yer alan grafikte, pompanın güç ihtiyacının yağ viskozitesinin azalmasıyla azaldığı görülmektedir. Yağın akışa olan direnci azaldığından bu beklenen bir durum olup pompa güç tüketimi grafiğinde de görülmektedir. İlk bakışta pompa güç tüketimini azalttığı için olumlu bir değişim gibi görünse de, supap pozisyonu grafiğinden

görülebileceği üzere, viskozite değişimi, sistem kontrol parametrelerinin değişmediği varsayıldığında sistemin tasarlanandan farklı bir supap profilinde çalışmasına neden olmaktadır. Bu durum çalışma koşullarının önceden test edilerek kalibre edilmesiyle sıcaklık faktörünün parametre seçimine etkisi incelenebilir, ancak değişken supap sistemi tasarımı için değişken koşulların her zaman dikkate alınabileceği şekilde bir yağ viskozite sensörü yahut yağ sıcaklık sensörü kullanılarak, yağ sisteminin sıcaklığına bağlı viskozite değişiminin motor kontrol ünitesi tarafından algılanarak elektro hidrolik sistemin parametrelerini kapalı çevrim olarak kontrol edilmesi sağlanabilir.



Şekil 5. 25 Yağ viskozite sensörü

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, içten yanmalı motorların günümüz teknolojisinde çeşitli sistemlerle donatılmış araçlarda farklı koşullara en uygun şekilde ayak uydurabilmesi adına geliştirilen teknolojilerinden birisi olan değişken supap sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin en yüksek performansı sağlayan elektro hidrolik supap sistemi konsepti, BMC Power bünyesinde geliştirilen ve konvansiyonel bir supap sistemine sahip ağır ticari araç motoru tasarımına uyarlanabilecek şekilde kavramsal tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kavramsal tasarım aşamasında elektro hidrolik sistem için kullanılabilecek 3 adet hidrolik devre elemanı, tasarım karar tabloları oluşturularak değerlendirilmiş ve bir hidrolik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Hidrolik devrenin motor supabı hareketi içerisindeki çalışma durumu gösterilmiş, bir supap hareket çevrimi boyunca kontrol valflerinin çalışma durumları, devre içerisindeki akış durumları, hidrolik silindir içerisindeki pistonun hareket durumları gösterilmiştir.

Kavramsal tasarım aşamasının bir diğer kolu olarak, bu sistemin 3-Boyutlu tasarım programında kavramsal detay seviyesinde tasarımı yapılmış, referans alınan motorun silindir kafası üzerinde yer alan hali hazırdaki mekanik supap sistemi hacim zarfı içerisine elektro hidrolik sistemin yerleştirilmesi sağlanmıştır. Bu yöntem ileride yapılabilecek detay tasarım ve prototip üretimi ile, sistemin referans motor üzerinde uygulanarak test edilebilmesini, referans motor üzerinde performans testleri ve yakıt tüketimi testleri gibi testlerin gerçekleştirilebilmesini sağlayacaktır.

Sistemin modellenen çalışma parametrelerinin dışında dinamik etkilerinden bahsedilmiş ve bu etkilerden biri olarak da hidrolik sistemin çalışma sıcaklığı farklılığının sisteme etkisi incelenmiştir. Yapılan bu inceleme sonucunda ortaya çıkan farklılıklar neticesinde sistemde bir yağ viskozite sensörü ya da yağ sıcaklık sensörü kullanılması gerektiği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmalar elektro hidrolik supap sisteminin uygulanabilirliğini göstermiş ve model parametrelerinin bağlı olduğu mekanizmaların gerçek dünya koşullarına göre yapılacak olan testler ve testler sonucunda yapılacak model optimizasyonlarıyla daha ileriye taşınabileceği görülmüştür.

Tez içerisinde yapılan çalışmanın ardından gelecek çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

- Kavramsal tasarımı yapılan elektro hidrolik aktüatör gövdesi, uygulanacak motor tipine ve üretim adetlerine & market koşullarına göre seri imalat çerçevesinde değerlendirilerek tasarım maliyet etkin bir şekilde güncellenebilir.
- Sistemin içten yanmalı motor ve bu motorun kullanılacağı araç tipinin sürüş çevrimleri göz önünde bulundurularak, sistemin referans araç ve motor için sürüş karakteristikleri, motor yanma karakteristikleri, mekanik performans karakteristikleri birleştirilerek sistemler arası entegrasyon sağlanmasıyla supap sistemi optimizasyonu geniş bir simülasyon platformunda gerçekleştirilebilir.
- Sistemin prototipleri üretilerek içten yanmalı motor üzerinde çalışabilir halde enstrümente edilip sistemin test edilmesi sağlanabilir. Yapılacak ilk testlerle birlikte elde edilecek olan ölçümlerle birlikte sistemin dinamik etkileri incelenip bu dinamik etkiler göz önünde bulundurularak kurulan simülasyon modeli güncellenip tasarım parametreleri yapılan testler ışığında güncellenebilir.
- İçten yanmalı motor üzerinde optimize edilen sistemin, araç sürüş çevrimi ile etkisi yapılacak araç testleriyle incelenebilir, ve yapılacak olan bu testler ışığında tasarım ve simülasyon senaryoları tekrar güncellenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Advanced Engine Technologies, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, https://www.fueleconomy.gov/feg/tech_engine_more.shtml, 01 Eylül 2018.
- [2] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011). Motorlu Araçlar Teknolojisi Supap Sistemleri 525MT0283, Ankara.
- [3] Powertrain Resarch Department, Lotus Engineering, (2005). Requirements for the Valve Train and Technologies for Enabling HCCI Over the Entire Operating Range, İngiltere.
- [4] Can Ç. Ve Ahmet U., (2014) “Homojen Dolgulu Sıkıştırma İle Ateşlemeli Bir Benzin Motoru İçin Kam tasarımı ve İmalatı”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 29. No1, 15-22.
- [5] Wikipedia, VVT-i, <https://en.wikipedia.org/wiki/VVT-i> 10 Eylül 2018.
- [6] Honda Türkiye, Otomobil Teknik Sözlük, <https://honda.com.tr/sozluk/vtec>, 10 Eylül 2018.
- [7] Robert H., Peter K., ve Heinz U., (2010). “Dynamic Analysis of the Audi Valvelift System”, SAE Technical Paper, 2010-01-1195.
- [8] S. Hara, (2009). “Variable Valve Actuation Systems for Environmentally Friendly Engines”, Hitachi Review 58 (7): 319-324.
- [9] Christopher W. Turner, Guy R. Babbitt, Christopher S. Balton, Miguel A. Raimao ve Daniel D. Giordano, (2004). “Design and Control of a Two-Stage Electro-Hydraulic Valve Actuation System”, SAE Technical Paper Series 2004 World Congress , 2004-01-1265.
- [10] Dirk Denger ve Karsten Mischker, “The Electro-Hydraulic Valvetrain System EHVS – System and Potential”, SAE Technical paper Series 2005 World Congress, 2005-01-0774.

- [11] Ehsan J., (2016). Design and Experimental Evaluations of a Pump-Controlled Hydraulic Circuit, Phd. Thesis, University of Manitoba Mechanical Engineering, Manitoba.
- [12] Jörn G., Tobias D., Thomas L., ve Erik L., (2015). "A Fully Variable Hydraulic Valve Train Concept with Continuous Measuring of the Valve Lift Movement", SAE Technical Paper, 2015-01-0323.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cihat ÇİFTÇİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.08.1993 – Bandırma
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : cihatciftci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Bandırma Anadolu Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017 – Devam Ediyor	BMC Power	Motor Tasarım ve Geliştirme Mühendisi
2015 - 2017	AVL Türkiye	Motor Tasarım ve Geliştirme Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

- [1] Boğoçlu, M.E. ve Çiftçi C., (2018). “İçten Yanmalı Motorlar İçin Elektro Hidrolik Supap Sistemi Tasarımı” II. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 5-8 Temmuz 2018, Ürgüp
- [2] Soydemir N., Baltalı K., ve Çiftçi C., (2016). “Literature Review of Dual Fuel Conversion of Marine Diesel Engines and Investigation of Design Changes on the Engine”. I. International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC), 26-28 Ekim 2016, Adana.
- [3] Soydemir N., Baltalı K., ve Çiftçi C., (2016). “Design of a Friction Coefficient Measurement Test Bench for a Proper Synchroniser Conce Geometry”, International Conference on Advances in Automotive Technologies, 11-14 Ekim 2016, İstanbul.