

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ TAŞITLAR İÇİN LİNEER JENERATÖR  
TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE  
ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan ŞENER**

**Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Murat KAPSIZ**

**Haziran 2015**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

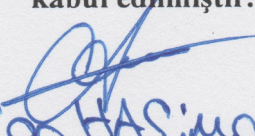
ELEKTRİKLİ TAŞITLAR İÇİN LİNEER JENERATÖR  
TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE  
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

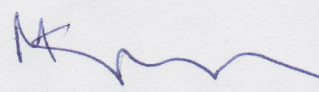
Ramazan ŞENER

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

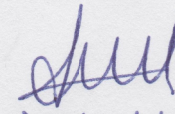
Bu tez 28 / 05 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Can HASİMOĞLU

Jüri Başkanı

  
Yrd. Doç. Dr. Murat KAPSI Z

Üye

  
Yrd. Doç. Dr. A. Neshin KAYA

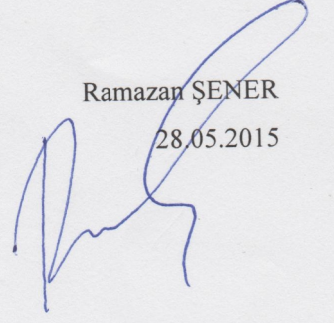
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ramazan ŞENER

28.05.2015



## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıŐmama, yardımlarını esirgemeyen ve beni yönlendiren değerli danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Murat KAPSIZ'a, çalıŐmama katkılarıyla yön veren Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN ve Doç. Dr. Mesut DURAT baŐta olmak üzere tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalıŐmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-01-013) teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca, bir an olsun desteklerini esirgemeyen annem Semahat ŞENER ve babam Abdullah ŞENER'e en içten teŐekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	2
1.2. Yapılan Bazı Teorik Çalışmalar.....	12

### BÖLÜM 2.

ELEKTRİKLİ TAŞITLAR.....	13
2.1. Elektrikli Taşıtların Tahrihsel Gelişimi.....	14
2.2. Elektrikli Taşıtlar Türleri.....	15
2.2.1. Batarya elektrikli taşıtlar(BET).....	15
2.2.1.1. BMW i3.....	15
2.2.1.2. Tesla Roadster.....	16
2.2.2. Hibrit elektrikli taşıtlar(HET).....	16
2.2.2.1. Paralel hibrit taşıtlar.....	17
2.2.2.1.1. Honda Civic Hibrit.....	17
2.2.2.2. Seri hibrit taşıtlar.....	18
2.2.2.2.1. Fisker Karma.....	18

2.2.2.3. Karma hibrit taşıtlar.....	19
2.2.2.3.1. Toyota Prius.....	19
2.3. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Enerji Kaynakları.....	20
2.3.1. Bataryalar.....	20
2.3.2. Kapasitörler.....	21
2.3.3. Volanlar.....	22
2.4. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Sürüş Motorları.....	23
2.4.1. Doğru akım motorları.....	23
2.4.2. Asenkron motorlar.....	24
2.4.3. Sabit mıknatıslı motorlar.....	24
2.4.3.1. Fırçasız DA motorları.....	25
2.4.3.2. Sabit mıknatıslı senkron motorlar.....	25
2.4.4. Anahtarlama relüktans motorlar(ARM).....	25
2.5. Elektrikli Taşıtların Avantaj Ve Dezavantajları.....	27
2.5.1. Elektrikli taşıtların avantajları.....	27
2.5.2. Elektrikli taşıtların dezavantajları.....	27
2.6. Hibrit Elektrikli Taşıtların Avantaj Ve Dezavantajları.....	27
2.6.1. Seri hibrit taşıtların avantaj ve dezavantajları.....	27
2.6.2. Paralel hibrit taşıtların avantaj ve dezavantajları.....	28
2.7. Elektrikli Taşıtlarda Verim.....	28

### BÖLÜM 3.

ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA MENZİL ARTTIRMA.....	30
3.1. Menzil Arttırma Sistemleri.....	30
3.1.1. Serbest Pistonlu Lineer Jeneratör(SPLJ).....	30
3.1.2. İçten Yanmalı Motorlar(İYM).....	32
3.1.3. Gaz Türbin Motorları(GTM).....	33
3.1.4. Yakıt Hücresi Motoru (PEMFC).....	35
3.2. Menzil Arttırma Sistemlerinin Değerlendirilmesi.....	36
3.2.1. SPLJ-PEMFC.....	37
3.2.2. SPLJ-GTM.....	38
3.2.3. SPLJ-İYM.....	38

BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	40
BÖLÜM 5.	
MENZİL ARTTIRMA ÜNİTESİ TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ.....	44
5.1. Serbest Pistonlu Lineer Motor Tasarımı.....	44
5.1.1. Motor Silindiri.....	45
5.1.2. Piston.....	46
5.1.3. Biyel.....	47
5.1.4. Piston pimi.....	47
5.1.5. Montaj.....	48
5.2. Motor Parçalarının Termal Analizi.....	49
5.2.1. Sınır şartlarının belirlenmesi.....	50
5.2.2. Termal analiz sonuçları.....	51
5.3. Motor Parçalarının Yapısal Analizi.....	54
5.3.1. Sınır şartlarının belirlenmesi.....	54
5.3.2. Yapısal Analiz sonuçları.....	55
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA	: Alternatif akım
ARM	: Anahtarlamalı relüktans motor
BET	: Batarya elektrikli taşıt
BSFC	: Spesifik yakıt tüketimi
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
CI	: Sıkıştırma ile ateşleme
DA	: Doğru akım
ET	: Elektrikli taşıt
GTM	: Gaz türbin motoru
HCCI	: Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşleme
HET	: Hibrit elektrikli taşıt
İYM	: İçten yanmalı motor
Li-Ion	: lityum iyon
NiCad	: Nikel Kadmiyum
NiMH	: Nikel Metal Hidrit
NiZn	: Nikel Çinko
Pb	: Kurşun
PEMFC	: Proton değişim membranı yakıt hücresi
SI	: Buji ile ateşleme
SPLJ	: Serbest pistonlu lineer jeneratör



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Eugène Jordan'ın tasarladığı doğrusal jeneratör.....	2
Şekil 1.2.	Noack Freudenreich'in tasarladığı motor.....	3
Şekil 1.3.	Eastern Pontus Mountains'in tasarladığı motor.....	3
Şekil 1.4.	Ralph James'in tasarladığı jeneratör.....	4
Şekil 1.5.	Stirling A. Colgate'in tasarladığı jeneratör.....	4
Şekil 1.6.	Harold Kosoff'un tasarladığı lineer jeneratör.....	5
Şekil 1.7.	Jack Horton tarafında üretilen lineer motor.....	6
Şekil 1.8.	Jarret'in tasarladığı SPLJ.....	6
Şekil 1.9.	Frank Stelzer'in tasarladığı SPLJ.....	7
Şekil 1.10.	Galileo Motorunun tasarımı.....	7
Şekil 1.11.	West Virginia Üniversitesinde tasarlanan prototip.....	8
Şekil 1.12.	Sandia National Laboratuvarlarında tasarlanan prototip.....	8
Şekil 1.13.	Pempek Systems tarafından tasarlanan prototip.....	9
Şekil 1.14.	DLR tarafından tasarlanan SPLJ.....	9
Şekil 1.15.	Volvo tarafından tasarlanan SPLJ.....	10
Şekil 1.16.	DLR tarafından tasarlanan SPLJ'ün 3B modeli.....	10
Şekil 1.17.	Toyota tarafından tasarlanan SPLJ'ün 3B modeli.....	11
Şekil 1.18.	Beetron SPLJ prototipi.....	11
Şekil 2.1.	Elektrikli taşıt sistemi.....	13
Şekil 2.2.	BMW İ3.....	15
Şekil 2.3.	Tesla Roadster.....	16
Şekil 2.4.	Elektrikli Taşıt Türleri.....	17
Şekil 2.5.	Honda Civic Hibrit.....	17
Şekil 2.6.	Fisker Karma.....	18
Şekil 2.7.	Toyota Prius.....	19
Şekil 2.8.	Batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji seviyeleri.....	20

Şekil 2.9.	Kapasitör Modülü.....	21
Şekil 2.10.	Volanın Yapısı.....	22
Şekil 2.11.	DA Motor yapısı ve elemanları.....	23
Şekil 2.12.	Petrolun Kaynaktan Tekere Verimi.....	28
Şekil 2.13.	Elektriğin Kaynaktan Tekere Verimi.....	29
Şekil 3.1.	Serbest pistonlu lineer jeneratörün çalışma prensibi.....	31
Şekil 3.2.	Serbest pistonlu lineer jeneratör sistemleri.....	31
Şekil 3.3.	AVL Wankel Motorlu Menzil Artırıcı Modül.....	33
Şekil 3.4.	Menzili Artırılmış Elektrikli taşıtlar için Capstone C30 Mikro türbini.....	34
Şekil 3.5.	PEM yakıt hücresi modülü.....	35
Şekil 4.1.	Sonlu elemanlar modelinde düğüm noktaları ve elemanlar.....	41
Şekil 4.2.	Sonlu Elemanlar Metodundaki Temel Adımlar.....	42
Şekil 4.3.	Çözüm ağı işlemlerinde kullanılan bazı elemanların yapıları.....	43
Şekil 4.4.	Farklı eleman türlerinin bir arada kullanılması.....	43
Şekil 5.1.	Serbest pistonlu motor tasarımı.....	45
Şekil 5.2.	Motor silindiri.....	46
Şekil 5.3.	Piston Tasarımı.....	46
Şekil 5.4.	Biyel Tasarımı.....	47
Şekil 5.5.	Piston Pimi Tasarımı.....	47
Şekil 5.6.	SPLJ Montaj.....	48
Şekil 5.7.	SPLJ Montaj-2.....	48
Şekil 5.8.	SPLJ Montaj Kesit Görünümü.....	48
Şekil 5.9.	Motorun ANSYS çözüm ağı modeli.....	49
Şekil 5.10.	Sınır şartları tanımlanan yüzeyler.....	50
Şekil 5.11.	Analiz sonucu motordaki sıcaklık dağılımı.....	52
Şekil 5.12.	Analiz sonucu motordaki ısı akısı dağılımı.....	52
Şekil 5.13.	Piston Üst Yüzey Sıcaklık Dağılımı.....	53
Şekil 5.14.	Piston Yanal Yüzel Sıcaklık Dağılımı.....	53
Şekil 5.15.	Motorun çözüm ağı oluşturulmuş görünümü.....	54
Şekil 5.16.	Basınç Sınır şartları tanımlanan yüzeyler.....	55
Şekil 5.17.	Motorda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-1.....	56
Şekil 5.18.	Motorda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-2.....	56

Şekil 5.19.	Motor Pistonunda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-1 .....	57
Şekil 5.20.	Motor Pistonunda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-2.....	57
Şekil 5.21.	Piston yüzeyi(yarım kesit) boyunca oluşan eşdeğer gerilmeler....	58
Şekil 5.22.	Motorda Oluşan Toplam Deformasyon.....	58
Şekil 5.23.	Motor pistonunda oluşan toplam deformasyon.....	59
Şekil 5.24.	Motorda oluşan Maksimum Gerilmeler.....	60
Şekil 5.25.	Motor pistonunda oluşan maksimum gerilmeler.....	60
Şekil 5.26.	Motorda oluşan eşdeğer elastik gerinim.....	61
Şekil 5.27.	Motor pistonunda oluşan eşdeğer elastik gerinim.....	61
Şekil 5.28.	Motorda oluşan maksimum elastik gerinim.....	62
Şekil 5.29.	Motor pistonunda oluşan maksimum elastik gerinim.....	62

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Elektrik motor türlerinin avantaj ve dezavantajları.....	26
Tablo 3.1.	SPLJ karakteristikleri.....	31
Tablo 3.2.	İçten yanmalı motorların karakteristikleri.....	32
Tablo 3.3.	Gaz türbin motoru karakteristikleri.....	34
Tablo 3.4.	Yakıt hücresi karakteristikleri.....	35
Tablo 3.5.	Elektrikli otomobillerde kullanılabilir menzile arttırıcı sistemlerin karşılaştırmalı özellikleri.....	37
Tablo 5.1.	Motorun teknik özellikleri.....	44
Tablo 5.2.	Motoru oluşturan parçaların özellikleri.....	45
Tablo 5.3.	Malzeme özellikleri.....	50
Tablo 5.4.	Motor modelinde tanımlanan sınır şartları.....	51
Tablo 5.5.	Motorun sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları.....	53

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrikli Taşıtlar, Menzil Arttırma Ünitesi, Seri Hibrit Taşıtlar, Serbest Pistonlu Linear Jeneratör, Bilgisayar Destekli Tasarım, ANSYS, Sonlu Elemanlar Yöntemi

Günümüzde depodan tekere (tank to wheel) emisyonu sıfır; verimi ise oldukça yüksek olan batarya elektrikli taşıtların(BET) önündeki en önemli engel yetersiz menzil problemidir.

Bu dezavantajı ortadan kaldıracak, yöntemlerden biri de ihtiyaç duyulduğunda jeneratör görevi görerek bataryayı şarj edecek bir menzil arttırma ünitesi kullanılmalıdır. Menzil arttırıcı ünite olarak; wankel motor, pistonlu içten yanmalı motor, yakıt hücresi, gaz türbin motoru ve serbest pistonlu linear jeneratör(SPLJ) kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında, düşük ağırlıklı elektrikli taşıtlarda kullanılacak, 153 cm<sup>3</sup> hacimli, buji ateşlemeli, direkt yakıt enjeksiyonlu, benzinli, 10:1 sıkıştırma oranına sahip, karşıt-pistonlu serbest-pistonlu linear motorun, SOLIDWOKS programı yardımıyla tasarımı yapılmıştır. Motorun teorik hesaplarının ardından, ANSYS programı vasıtası ile literatürdeki sıcaklık ve basınç değerleri kullanılarak, termal ve yapısal analizleri yapılmıştır.

Çalışma sonunda; yaptığımız tasarımın, termal ve yapısal olarak, çalışma şartlarına uygun olduğu ve menzil arttırıcı ünite olarak kullanılacağı tespit edilmiştir.

# **DESIGN AND ANALYSIS OF FREE PISTON LINEAR GENERATOR FOR ELECTRIC VEHICLES USING FINITE ELEMENT METHOD**

## **SUMMARY**

Keywords: Electric Vehicles, Range Extender Unit, Series Hybrid Vehicles, Free Piston Linear Generator, Computer Aided Design, ANSYS, Finite Element Method

Today, battery electric vehicles (BEV) have zero emission (tank to wheel) and very high efficiency. However, the most important obstacle of BEV is insufficient range.

This disadvantage can be eliminated in term of range extender systems. Range extender system like generator can charge battery when required. Free piston linear generator, wankel engine, piston internal combustion engine, gas turbine motor and fuel cell can be used as range extender unit.

In this study, opposed-piston free-piston linear generator which can be used in low weight electric vehicles, which has spark ignition, 153 cm<sup>3</sup> volume, and gasoline direct fuel injection is designed by means of SOLIDWORKS software. After theoretical calculation of free piston linear engine, thermal and structural analyzes of the engine were performed by means of ANSYS software using temperature and pressure in the literature.

At the end of the study; the engine design has been determined to suit to operating conditions, as thermal and structural, and it has been determined that can be used as a range extender unit.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geleneksel içten yanmalı motorların, enerji kaynağı olan, petrol rezervleri, gitgide azalmaktadır. Ayrıca çevreye verdiği olumsuz etkiler, birçok otomobil üreticisini elektrikli otomobil üretimine yönlendirmiştir. İçten yanmalı motorlu otomobillerin düşük devirlerde verimlerinin düşük olması ve şehir trafiğinde dur-kalk sebebi ile verimsiz çalışmasına karşın, elektrikli otomobillerin rejeneratif frenleme ile enerji geri depolaması ve düşük hızlarda daha az enerji tüketimiyle avantaj sağlamaktadır. İçten yanmalı motorların değişken devirlerde, verimi ve torku değişmektedir, sürekli maksimum verimle çalışmamaktadırlar. Ancak elektrikli motorlar, geniş devir aralığında maksimum torku verebilmekte ve maksimum verim ile çalışabilmektedirler.

Yüksek verimli ve kullanım anında emisyonu olmayan elektrikli otomobiller büyük gelecek vaat etmektedirler. Ancak mevcut batarya teknolojisi istenilen seviyede olmamasından kaynaklanan menzil mesafesinin kısa olması ve şarj sürelerinin oldukça uzun olması, batarya elektrikli taşıtların gelişmesindeki en büyük engeldir.

ABD’de yapılan araştırmalara göre, insanların %95’i 50 mil (80 km)’den daha az yol gitmektedir. Yılda ise ortalama 13476 mil (21562 km, günde ort. 60 km) yol gitmektedir [1,2]. Bu çalışmaya göre, ortalama bir elektrikli otomobilin mevcut menzili günlük şarj ile insanların %95’nin ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir.

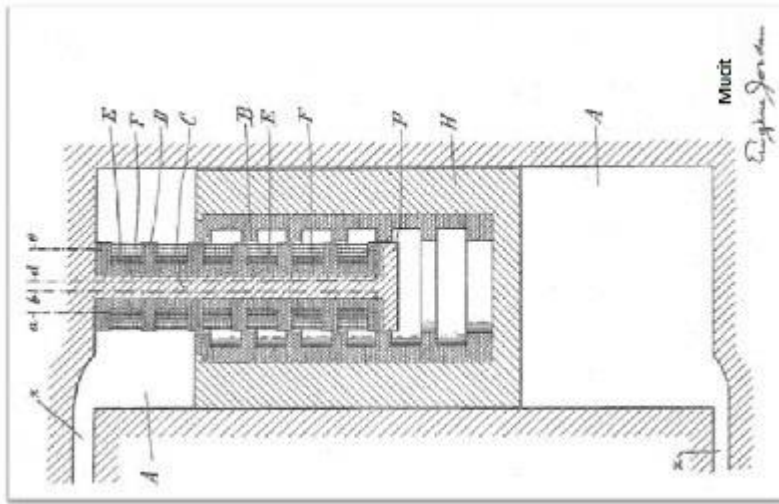
Günlük kullanım için Elektrikli otomobil yeterli gelse de gerektiği zaman uzun mesafe seyahat için hala uygun değildirler. Bunun için fazladan batarya ünitesi ekleyip, ağırlığı ve maliyeti aşırı arttırmak yerine, günlük ihtiyacı karşılayacak bir batarya ünitesi ve gerektiği zaman aracın bataryalarını şarj edecek, her yerde yakıt istasyonu da bulunan, küçük boyutlu, düşük hacimli ve sürekli sabit devir ve yükte, yüksek verim ile çalışacak menzil arttırıcı ünite kullanımı, taşıtı uzun seyahatler içinde uygun hale

getirebilmektedir [4,30]. Bu şekilde hem şehir içi kullanımda şehir elektriğinden şarj olarak, sürekli elektrikli moda çalışan, ekonomik bir şehir otomobiline, hem de gerektiği zaman benzin, dizel veya LPG yakıtı kullanarak bataryaları şarj ederek, uzun yola uygun bir otomobile sahip olunabilecektir.

### 1.1. Yapılan Deneysel Çalışmalar [3]

Serbest piston motorlar; kompresör, gaz türbini, hidrolik pompa ve elektrik güç jeneratörü gibi farklı amaçlar için tasarlanmıştır. Günümüze kadar yapılan başlıca çalışmalar aşağıda görülmektedir;

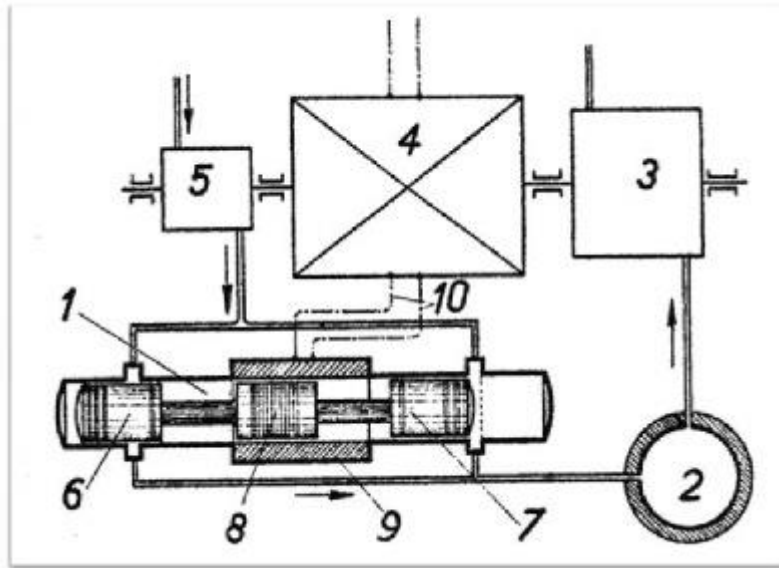
- 1923 Eugène Jordan(Fransa), doğrusal jeneratörü tasarladı (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Eugène Jordan'ın tasarladığı doğrusal jeneratör [3]

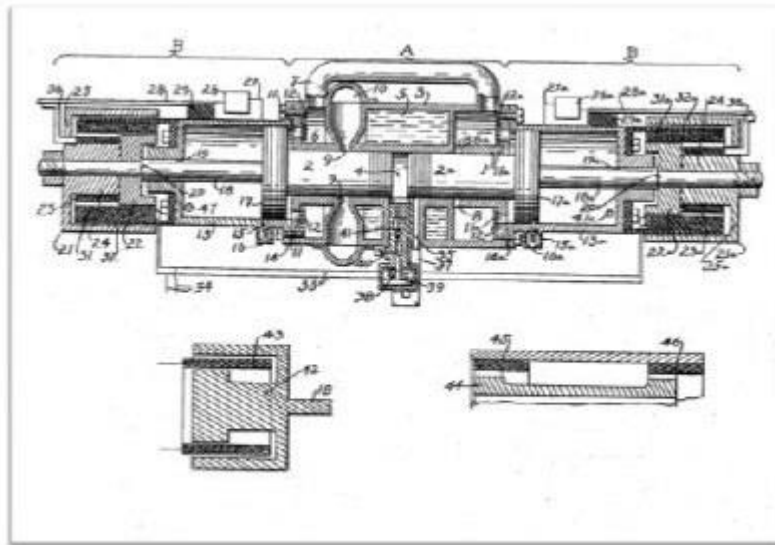
- 1925 Noack Freudenreich(İsviçre), devrimsel bir öneri sundu ama hiç fark edilmedi. Noack, motordan jeneratörle güç elde etme yanında, egzozundan çıkan gazlardan turbo şarj vasıtası ile güç elde etme fikrini öne sürmüştü (Şekil 1.2).





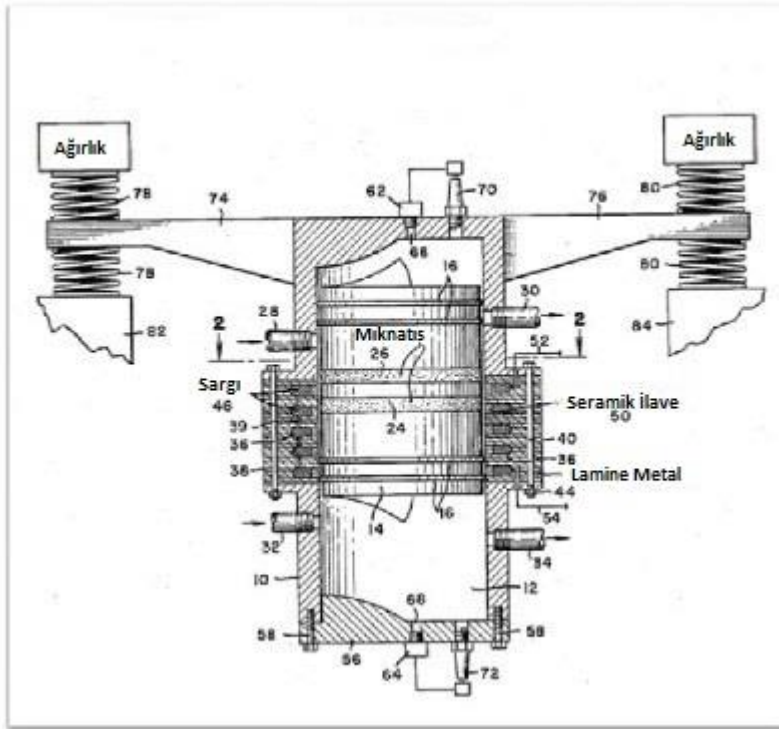
Şekil 1.2. Noack Freudenreich'in tasarladığı motor [3]

- 1943 Eastern Pontus Mountains(ABD)'in erken önerisi karşıt pistonlu motoru alternatörler ile dengelemektir ve tasarımının patentini aldı (Şekil 1.3).



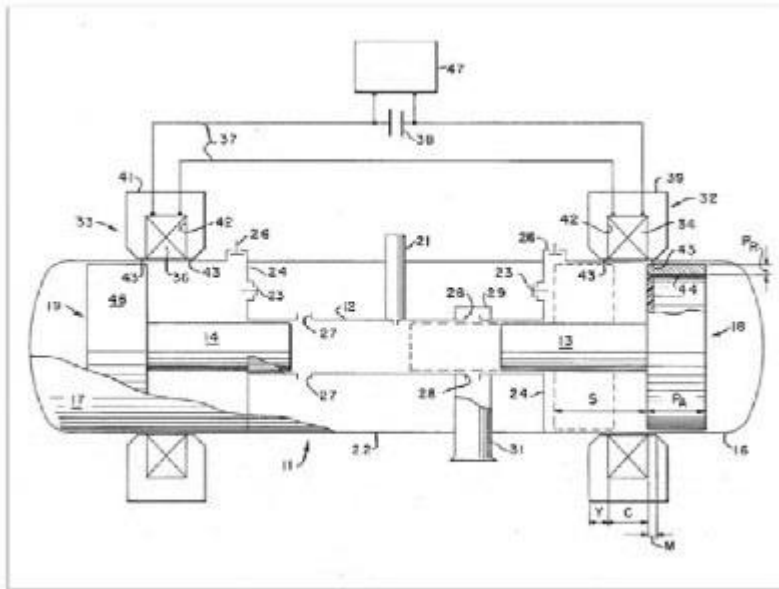
Şekil 1.3. Eastern Pontus Mountains'in tasarladığı motor [3]

- 1960 Ralph James, Esso Research and Engineering Co.(ABD), özgün serbest pistonlu lineer jeneratörü tasarımının patentini aldı (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Ralph James'in tasarladığı jeneratör [3]

- 1962 Stirling A. Colgate(ABD), karşıt, serbest pistonlu lineer jeneratör tasarımı yaptı (Şekil 1.5).



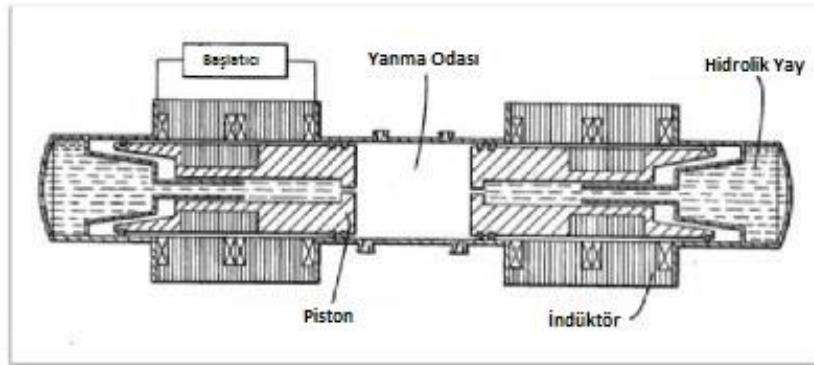
Şekil 1.5. Stirling A. Colgate'in tasarladığı jeneratör [3]





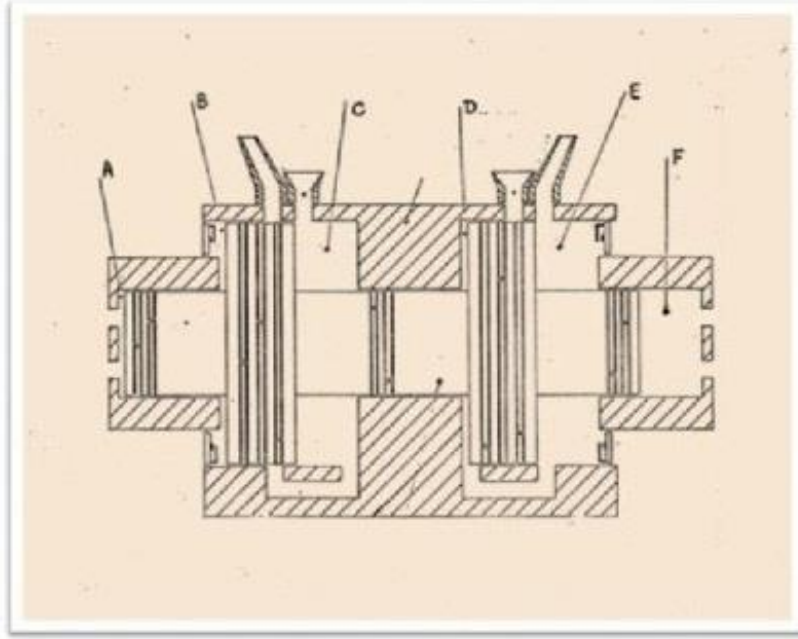
Şekil 1.7. Jack Horton tarafında üretilen lineer motor [3]

- 1976 Jarret, hidrolik ön süspansiyonlu SPLJ tasarladı (Şekil 1.8).



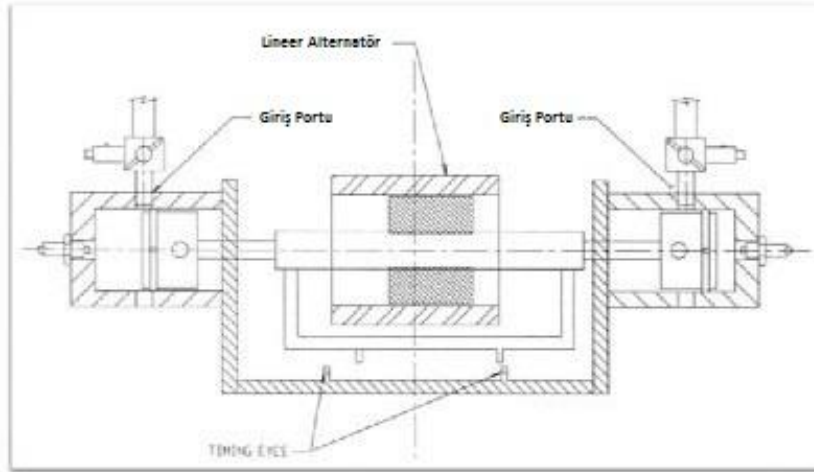
Şekil 1.8. Jarret'in tasarladığı SPLJ [3]

- 1980 Frank Stelzer(Almanya), bütün yaşamı boyunca serbest pistonlu motor tasarımı için çalıştı, 1963'te ilk patenti aldı. Ancak bu model çalışan model değildi. 1980 yılında ikinci motoru tasarladı. Motor ilkinden farklı ölçülerdeydi ve adım piston motoru (step-piston engine) diye adlandırılıyordu (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Frank Stelzer'in tasarladığı SPLJ [3]

- 1994 Galileo, motor prototipinde ticari stirling motoru silindirleri ve lineer jeneratörü kullanılmıştı (Şekil 1.10).



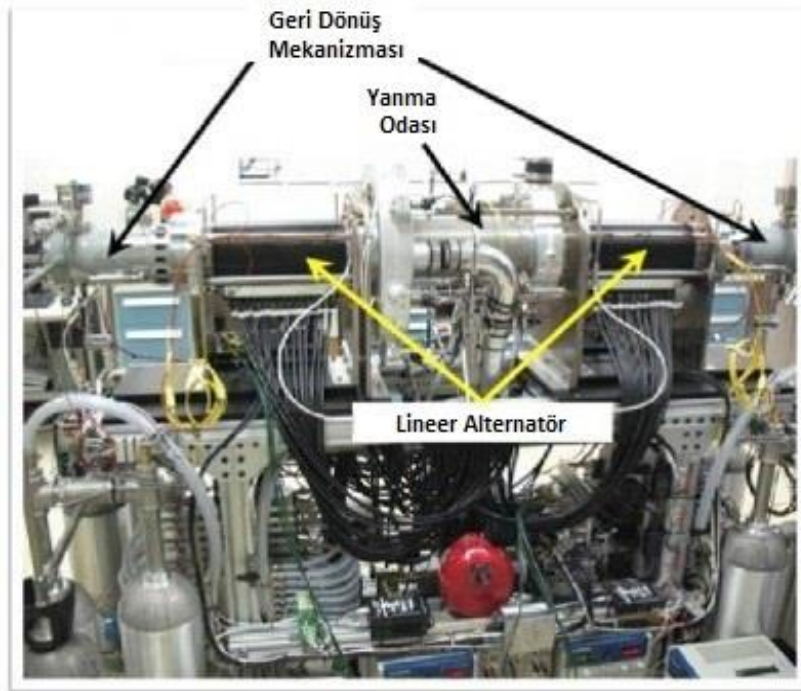
Şekil 1.10. Galileo Motorunun tasarımı [3]

- 1998 West Virginia Üniversitesi'nin, ilk prototipi Galileo projesine benzerdi. İkinci prototipi de sıkıştırma ile ateşlemeli motor prototipiydi ama çalışmıyordu (Şekil 1.11).



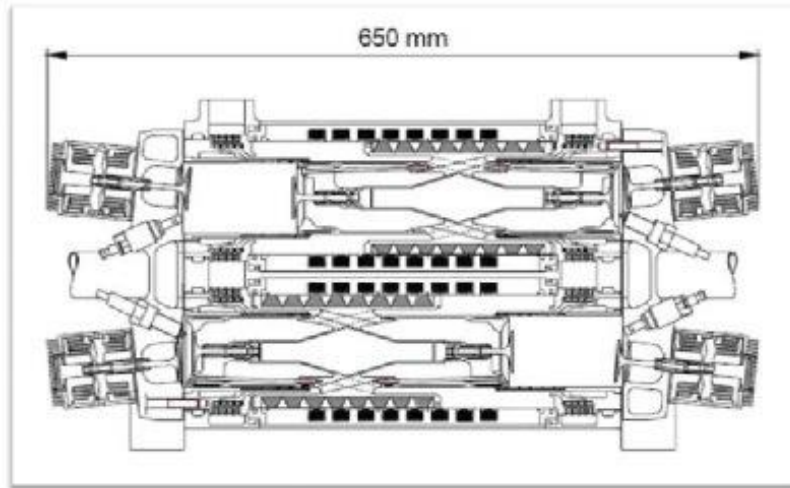
Şekil 1. 11. West Virginia Üniversitesinde tasarlanan prototip [3]

- 1998 Sandia National Laboratuvarlarında da lineer jeneratör prototipi tasarlanmıştır (Şekil 1.12).



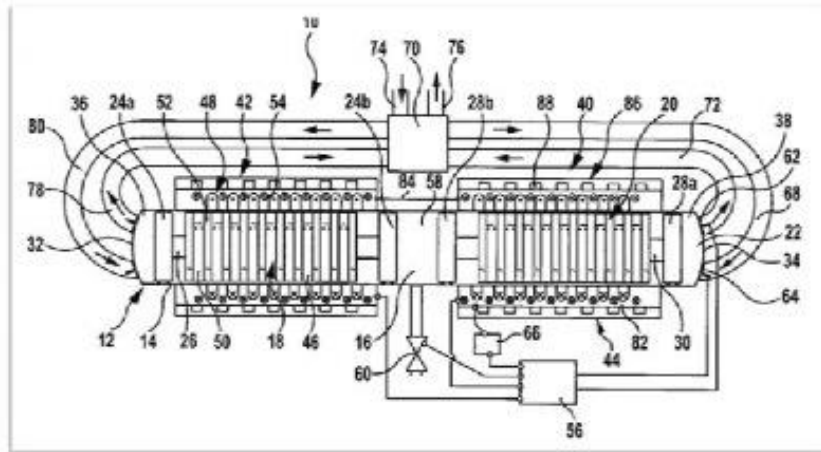
Şekil 1.12. Sandia National Laboratuvarlarında tasarlanan prototip [3]

- 2001 Pempek Systems(Avustralya), motor tasarımı yaptı ve motor iki zamanlı dizel motoruna benzeyen bir tasarıma sahipti (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Pempek Systems tarafından tasarlanan prototip [3]

- 2003 German Aerospace Center(DLR), tek etkili SPLJ ve karşıt SPLJ tasarlamışlardır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. DLR tarafından tasarlanan SPLJ [3]

- 2011 Volvo, çift pistonlu SPLJ tasarlandı. Ancak ısı problemleri olduğu bilinmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Volvo tarafından tasarlanan SPLJ [3]

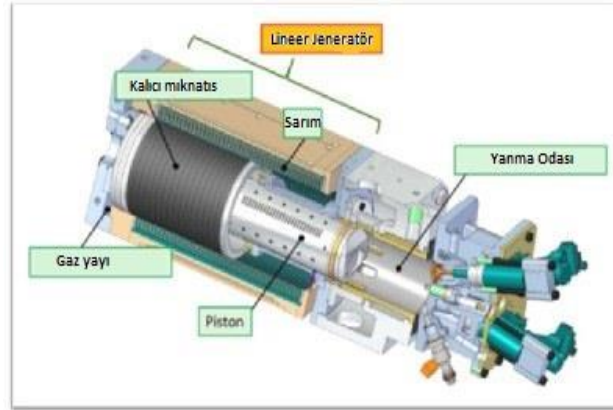
- 2013 DLR, karşıt pistonlu ortak yanma odalı serbest piston lineer jeneratörü tasarlamıştır. Huber/Jarret(1960) tasarımına -gaz yayı hariç- oldukça benzerdir. Hava emme ve egzoz safhalarını portlar sayesinde yapmaktadır ve supap bulundurmamaktadır. Sıkıştırılan havaya direk yakıt enjeksiyonu yapılmakta ve çift buji ile karışım ateşlenmektedir [4] (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. DLR tarafından tasarlanan SPLJ'ün 3B modeli

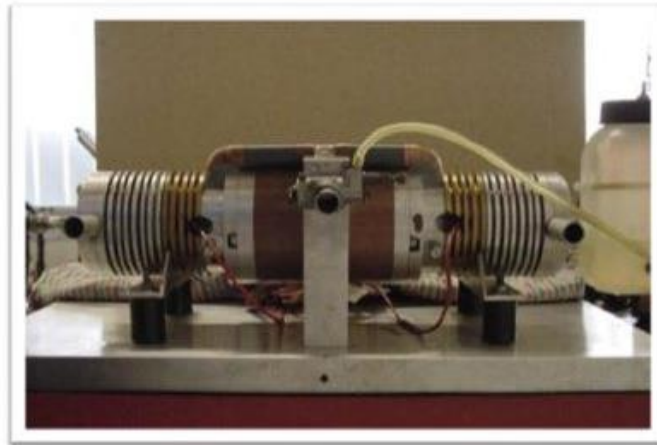
- 2014 Toyota, tek pistonlu, gaz yaylı SPLJ tasarlamıştır. Motor çalışma şekli olarak buji ateşlemeli motora benzemektedir (Şekil 1.17).





Şekil 1.17. Toyota tarafından tasarlanan SPLJ'ün 3B modeli [3]

- 2014 Micromer AG (İsviçre), Beetron isiminde modüler ve kompakt tasarımlı SPLJ üretimi yapmaktadırlar [5] (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Beetron SPLJ prototipi [3]

## 1.2. Yapılan Bazı Teorik Çalışmalar

Jin Xiao ve ekibi 2009 yılında serbest pistonlu motorun matematiksel modelini oluşturarak hareket karakteristiklerini ve doğal frekans haritasını çıkarttırlar ve Matlab/Simulink simülasyon modelini kurdular. SPLJ, periyodik yanmada stabil olduğunu ve geleneksel içten yanmalı motorlardan farklı eşsiz özellikleri olduğunu gördüler [44].

Jinlong Mao ve ekibi 2010 yılında geleneksel kranklı içten yanmalı motor verimine sahip SPLJ geliştirmişlerdir. Motorun optimum efektif strok uzunluğu, supap açıklığı, operasyon frekansı ve dolum basıncı Matlab programı yardımı ile tespit edilmiştir [45].

Jinlong Mao ve ekibi 2011 yılında CFD hesaplamaları ile dizel serbest piston alternatörünün gaz değişim prosesi, yanma prosesi ve ana geometrik ölçülerini tespit etmişlerdir [46].

Chia-Jui Chiang ve ekibi 2012 yılında model bazlı analiz ve kontrol amacıyla SPLJ tasarlamışlardır. Fizik bazlı model piston dinamiği, alternatör akımı, silindir gaz dolun dinamiği ve termal dinamiği gibi 17 durumu içinde barındırmaktadır. Buji ile ateşlemeli(SI) motor hızlı başlama ve daha yüksek verim talebi için kullanılabilirken, homojen dolgunu sıkıştırma ile ateşlemeli(HCCI) motor verimi arttırmak, emisyonları azaltmak için kullanıldı. Motor, Elektrik mekanik valfler ve direk enjeksiyon ile donatıldı. Simülasyon HCCI-SPLJ'ün SI-SPLJ'den daha verimli ve NO<sub>x</sub> emisyonun daha düşük olduğunu gösterdi [47].

## BÖLÜM 2. ELEKTRİKLİ TAŞITLAR

Elektrikli Taşıtlar; batarya, elektrik motoru, güç elektroniği ve mekanik sistemlerden meydana gelir. Bataryada depo edilen enerji, elektrik motorunda tahrik gücü olarak kullanılır. Sisteme, bataryaları şarj etmek için jeneratör görevi gören bir ünite dâhil edilmesiyle menzil arttırılmış elektrikli taşıt veya seri hibrit taşıt meydana gelir. Sisteme ilave edilen motor bataryayı şarj etmek yerine elektrik motoruyla birlikte tekerleklere tahrik verirse paralel hibrit taşıt olarak adlandırılır. İlave edilen motor gerektiğinde tekerleklere tahrik verir, gerektiğinde ise bataryaları şarj ederse birleşik hibrit taşıt olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2.1. Elektrikli taşıt sistemi [6]

## 2.1. Elektrikli Taşıtların Tarihsel Gelişimi [7,8]

- 1800 Alessandro Volta, primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1821 Michael Faraday, elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu.
- 1834 Thomas Davenport, ilk ticari kullanım için elektrik motorunu geliştirdi ve primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.
- 1859 Gaston Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1869 Gramme 1 BG' den daha yüksek güce sahip ilk DA elektrik motorunu yaptı.
- 1881 Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli taşıtı yaptı.
- 1885 Benz ilk İYM'lu taşıt uygulamasını gerçekleştirdi.
- 1887-98 Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan ET'ların menzili geliştirildi.
- 1897 Elektrikli taşıt, ilk olarak New York City'de taksi olarak ticari amaç için kullanıldı.
- 1899 Jenatzy 105.9 km/sa ile dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
- 1900 Amerika'daki taşıtların %38'i elektrikli taşıttı.
- 1900 Ferdinand Porsche ilk hibrit aracı üretti. Bu taşıt aynı zamanda ilk bütün tekerleklerine tahrik verilen otomobildi. Otomobil 60 km/sa hıza ulaşabiliyordu.
- 1900 Baker Motor Co. 193 km/sa hız yapabilen elektrikli yarış aracı üretti.
- 1900-12 ET'ların altın dönemi yaşandı.
- 1912 Elektrikli taşıt talebi yavaşlamaya başladı.
- 1921-60 Benzin motorlu taşıtlar tamamen yaygınlaşmaya ET'lar ise yok olmaya başladı.
- 1960-1990 ET'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı.
- 1995 Toyota, hibrit taşıt konseptini Tokyo Motor Show'da sergiledi.
- 1996 General Motors(GM), ilk seri üretim elektrikli taşıtı olan EV1'i Amerika'da piyasaya sürmüştür.
- 1997 Gerçek anlamda ilk hibrit taşıt olan Toyota Prius modeli Japonya'da satışa başlandı.
- 1997 Audi, Duo III elektrikli modelini tasarladı ve seri üretimine geçti.
- 1998 Nissan, 2002 yılına kadar 200 Altra elektrikli taşıt modeli üretti.

- 2008 Tesla, 393 km menzil ile Roadster modelini satışa sundu.
- 2009 Ford Fusion hibrit tanıtıldı.
- 2010 Nissan Leaf EV satılmaya başlandı.
- 2011 40-80 km menzile sahip seri hibrit Chevy Volt Amerika'da piyasaya sürüldü.
- 2011 Renault, Fluence elektrikli aracını piyasaya sürdü.
- 2014 BMW i3 menzil artırıcı içten yanmalı motor opsiyonu ile satışa başlandı.

## 2.2. Elektrikli Taşıt Türleri

### 2.2.1. Batarya elektrikli taşıtlar(BET)

Batarya elektrikli taşıtlar, taşıt tahriki için yalnızca elektrik motoru kullanırlar. Enerji kaynağı olarak, batarya ünitesi kullanırlar. Ek enerji kaynağı olarak da bazı modeller süper kapasitör bulundurabilmektedirler. Bu ek enerji kaynakları yokuş tırmanma ve ivmelenme gibi ani güç gerektiren çalışma şartlarında motorlara enerji sağlamaktadırlar. Rejeneratif frenlemeden elde edilen enerji, elektrik motorları jeneratör gibi çalışarak, bataryalarda depo edilebilmektedir. Bataryalarından dolayı, geleneksel taşıtlara nazaran ilk yatırım maliyeti yüksektir ve ağırlığı da fazladır. Ancak yakıt ve bakım maliyetleri çok düşüktür.

#### 2.2.1.1. BMW İ3



Şekil 2.2. BMW İ3 [10]

İ3, BMW'nin 4 kişilik batarya elektrikli otomobil modelidir (Şekil 2.2). 1195 kg'lık otomobil, arkada konumlandırılan 130 kW güç ve 250 Nm tork üreten elektrik

motoruna ve 18,8 kWh kapasitede Li-Ion batarya ünitesine sahiptir. Tam şarj ile 130 km menzile yapabilmektedir. 0'dan 100 km/sa hıza 7,2 saniyede ulaşabilmektedir. İ3'ün maksimum hızı ise 150 km/sa'dır. Bataryaları yüzde 80 doluluğa hızlı şarj istasyonlarında 30 dakikada, standart duvar prizlerinde ise 6-8 saatte ulaşmaktadır. Ortalama tüketimi ise 100 km'de 12,9 kWh'dir [11].

İ3 range extender(menzil arttırıcı) opsiyonu ise elektrikli otomobilin menzilini arttırmak için, 647 cc iki silindirli 25 kW güce sahip içten yanmalı motor ile 9 litre depo kullanmaktadır. Bu motor otomobile 116 km'ye kadar ekstra menzil kazandırmaktadır. Ancak otomobili 1315 kg ağırlığa çıkartmaktadır [11].

### 2.2.1.2. Tesla Roadster

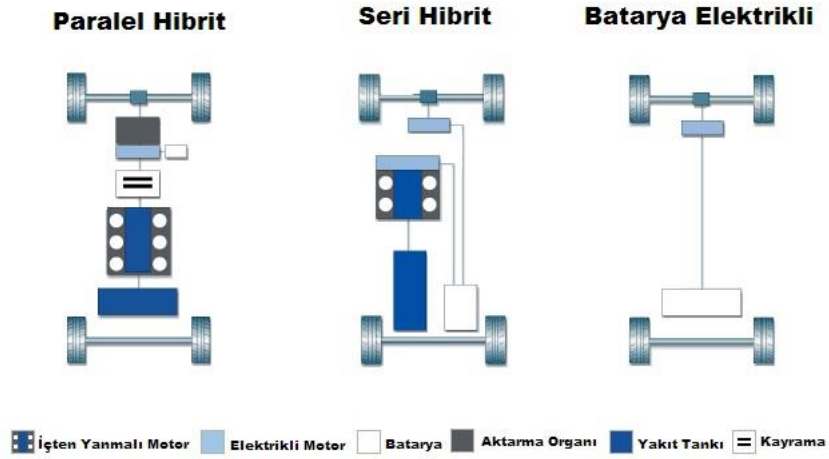


Şekil 2.3. Tesla Roadster [12]

Tesla Roadster, 2008 yılında ABD'de satışa sunulmuştur (Şekil 2.3). Lotus şasisi kullanılarak üretilmiştir. Taşıtta üç fazlı asenkron motoru, arka tekerlekleri tahrik etmektedir. Li-Ion bataryalara sahip olan Roadster, 393 km menzile sahiptir [13].

### 2.2.2. Hibrit elektrikli taşıtlar(HET)

Hibrit taşıt, bir birden fazla, farklı enerji kaynağı türünü taşıt tahriki için kullanabilen taşıt demektir. Konumuz dâhilinde, elektrik enerjisi ile beraber benzin, dizel, doğalgaz vs. yakıtı kullanabilen taşıtlar akla gelmektedir. Bu taşıtların, paralel hibrit ve seri hibrit ve karma hibrit olarak üç farklı türü mevcuttur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Elektrikli Taşıtların Türleri [9]

### 2.2.2.1. Paralel hibrit taşıtlar

Elektrikli motor ile geleneksel motorun beraber güç kaynağı olarak kullanıldığı taşıtlardır. Bu taşıtlarda geleneksel motor ana güç kaynağı olarak kullanılır ve elektrikli motor, yakıt tüketiminin yüksek olduğu kalkış, ani hızlanmalar taşıta destek olarak tüketimi azalmasına katkı sağlar. Bu hibrit türünde mevcut taşıta elektrik motoru ve batarya eklenmesiyle oluşturulur.

#### 2.2.2.1.1. Honda Civic Hibrit



Şekil 2.5. Honda Civic Hibrit [14]

Honda Civic Paralel Hibrit, 1,4 litre 3 kademeli supap zamanlaması özelliği bulunan VTEC içten yanmalı motor ile birlikte i-DSI ve sürekli mıknatıslı elektrik motoru(IMA-Integrated Motor Assist) birlikte görev almaktadır (Şekil 2.5). Taşıtta

CVT şanzıman bulunmaktadır. 95 Hp/6000 d/d benzin motor gücüne ek olarak IMA elektrik motorunun sağladığı 20 Hp'lik güç ile birlikte Civic Hibrit toplam 115 Hp güce sahiptir ve emisyon değeri 109 g/km CO<sub>2</sub>'dir. Civic Hibrit, 20 kWh Li-Ion bataryaya sahiptir [14].

### 2.2.2.2. Seri hibrit taşıtlar

Güç kaynağı olarak yalnızca elektrik motorunun kullanıldığı, geleneksel motorun ise bataryaları şarj etmek için kullanıldığı taşıtlardır. Bu taşıtlar elektrikli taşıtlar ile tamamen aynıdır. Yalnızca geleneksel motor menzil artırıcı olarak kullanılır. Bu taşıtlara, “menzil arttırılmış elektrikli taşıt” da denilmektedir. Ancak menzili arttırılmış taşıtlarda motor hacmi oldukça küçüktür ve batarya kapasitesi batarya elektrikli taşıtlara yakındır. Bu taşıtlar batarya teknolojisi istenilen seviyeye gelene kadar ve elektrikli taşıtlar yaygınlaşana kadar menzil sorununun önüne geçmek için tasarlanmıştır.

#### 2.2.2.2.1. Fisker Karma



Şekil 2.6. Fisker Karma [15]

Fisker Karma seri hibrit elektrikli taşıttır (Şekil 2.6). 120 kW(161 HP) güce, 1330 Nm torka sahip iki adet elektrik motoru bulundurmaktadır. 20,1 kWh kapasiteli Li-Ion bataryaları ile 83 km menzile sahiptir, ancak taşıtta bulunan GM 2.0 litre turbo destekli içten yanmalı benzinli motor jeneratör olarak çalışarak 370 km menzile ulaşabilmektedir. Maksimum hızı 201 km/sa, 0-100 km/sa değeri ise 6,3 saniyedir. Boş ağırlığı 2404 kg'dır. Taşıt tavanında bulunan güneş panelleri ile günde ortalama 0,5 kW elektrik üretebilmektedir. Ancak bu güneş paneli motorlara elektrik sağlayan



bataryayı şarj etmek yerine iklimlendirme gibi yardımcı ünitelere elektrik sağlayan bataryayı şarj ederek ana bataryanın yükünü azaltmaktadır. Karma'nın bataryaları standart prizlerden şarj edilebilmektedir [16].

### 2.2.2.3. Karma hibrit taşıtlar

Paralel hibrit ve seri hibrit taşıtların avantajlı yönlerinin bir arada kullanıldığı taşıtlardır. Kullanılan motor, gerektiğinde taşıtın bataryalarını şarj edebildiği gibi gerektiğinde taşıt tahrikinde kullanılabilir. Ancak bu şekilde taşıtın sistem elemanlarının sayısı artar ve dolayısıyla taşıt ağırlığı da fazlaşır.

#### 2.2.2.3.1. Toyota Prius



Şekil 2.7. Toyota Prius [18]

Toyota Prius, karma hibrit bir taşıttır (Şekil 2.7). 4,4 kWh Panasonic Li-Ion bataryaya, 60 kW elektrik motoruna ve 1,8 litre benzinli içten yanmalı motora sahiptir. 1420 kg ağırlığa sahip olan taşıt, yalnızca elektrik motorunu kullanarak 23 km menzile ulaşabilmektedir [17].

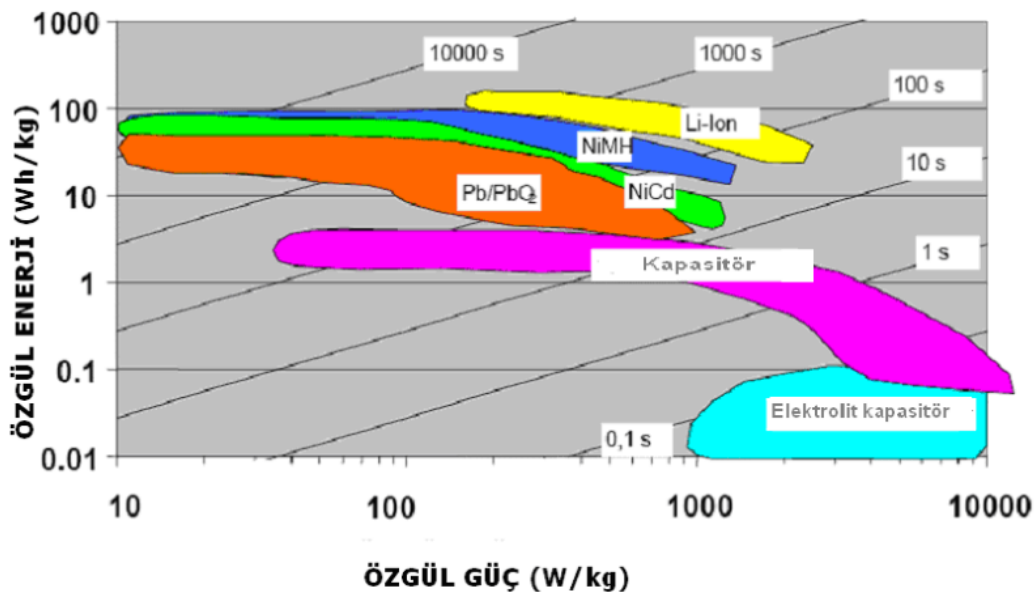
## 2.3. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Enerji Kaynakları

### 2.3.1. Bataryalar

Bataryalar, kimyasal reaksiyon sonucu açığa çıkan enerjiyi elektrik enerjisi olarak depolayabilen sistem elemanlarıdır. Gerektiğinde bünyesinde barındırdığı kimyasal

enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürebilen birim hücrelerden oluşmaktadır. Bu hücreler birbirine seri bağlanarak bataryayı oluştururlar. Gruplanmış hücreler birleşerek batarya modülünü oluşturmaktadırlar [20].

Elektrikli taşıtların en önemli bileşenlerinden biri olan bataryaların, birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanlar; Kurşun-Asit Bataryalar(Pb), Nikel-Çinko Batarya(NiZn), Nikel Kadmiyum Batarya(NiCad), Nikel-Metal Hidrat Batarya(NiMH), Lityum-İyon Bataryadır(Li-Ion) [21].



Şekil 2.8. Batarya çeşitlerinin özgül güç ve özgül enerji seviyeleri [21]

Şekil 2.8’de de görüldüğü üzere özgül enerji yoğunluğu ve özgül güç yoğunluğu açısından lityum-iyon bataryalar elektrikli taşıtlarda kullanılmak üzere uygun potansiyele sahiptir. Ancak yüksek maliyeti lityum-iyon bataryaların dezavantajıdır. Kapasitörler ise özgül güç yoğunluğu bakımından öndedir. Bu şekli ile taşıtın ani güç ihtiyacını karşılamak üzere yardımcı güç kaynağı olarak kullanılması düşünülebilir.

### 2.3.2. Kapasitörler



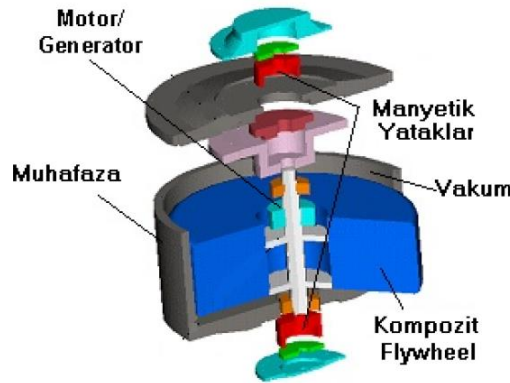
Şekil 2.9. Kapasitör Modülü [23]

Kapasitörler, pozitif-negatif elektrostatik yüklerin ayrışması prensibi ile enerji depolamaktadır. İki adet iletken plaka ve bunları ayıran dielektrik yalıtkandan oluşmaktadır. Güç yoğunlukları oldukça yüksek ( $\sim 10^{12}$  W/m<sup>3</sup>) olsada, enerji yoğunlukları çok düşüktür ( $\sim 50$  Wh/m<sup>3</sup>) (Şekil 2.9) [8].

Süperkapasitörler, kapasitörlerin geliştirilmiş şeklidir. Güç yoğunlukları  $\sim 10^6$  W/m<sup>3</sup> ve enerji yoğunlukları  $\sim 10^4$  Wh/m<sup>3</sup> mertebelerindedir. Enerji yoğunlukları bataryalara göre azdır ama deşarj süreleri kısa ve çevrim ömrü uzundur [8].

Süper kapasitörlerin plakalar arası boşluk katı polimerden oluşan elektrolit ile doludur. Plakalar, bataryalarda olduğu gibi, elektrot görevi görmektedir ancak kimyasal reaksiyon gerçekleşmemektedir, yalnızca plaka yüzeylerinde iyonlaşma olmaktadır. Elektrostatik yükler iyon olarak elektrolitte depolanmaktadır [8].

### 2.3.3. Volanlar



Şekil 2.10. Volanın Yapısı [8]

Volan, kinetik enerji depolama ünitesidir (Şekil 2.10). Dönen bir ağırlık sayesinde enerji depo edilmektedir. Volanda depo edilen enerji  $U$ ;

$$U=0,5Jw^2 \quad (2.1)$$

Formülü ile bulunmaktadır [8]. Burada  $J$  atalet momenti,  $w$  ise açısal hızdır. Formülden anlaşıldığı üzere depolanan enerji, atalet momenti ile doğru orantılı ve açısal hızın karesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yani açısal hız ve atalet momenti ne kadar büyük olursa o kadar fazla enerji depolanabilmektedir. Yüksek hız için özel yataklar ve yüksek mukavemetli malzemeler gerektiği için maliyet artmaktadır [8].

Volan sistemlerinin avantajları; yüksek çevrim ömrü, yüksek güç yoğunluğu, yüksek verimi ve şarj süresinin kısa olmasıdır. Teorik olarak volanların özgül gücü 5-10 kW/kg'dır. Volanların enerji depolama verimi %90 civarındadır ve saniyeler içinde tam şarja ulaşabilmektedirler. Ancak sistemin çalışması için ek sistemler gerektiği için, taşıtın ağırlığının artmasına sebep olmaktadır [8].

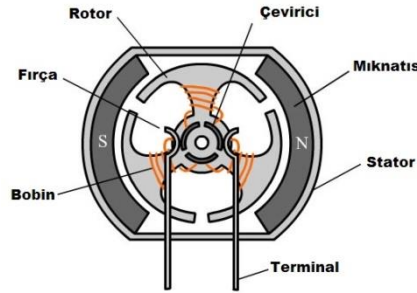
## 2.4. Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Sürüş Motorları

Elektrikli taşıtlarda, tahrik kuvvetinin oluşturulması için, içten yanmalı motor yerine, elektrik motor kullanılmaktadır. Dolayısıyla elektrikli taşıtlarda performans tamamıyla motorun moment-hız ve güç-hız karakteristiğine bağlıdır. Elektrik motoru esasen elektrik makinası gibi çalışmaktadır yani elektrik enerjisi mekanik enerjiye çevrilmesi yanında rejeneratif frenleme esnasında meydana gelen mekanik enerji, elektrik enerjisine çevrilmektedir.

Elektrik taşıtlarda kullanılan, doğru akım motorları, asenkron motorlar, sabit mıknatıslı motorlar ve anahtarlı relüktans motorları olmak üzere dört temel elektrik motoru türü bulunmaktadır.

### 2.4.1. Doğru Akım Motorları

DA motorlar, bir manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin akım geçirilmesi sonucunda, o iletkene kuvvet etki etmesi prensibi ile çalışmaktadır. Doğru akım motorlarının hız kontrolü kolaydır. Bu motorların en büyük problemi, kolektörü akımla besleyebilmek için fırça kullanılmasıdır [24].



Şekil 2.11. DA Motor yapısı ve elemanları [26]

DA motorda bobin Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi, rotor adı verilen ve manyetik malzemedan yapılmış bir silindir üzerine sarılır. Rotor, stator tarafından oluşturulan manyetik alan içinde serbestçe dönebilecek şekilde monte edilmiştir. Rotora sarılı olan bobinin uçları komütatör ve karbon fırçalar yardımıyla doğru akım kaynağından enerji almaktadır [24].

DA motorları, basit kontrol mekanizması sahip olması ve yüksek torkuna rağmen, konstrüksiyon açısından(fırça ve segmanlar) birçok bakım problemleriyle karşı karşıyadır. AA motorlarda vektör kontrolünün artmasıyla, DA motorların önemi biraz daha azalmıştır. Ancak DA motorları halen düşük güç gerektiren uygulamalar için iyi bir alternatif olmaya devam etmektedir. Fransa’da bulunan Peugeot fabrikasında “Dynavolt” isimli DA motorunun çekiş motoru olarak kullanıldığı bir hibrit elektrikli taşıt üretilmiştir [37].

#### **2.4.2. Asenkron Motorlar**

Rotoru, statorun oluşturduğu endüksiyonla dönmesi sebebiyle asenkron motorlara, endüksiyon motorları da denir. Asenkron motorlar dönüş esnasında elektrik arkları oluşturmazlar. Asenkron motorları senkron motorlardan ayırt eden en büyük farklılık, sabit frekansta dönme hızlarının sabit olmamasıdır. Bu hız, motor modunda senkron hızdan küçük olup yük arttıkça azalır [24].

Elektrikli taşıt uygulamalarında sağlam yapısı nedeniyle kısa devre kafesli asenkron motorlar tercih edilmektedir. Bu motorun sakıncası, kalkış momentinin nispeten küçük ve kalkış anında akım ihtiyacının büyük olmasıdır [24].

Dışta AA gerilimin uygulandığı stator sargıları, içte ise akım taşıyan iletkenlerin bulunduğu rotordan oluşur. Stator sargısına uygulanan 3 fazlı AA gerilim, döner manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alan içerisindeki döner rotor sargılarından akım geçirilir. Bu manyetik alan etkisi ve rotordaki manyetik alan etkisi rotorda dönme hareketi meydana getirmektedir [24].

#### **2.4.3. Sabit Mıknatıslı Motorlar**

Modern sabit mıknatısların gelişmesi ile birlikte birçok uygulamada rotoruna sabit mıknatıs yerleştirilmiş senkron motorlar, fırçalı DA motorların yerini almaya başlamıştır. Sabit mıknatıslı motorların rotorunda bulunan sabit mıknatıslar elektrik akısı meydana getirmektedir. Sabit(sürekli) mıknatıslı motorlar iki gruba ayrılmaktadırlar [24].

### 2.4.3.1. Fırçasız DA Motorları

Fırça aşınması ve motor hızını sınırlandırması gibi problemlerinden dolayı fırçasız DA motorları tasarlanmıştır. Fırçasız DA motorlarında bobin stator üzerine sarılmakta ve rotorda daimi mıknatıs kullanılmaktadır. Fırçasız DA motorlar, fırçalı DA motorlara göre, daha verimli, daha yüksek hıza sahip, torku daha yüksek, daha sessiz çalışmakta, uzun ömürlü ve bakımları kolaydır. Ancak motor kontrolü daha zor, harici güç elektroniği gerektir ve maliyeti daha yüksektir. Fırçasız doğru akım motorları, yüksek güç gerektiren uygulamalarda doğrudan sürüş olarak adlandırılan yöntemle, sanayide ve elektrikli taşıtlarda kullanılmaktadırlar [8].

### 2.4.3.2. Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlar

Senkron Motorlar, frekans sabitken belirli bir yüke kadar sabit hızda çalışan bir alternatif akım motor çeşididir. Asenkron motorlara benzer olarak düzenli olarak dönen stator alanına sahiptir. Büyük güçlerde üretilebilmesi, birim güç başına maliyetlerinin diğer motor çeşitlerine göre düşük olması, artan güç ile verimlerinin yükselmesi, ayrıca bakım ve kontrol ihtiyacının az olması nedeniyle tercih edilmektedir [24].

Sürekli mıknatıslı senkron motor, vektör yöntemi ile hız kontrolü yapılabilmektedir. Asenkron motorlara göre kayma açısı olmamasından dolayı kontrolü daha kolay olmaktadır. Rotorunda kafes olmamasından dolayı eylemsizliği düşük olduğundan dolayı, elektriksel cevap süresinin daha kısa olmaktadır [24].

### 2.4.4. Anahtarlamalı Relüktans Motorları(ARM)

ARM, düşük ve orta güçlü tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır. Hem statorunda hem de rotorunda çıkıntılar (kutuplar) bulunan anahtarlamalı relüktans motoru nispeten ucuz, basit ve imalatı kolay bir motordur. Stator sargılarından akan akımlar rotor pozisyonuna bağlı olarak uygun zamanlarda anahtarlanarak sürekli bir dönme hareketi ve döndürme momenti elde edilmektedir [24,25].

ARM'nin hata toleransı çok iyidir. Basit yapısı ve düşük rotor ataletinden dolayı ARM'ler çok hızlı ivmelenme ve çok yüksek hızda çalışabilme yeteneğine sahiptir. ARM'ler elektrikli taşıt tahrik sistemi için moment-hız karakteristiğini karşılamaktadırlar. ARM'nin en büyük dezavantajlarından biri moment karakteristiğindeki dalgalanması ve gürültüsüdür [24,25].

Elektrik motoru türlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.1'de görülmektedir. Tablo 2.1'e göre daha basit uygulamalar için DA motor uygun olurken, uzun ömür ve yüksek verim istenen yerlerde Sabit Mıknatıslı Senkron Motor kullanımı daha uygundur. Tabloya göre, bütün motor türlerinin birbirlerine karşı üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Elektrik motor türlerinin avantaj ve dezavantajları [28]

<b>Motor Tipi</b>	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
DA Motor	Basit hız kontrolü	Fırça ve kolektör grubu için bakım gereksinimi, Orta derece ömür,
Asenkron Motor	Düşük maliyet, Uzun ömür, Yüksek güçlerde imal edilebilme, Standartlaşma ve yaygın kullanım,	İlk kalkışta ani akım yüksekliği, Hız kontrolü için frekans değiştiricilere ihtiyaç duyması,
Sabit Mıknatıslı Senkron Motor	Uzun ömür, Düşük bakım gereksinimi, Yüksek verim,	İlk yatırımın yüksek olması, Motor sürücüsüne ihtiyaç duyması,
Anahtarlama Relüktans Motor	Uzun ömür, Düşük bakım gereksinimi, Yüksek verim, Kalıcı mıknatıs olmaması, Basit yapısı, Düşük maliyet,	Motor sürücüsüne ihtiyaç duyması,



## 2.5. Elektrikli Taşıtların Avantaj Ve Dezavantajları [28]

### 2.5.1. Elektrikli taşıtların avantajları

- Kullanım anında emisyon salınımı yoktur,
- Sessiz çalışmaktadır,
- Kilometre başına ulaşım maliyeti düşüktür,
- Rejeneratif frenleme ile kaybolan enerji, geri kazanılabilmektedir,
- Hareketli parçaların az olmasından dolayı, bakım maliyetleri düşüktür.

### 2.5.2. Elektrikli taşıtların dezavantajları

- Üretim maliyeti yüksektir,
- Servis olanakları sınırlıdır,
- Batarya dolum istasyonları henüz yaygınlaşmamıştır,
- Taşıtların menzili kısadır,
- Batarya şarj süreleri uzundur,
- Taşıtların ağırlığı (bataryalardan dolayı) fazladır.

## 2.6. Hibrit Elektrikli Taşıtların Avantaj Ve Dezavantajları [27]

### 2.6.1. Seri Hibrit elektrikli taşıtların avantaj ve dezavantajları

#### Avantajları

- İçten yanmalı motor, yol şartlarından bağımsız çalıştığı için sürekli olarak motorun yüksek verimli bölgesinde çalışabilir.
- Daha küçük içten yanmalı motor veya alternatif motorlar kullanılabilir.
- Mekanik bağlantı daha azdır dolayısıyla, daha ucuzdur.
- Şehir içi kullanımında oldukça verimlidir.

#### Dezavantajları

- Kullanılan motor daha fazla güç gerektiğinde elektrikli motora destek veremez.
- Paralel sistemden daha fazla kayıp meydana gelir.

### 2.6.2. Paralel hibrit elektrikli taşıtların avantaj ve dezavantajları

#### Avantajları

- Elektrik motoru ile tahrike destek olduğu için daha fazla tahrik gücü elde edilir.
- Daha küçük içten yanmalı motor(İYM) kullanılabilir.
- Otoyol kullanımında oldukça verimlidir.

#### Dezavantajları

- İYM her zaman yüksek verimli olduğu bölgede çalışamaz.
- Mekanik bağlantılar daha fazladır dolayısıyla maliyet daha yüksektir.

### 2.6.3. Karma hibrit elektrikli taşıtların avantaj ve dezavantajları

#### Avantajları

- Seri ve paralel sürüş sitemlerinin en iyi şekilde birleşimidir.
- İYM ani yüklerde ilave tahrik gücü sağlayabilir.
- Gerektiğinde elektrikli motor tek başına taşıta tahrik sağlayabilir.

#### Dezavantajları

- Daha karmaşık bir sistem dolayısıyla arıza ihtimali daha yüksektir.
- Şehir içi sürüşü için seri hibrit kadar verimli olmayabilir.
- Otoyol sürüşü için paralel hibrit kadar verimli olmayabilir.
- Daha pahalı bir sistemdir.

## 2.7. Elektrikli Taşıtlarda Verim



Şekil 2.12. Petrolün Kaynaktan Tekere Verimi [27]



Şekil 2.13. Elektrik'in Kaynaktan Tekere Verimi [27]

Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te görüldüğü gibi elektrikli taşıtın toplam kaynaktan tekere(well to wheel) verimi, %45 civarında iken, geleneksel taşıtların kaynaktan tekere verimi, %13 civarındadır. Hatta elektrik yenilenebilir enerji kaynakları ile(örneğin; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi) üretildiğinde rafine verimi %100 kabul edilebilir ve toplam verim %86'yı bulmaktadır. Bu sonuç göstermektedir ki, elektrikli taşıtlar, geleneksel içten yanmalı taşıtlara göre yaklaşık 3 kat enerji verimliliğine sahiptirler. Yaklaşık 1,5 milyar otomobilin kullanıldığı günümüzde, elektrikli otomobiller milyarlarca watt enerji tasarrufu potansiyeline sahiptir. Ayrıca alternatif enerji kaynaklarıyla üretilen elektrikliğin kullanılmasıyla ciddi manada hava kirliliği önlenilecektir. En azından, taşıtların büyük oranda sebep olduğu, kalabalık şehirlerdeki hava ve ses kirliliğinin önüne geçilebilecektir.

## **BÖLÜM 3. ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA MENZİL ARTTIRMA**

Elektrikli taşıtlarda menzilin artırılması için;

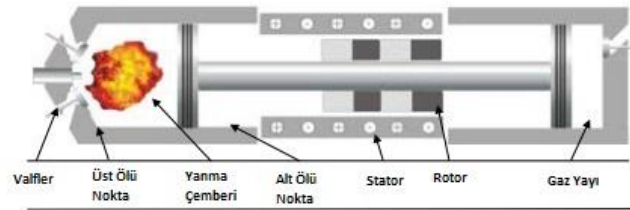
- Aerodinamik yapı iyileştirilebilir,
- Taşıt ağırlığı azaltıcı önlemler alınabilir,
- Aktarma organlarının verimi artırılabilir,
- Tekerlek yuvarlanma direnci azaltılabilir,
- Batarya geliştirilebilir veya büyüklüğü artırılabilir,
- Ultra kapasitör kullanımı ile ani yüklerde batarya desteklenebilir,
- Enerji yönetim sistemi ile sistem performansı artırılabilir,
- Elektrik motoru verimi artırılabilir,
- Araca ilave jeneratör vazifesi görecektir motor ilavesi yapılabilir.

Tez kapsamında, elektrikli taşıtlarda menzil arttırmak için ilave edilebilecek menzil arttırma ünitesi(SPLJ) üzerine çalışılmıştır.

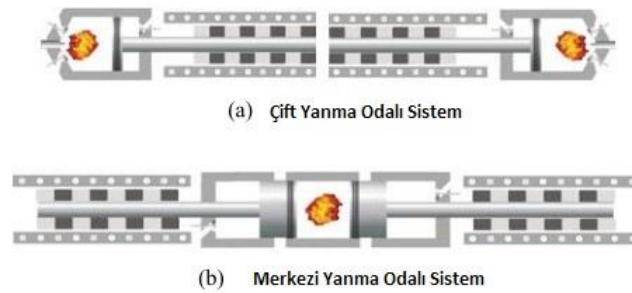
### **3.1. Menzil Arttırma Sistemleri**

#### **3.1.1. Serbest Pistonlu Lineer Jeneratör(SPLJ)**

Serbest pistonlu lineer jeneratör modülü (Şekil 3.1), piston kolu, silindir ve lineer jeneratörden ibarettir. İçten yanmalı motorlar ile benzer prensiple çalışan SPLJ, krank biyel mekanizması olmamasıyla farklılık göstermektedir. SPLJ, yanma sonucu ortaya çıkan enerji ile krank biyel mekanizmasıyla dairesel hareket oluşturmak yerine, lineer jeneratör ile doğrusal hareketi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. SPLJ, merkezi yanma odalı veya çift yanma odalı olarak tasarlanabilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Serbest pistonlu lineer jeneratörün çalışma prensibi [29]



Şekil 3.2. Serbest pistonlu lineer jeneratör sistemleri [29]

Yirminci yüzyılın ortalarından beridir serbest pistonlu motor ve jeneratör tasarımı ve prototip üretimi yapılmıştır. Özellikle, Pempek Systems(Avustralya), West Virginia Üniversitesi, Volvo, DLR(Almanya), Micromer AG(İsviçre) ve Toyota gibi kuruluşlar serbest pistonlu lineer jeneratör tasarımı yapmışlardır [3]. Tablo 3.1’de SPLJ’ün temel karakteristikleri görülmektedir.

Tablo 3.1. SPLJ karakteristikleri [29]

Verim	%36,6
Paket boyutu	470 W/l (yardımcı üniteler olmadan)
Güç yoğunluğu	320 W/kg
Maliyet	2000 €
Emisyon	3 yollu katalizör
Yakıt türü	Benzin, dizel, doğalgaz, LPG vs.
Gürültü-Titreşim	Orta
Tepki süresi	Hızlı, <1 s

DLR menzil arttırıcı modül tasarımı çalışmalarında kullanılan SPLJ ünitesinin ağırlığı 55,9 kg.’dır [4]. Bu ağırlığa jeneratörün ihtiyaç duyduğu güç elektroniği de dâhildir.

Güç yoğunluğu ise 350 W/kg'dır. Hacim olarak da farklı şekillerde kombine edilebilir. Hacimsel güç yoğunluğu da 470 W/l'dir. Motor verimi yaklaşık %36'dır. Maliyet ise 2100 €/ünite'dir. Ancak maliyet seri imalat ile 1500 €/ünite'ye kadar düşürülebilir. Modüler boyutu, düşük ağırlığı ile SPLJ, elektrikli taşıt menzil arttırıcı sistemi için iyi bir alternatiftir. Sadece 100 kg (yakıt deposu vs. dâhil edilirse) gibi bir ağırlık artışı ile araca ekstra 200-300 km kazandırabilmektedir [4,29].

### 3.1.2. İçten Yanmalı Motorlar(İYM)

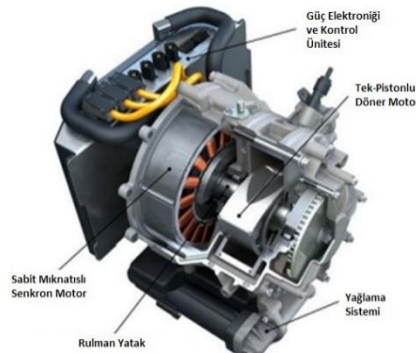
Pistonlu içten yanmalı motorlar(İYM), otomobillerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistem, sıkıştırma veya buji ateşlemesiyle yakıtın yanması ve yanma sonucu oluşan basıncın pistonları doğrusal olarak hareket ettirmesi prensibi ile çalışmaktadır. Bu doğrusal harekette krank biyel mekanizması ile dairesel harekete çevrilerek taşıt tahriki sağlanır.

Tablo 3.2'de çeşitli buji ateşlemeli küçük motorların(SI) ve sıkıştırılmalı ateşlemeli motorların(CI) özellikleri gösterilmektedir. Genel kural olarak; CI motorlar, SI motorlara göre aynı gücü almak için daha az yakıt tüketimi(BSFC) sağlarlar. Bu kısmen dizel yakıtın enerji yoğunluğundan, kısmen de dizel motorun benzine kıyasla izin verdiği daha yüksek sıkıştırma oranından kaynaklanmaktadır. Motor malzemesi ne kadar yüksek mukavemete sahipse, o kadar fazla sıkıştırma oranı kullanılabilir. Bundan dolayı CI motorlar, genelde SI motorlardan daha performanslı ama daha ağır olmaktadır [30].

Tablo 3.2. Bazı Küçük Boyutlu İçten Yanmalı Motorların Performans Karşılaştırması [30]

Motor Tipi		Çalışma Döngüsü	Sıkıştırma Oranı	Güç/ağırlık Oranı	Ort. En İyi BSFC
				(Kg/kW)	(g/kW-h)
Buji Ateşlemeli	Küçük Motor( motosiklet vs.)	2 veya 4 zamanlı	6-11	5.5-2,5	350
	Binek araç	4 zamanlı	8-10	4-2	270
	Wankel Motor	4 zamanlı	9	1.6-0,9	300
Sıkıştırma Ateşlemeli	Binek Araç	4 zamanlı	17-23	5-2,5	250
	Kamyon(NA)	4 zamanlı	16-22	7-4	210

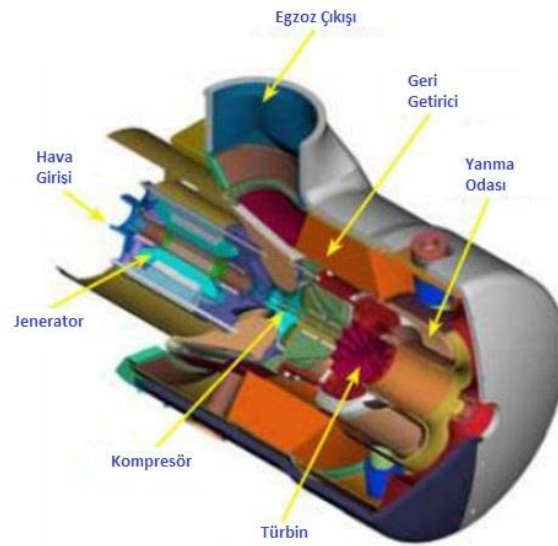
Tablo 3.2’de listelenen motorlar içinde wankel motorun güç ağırlık oranı yüksektir ancak yakıt verimi nispeten düşüktür. Wankel motor, güç ağırlık oranına ek olarak birçok parametresiyle, menzil arttırıcı olarak kullanılması için iyi bir alternatiftir. Optimize edildiğinde, wankel motor düşük gürültü ve vibrasyon seviyesi ile işletilebilir ki sessiz ve vibrasyonsuz çalışan bir elektrikli taşıt için önemli bir özelliktir. Diğer içten yanmalı motorların aksine olarak, wankel motorun şaft çıkışı motorun merkezindedir. Bu özellik motor-jeneratör ikilisinin daha küçük hacimlerde menzil arttırıcı modül olarak paketlenmesine izin vermektedir. Şekil 3.3’de AVL Wankel motorlu menzil arttırıcı modülü görülmektedir. Kompakt boyut, düşük ağırlık ve sessiz çalışma gibi özelliklerinden dolayı AVL, FEV ve hatta AUDI gibi firmalar wankel motor menzil arttırıcı ünite prototipini üretmekte ve testlerini yapmaktadırlar [30].



Şekil 3.3. AVL Wankel Motorlu Menzil Arttırıcı Modül [29]

### 3.1.3. Gaz Türbin Motorları(GTM)

Gaz türbin motoru geçmişten beri otomobillerde kullanılmaktadır. 1960 model Chrysler gaz türbin motorlu otomobili bunlardan bir tanesidir. Ama maalesef, yavaş tepki zamanı ve kısmi yükte verimsiz çalışması nedeniyle birincil kaynak olarak geleneksel taşıtlarda kullanımı uygun olmamıştır [30].



Şekil 3.4. Menzili Artırılmış Elektrikli taşıtlar için Capstone C30 Mikro türbini [30]

Ancak elektrikli taşıtlarda menzil artırıcı olarak kullanıldığında bu dezavantajlar ortadan kalkmaktadır ve bu teknoloji gelecek vaat edici bir menzil artırıcı sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü menzil artırıcı olarak motor, gerektiği zaman sabit yükte çalışıp, bataryaları şarj edecektir. Bunlara ek olarak, jeneratör olarak geleneksel kullanımında gaz türbinlerinden, yüksek hız ile yüksek verim elde edilebilir. Mikro türbin, elektrikli taşıtlarda menzil artırıcı olarak, yüksek hız jeneratörü ile birlikte çalıştığında yüksek verim ve yüksek güç yoğunluğu potansiyeline sahiptir (Tablo 3.3). Güncel olarak kullanılan bir örneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir [30].

Tablo 3.3. Gaz türbin motoru karakteristikleri [29]

Verim	%25-35
Paket boyutu	95 W/l
Güç yoğunluğu	400 W/kg
Maliyet	Düşük
Emisyon	Doğalgaz: NO <sub>x</sub> 9 ppm, CO 50 ppm Sıvı yakıt: NO <sub>x</sub> 35 ppm, CO 15 ppm
Yakıt türü	Benzin, dizel, doğalgaz vs.
Gürültü-Titreşim	Yüksek (65 dB)
Tepki süresi	Yavaş, 10-90 s



### 3.1.4. Yakıt Hücresi Motoru (PEMFC)

Elektrikli taşıtlarda, ya taşıtların elektrik motorunda kullanılmak üzere ya da taşıtlardaki bataryalarda depolanmak üzere elektriksel güce ihtiyaç duyulmaktadır. Daha önceki kısımlarda, mekanik gücün bir alternatör tarafından elektriksel güce dönüşmesini sağlayan motor tiplerinden bahsedilmiştir. Ama yakıt hücresi motoru doğrudan elektrik gücü üreterek alternatör ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Hidrojen yakıtı kullanıldığında yakıt hücresinden egzoz emisyonu olarak sadece su açığa çıkmaktadır ve %59 civarı verim değerine ulaşabilmektedir (Tablo 3.4). Şekil 3.5’de PEM hidrojen yakıt hücresi görülmektedir [30].

Tablo 3.4. Yakıt hücresi karakteristikleri [29]

Verim	%59
Paket boyutu	1100 W/l (yardımcı üniteler olmadan)
Güç yoğunluğu	200-885 W/kg
Maliyet	40000 €
Emisyon	Su buharı ve hidrojen
Yakıt türü	Hidrojen
Gürültü-Titreşim	Çok sessiz
Tepki süresi	Orta, 3-30 s



Şekil 3.5. PEM yakıt hücresi modülü [31]

Yakıt hücresi, geleneksel motorlar ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Ama seri üretime kazandırılmadan önce birçok engelin aşılması gerekmektedir. Çoğu düşük sıcaklık yakıt hücresi, yakıt olarak, yüksek yoğunlukta saf hidrojen gerektirmektedir. Yüksek sıcaklık yakıt hücresi doğalgaz kullanılarak çalıştırılabilir. Ama kayda değer şekilde fazla ısıtma soğutma zamanı gerekmektedir ve reaksiyon uzun zaman almaktadır [30].

### **3.2. Menzil Arttırma Sistemlerinin Değerlendirilmesi**

Menzil arttırıcı olarak kullanılmak üzere; yakıt hücresi, serbest pistonlu lineer jeneratör, gaz türbin motor, pistonlu içten yanmalı motor ve wankel motor olmak üzere beş temel alternatif bulunmaktadır. Tablo 3.5’de verim değerlerine baktığımızda yakıt hücresinin üstünlüğünü görmekteyiz. SPLJ, yakıt hücresinden sonra en yüksek verimli menzil arttırma ünitesi olarak karşımıza çıkmaktadır ve diğer özellikleri içten yanmalı motorlarla benzerlik göstermektedir. Gaz türbin motorunun ise spesifik güç yoğunluğu yüksektir ancak hacimsel güç yoğunluğu düşüktür ayrıca gürültüsü seviyesi de yüksektir.

Tablo 3.5. Elektrikli Otomobillerde kullanılabilir menzil artırıcı sistemlerin karşılaştırmalı özellikleri [4,29]

	Yakıt Hücresi	SPLJ	Gaz Türbin	Pistonlu İYM (4t)	Wankel
Verimlilik (%)	59	36,6	25-35	22-36	20-29
Hacimsel güç yoğunluğu (W/l)	1100	470	95	458-640	458-640
Spesifik Güç Yoğunluğu (W/kg)	200-885	320	400	500-830	500-830
Emisyon	Su ve ppm hidrojen	HC, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , CO	HC, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , CO	HC, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , CO	HC, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , CO
Yakıt Çeşitliliği	Hidrojen, doğalgaz	Dizel, benzin, doğalgaz, LPG vs.	Dizel, benzin, doğalgaz vs.	Dizel, benzin, doğalgaz, LPG vs.	Dizel, benzin, doğalgaz, LPG vs.
Gürültü-Titreşim	Çok sessiz	Orta	Yüksek	Orta	Orta
Ölçeklendirilebilirlik	Orta	İyi	Orta	İyi	İyi
Dinamik	Orta 3-30 s	Hızlı < 1 s	Yavaş 10-90 s	Hızlı < 1 s	Hızlı < 1 s

### 3.2.1. SPLJ-PEMFC

PEM yakıt hücresi sadece hidrojen ile çalışabilirken, SPLJ sistemi farklı yakıt seçenekleri kullanılabilir. Hidrojen ile ilgili alt yapı henüz yaygın olmadığı için PEM dezavantajlı olmaktadır. Ayrıca PEM yakıt hücresi, SPLJ'den yaklaşık 20 kat daha pahalıdır ve uzun ilk tepki süresine sahiptir [4,29].

Böylece PEM yakıt hücresi daha yüksek verime, spesifik ve hacimsel güç yoğunluğuna sahip olmasına rağmen, hala ancak geleceğin enerji çözümü olarak görülmektedir. Yani SPLJ hidrojeninde dâhil birçok yakıtın kullanılabilmesi ve makul

güç yoğunluğu ve verimi ile günümüz ile gelecek arası köprü vazifesi görecekteki teknoloji olarak görülebilir [4,29].

### 3.2.2. SPLJ-GTM

Serbest pistonlu lineer jeneratör, gaz türbin motor ile karşılaştırıldığında, SPLJ daha yüksek verime sahiptir. Dahası SPLJ daha yüksek hacimsel güç yoğunluğuna ve dinamikliğe sahiptir. Dinamik hızın fazla olması batarya sistemini daha az zorlar ve daha basit batarya sistemine ihtiyaç duyar, buda maliyetleri azaltır. SPLJ birçok konuda Türbin Menzil Arttırıcıdan daha iyi olmasına karşın, eğer üretici için düşük ağırlık önemli ise ve yeterli hacim mevcut ise, GTM düşünülebilir [29].

### 3.2.3. SPLJ-İYM

SPLJ ile Otto/Wankel motorlar ile arasındaki farkları belirlemek oldukça zordur. Bir nedeni ticari olarak kullanılacak menzil arttırıcı sistem özellikleri tam olarak tanımlanmamıştır. SPLJ daha yüksek verim sağlayabilir ve farklı yakıtların kullanılmasına tam potansiyeli vardır. Spesifik ve volümetrik verimler oldukça benzerdir. Ancak SPLJ düşük yüksekliği sebebi ile araca daha iyi entegre olabilir. Yalnızca wankel motor kayda değer bir şekilde küçük ve hafiftir ancak daha düşük verime sahiptir [29].

SPLJ, Otto/Wankel motordan biraz daha maliyetlidir ancak yüksek verimi dolayısıyla ile kullanım maliyeti ile eşitlenebilir. Menzil arttırıcı üniteli taşıt konseptleri için düzenli kullanımda ve seri hibrit taşıtlarda SPLJ avantajlıdır. Ancak Menzil arttırıcı sistem nadiren kullanılacak ise daha yüksek maliyeti amorti edemeyebilir [29].

Bu çalışmada, 10:1 sıkıştırma oranına sahip, benzinli, buji ateşlemeli karşıt pistonlu serbest pistonlu lineer jeneratör menzil arttırıcı sistem tasarımı yapılarak tasarım parametreleri belirlenmiştir. Menzil arttırıcı sistem olarak geleneksel içten yanmalı motor, türbin motoru, wankel motor gibi birçok motor kullanılabilir. Ancak çalışmamızda daha yüksek verime sahip, daha küçük hacimli ve daha hafif olabilen serbest pistonlu lineer jeneratör kullanılmıştır. Sebebi, bu motor geleneksel içten

yanmalı motor gibi çalışmakla birlikte krank-biyel mekanizmasına sahip değildir. Onun yerine direkt olarak pistonlardan elde edilen doğrusal hareket, doğrusal alternatör vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu şekilde ek sistemlerden dolayı verim kaybı yaşanmaz ve ağırlık ve hacmi artmaz. Küçük bir sistem eklenerek araca ekstra 200-300 km menzil kazandırılabilir. Aynı zamanda da menzil artırıcının kullandığı yakıtlar her yerde bulunabileceği için zaten menzil sorunu yaşanmayacaktır. Bu motorda dizel, benzin, LPG, doğalgaz gibi birçok yakıt kullanılabilir. Birçok yönden üstünlüğü olan bu motor, bu özellikleri sayesinde menzil artırıcı ünite olarak en uygun alternatiflerdendir.

Bu şekilde taşıta yaklaşık 100 kg ağırlık eklenmesine karşın, 200-300 km menzil kazanabilecektir. Bu sayede elektrikli taşıtın menzil problemi çözülebilmektedir.

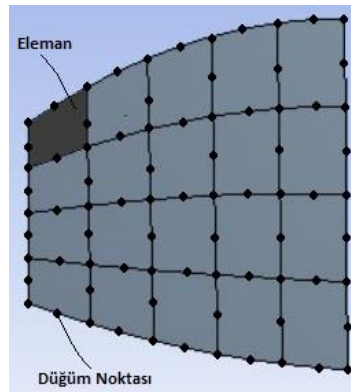
## **BÖLÜM 4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ**

Sonlu elemanlar yöntemi, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilen problemleri veya fonksiyonel minimizasyon olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. Çözüm yapılacak bölge sonlu elemanlar topluluğu olarak gösterilmektedir. Sonlu elemanlardaki yaklaşık fonksiyonlar, çözümü yapılan alanın düğüm noktalarında belirlenmektedir. Sürekli fiziksel problem, bilinmeyen düğüm noktasındaki değeri kesikli sonlu eleman problemine dönüştürülmektedir. Bu yöntem ile çözüm yapabilmek için basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak; katı mekaniği, sıvı mekaniği, ısı transferi, akustik, elektromanyetizma ve biyomekanik gibi alanlardaki problemler çözülebilir. Ayrıca bu yöntem, düzgün olmayan geometriye sahip, karmaşık sınır koşulları olan sistemlere, statik veya zamana bağlı olan problemlere ve lineer veya lineer olmayan problemlere uygulanabilir. Sonlu elemanlar yöntemi çeşitli mühendislik problemleri için kabul edilebilir sonuçlar vermektedir.

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmıştır. Hrennikoff(1941) ve Mc Henry(1943) tarafından yarı analitik analiz metotları geliştirilmiştir. 1960'lı ve 1970'li yıllarda, bükülmüş düzlem yüzeylerde, basınçlı kaplarda ve üç boyutlu problemlerin yapısal, akışkan ve ısı analizlerinde genel olarak kullanılmaya başlanmıştır. Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. Günümüzde hemen hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [33].

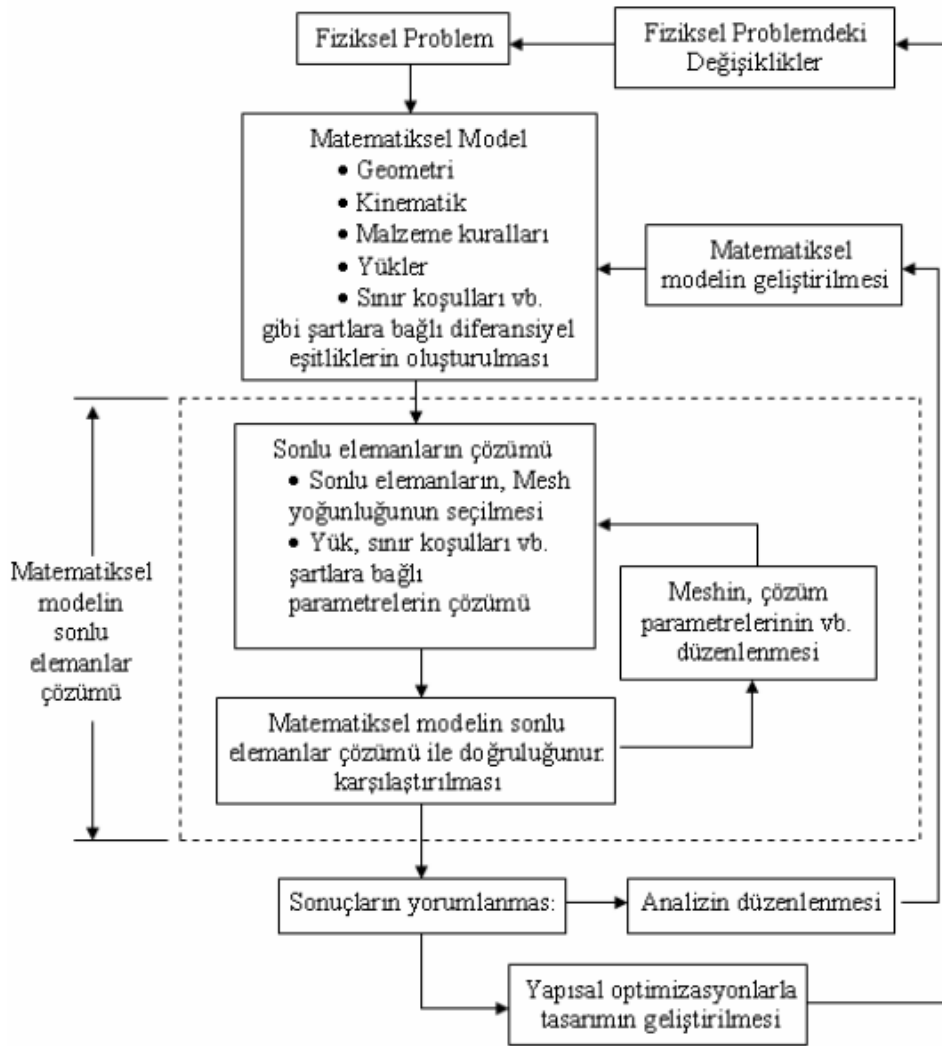
Sonlu elemanlar metodunda model, davranışları daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür ve ardından elemanlar, düğüm noktası(node) adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler (Şekil 4.1). Bu sayede cebirsel denklem takımı elde edilir. İncelenen probleme bağlı olarak yüzlerce hatta binlerce denklem takımı elde edilir.

Elde edilen denklem takımları, bilgisayar yardımı ile çözümler. Sonlu elemanlar metodundaki temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün değerinin o elemanın düğüm noktalarındaki değerler kullanılarak interpolasyon işlemi ile bulunmasıdır. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler düğüm noktalarındaki değerlerdir. Matematiksel olarak elde edilen eleman denklemleri, çoğunlukla matris formunda ifade edilebilen bir doğrusal cebirsel denklem takımı içermektedir [33].



Şekil 4.1. Bir sonlu elemanlar modelinde düğüm noktaları ve elemanlar

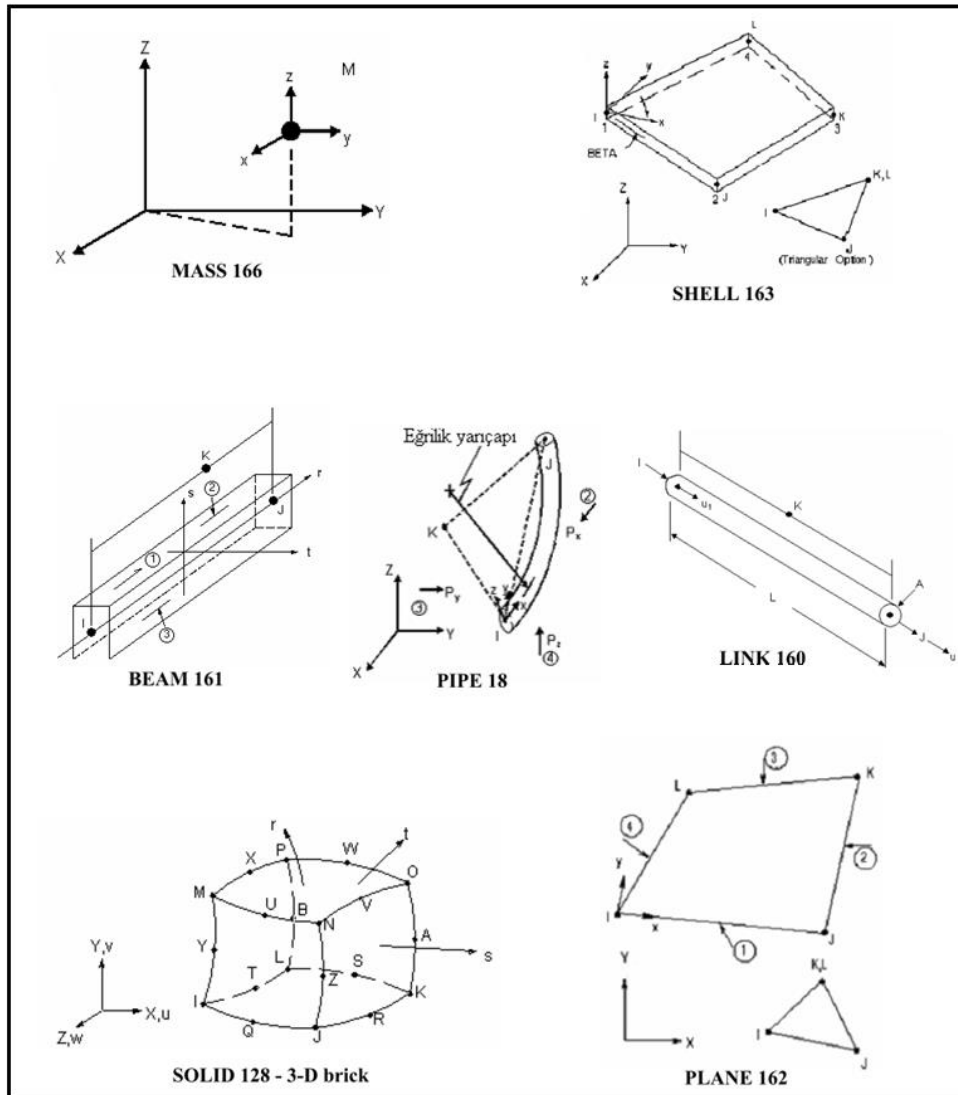
Şekil 4.2’de sonlu elemanlar yöntemindeki temel adımları göstermektedir.



Şekil 4.2. Sonlu Elemanlar Metodundaki Temel Adımlar [33]

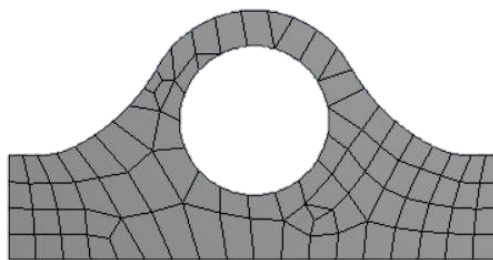
ANSYS analiz programında, çözümü yapılacak modelin çözüm ağı oluşturulmasında kullanılan elemanlar, çözüm işleminin türüne (yapısal, termal ve akışkan) ve modelin özelliğine uygun olarak iki ve üç boyutlu olmak üzere gruplara ayrılmaktadır. Yapısal ve termal bazı basit problemlerde tek düğüm noktasına sahip MASS elemanı kullanılırken, iki boyutlu problemlerde iki düğüm noktalı LINK, BEAM ve PIPE grubundaki elemanlar kullanılmaktadır. Daha karmaşık yapıları iki boyutlu problemlerde düğüm sayısı fazla PLANE ve SHELL grubundaki elemanlar, 3 boyutlu katı çözümlerde ise çözümün yapısına uygun olan ve düğüm sayıları değişebilen BRICK ve TETRAHEDRAL yapıları tercih edilmektedir. Şekil 4.3’de çözüm ağı işlemlerinde kullanılan bazı elemanların yapıları görülmektedir [33].





Şekil 4.3. Çözüm ağı işlemlerinde kullanılan bazı elemanların yapıları [33]

Farklı elemanların bir arada kullanıldığı örnek bir model Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Yüzeylerle uyumlu olarak, farklı boyutlarda üçgen ve dörtgen elemanlar birleşerek çözüm ağını oluşturmuşlardır.



Şekil 4.4. Farklı eleman türlerinin bir arada kullanılması

## BÖLÜM 5. MENZİL ARTTIRMA ÜNİTESİ TASARIMI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarının gelişmesi ile birlikte, motor yanma odalarının termal ve yapısal analizlerinde sonlu elemanlar metodu yaygınlaşmıştır.

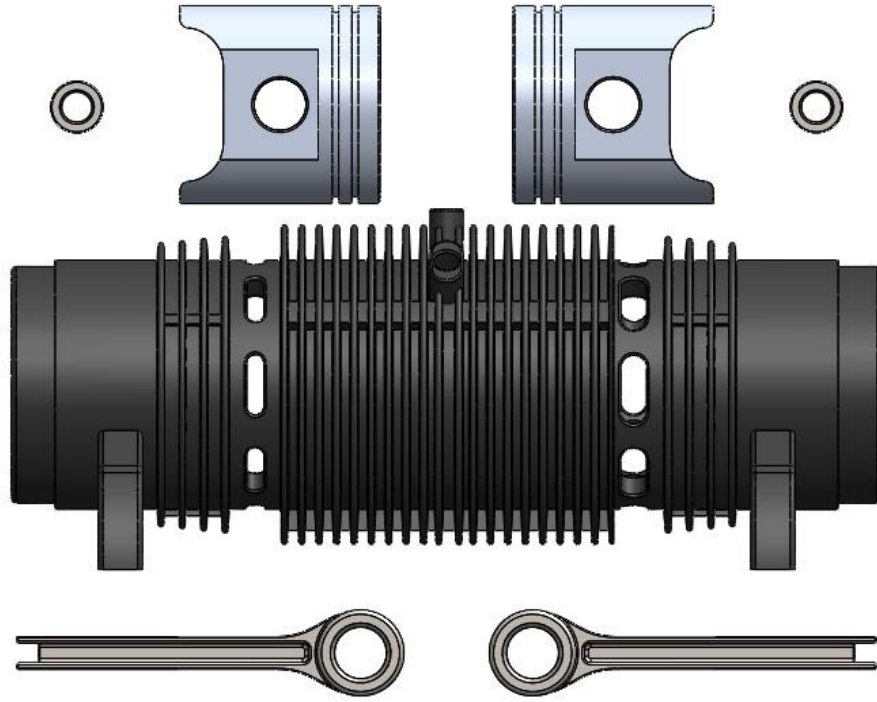
Bu bölümde, elektrikli taşıtlarda menzil artırma ünitesi olarak kullanılması düşünülen serbest pistonlu lineer motor, CAD ile modellenerek sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve yapısal analizleri yapılmıştır. Tablo 5.1’de motorun başlıca teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Motorun teknik özellikleri

Motor Tipi	Serbest Pistonlu Lineer Motor
Silindir çapı (mm)	46
Strok (mm)	46
Sıkıştırma oranı	10:1
Toplam hacim (cm <sup>3</sup> )	153

### 5.1. Serbest Pistonlu Lineer Motor Tasarımı

Öncelikle, karşıt pistonlu motorun 3B modelleri, SOLİDWORKS programı vasıtası ile oluşturulmuştur. Piston, gömlek, piston pimi ve biyel kolu tasarımları literatürdeki tasarımlar baz alınarak yapılmıştır (Şekil 5.1) [4,5].



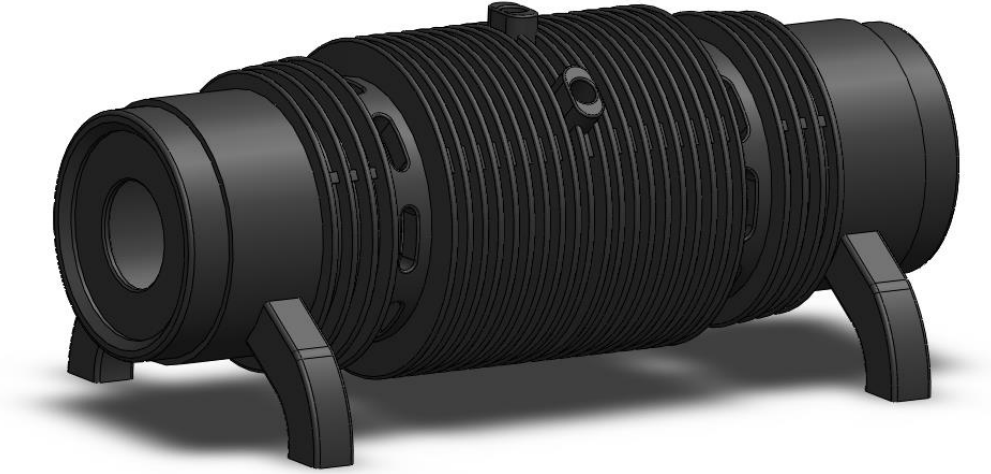
Şekil 5.1. Serbest pistonlu motor tasarımı

Tablo 5.2. Motoru Oluşturan Parçaların Özellikleri

	Parça Adı	Yanma Odasındaki Sayısı	Malzemesi
1	Piston	2	AlSi
2	Silindir	1	GGG40
3	Piston Pimi	2	Ç4140
4	Biyel kolu	2	Ç4140

### 5.1.1. Motor silindiri

Silindirlerde oluşan sıcaklık  $100^{\circ}\text{C}$ - $2500^{\circ}\text{C}$  arasında, basınç ise 0,8-70 bar arasında değişmektedir [33]. Bu şartlara dayanabilmesi için motor silindiri genellikle küresel grafitli dökme demir veya çelikten yapılmaktadır. Tasarımımızda, grafit içeriğiyle şeklini muhafaza etmesi, titreşimin ilerlemesini önlemesi ve yağlama görevi yapmasından dolayı, literatürden de faydalanılarak, GGG40 malzemesi kullanılmıştır. Soğutmanın sağlanabilmesi için silindir üzerine kanatçıklar eklenmiştir (Şekil 5.2).

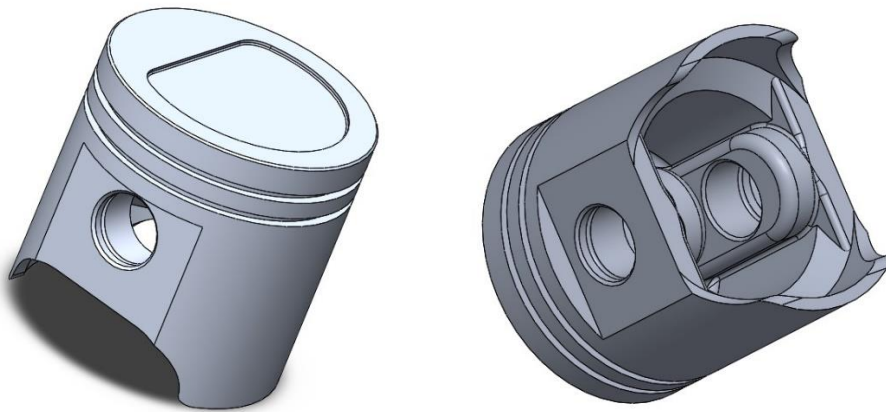


Şekil 5.2. Motor silindiri

### 5.1.2. Piston

Silindir içinde değişik hızlar ile hareket eden piston atalet kuvvetlerinin az olması istenildiğinden hafif ve silindir içi yüksek sıcaklıklara çıktığı için de ısıl dayanımı yüksek malzemeden yapılmalıdır.

Benzinli motorlarda piston genellikle %12 silisyum içeren AlSi alaşım kullanılmaktadır. Silisyum miktarı arttıkça ısıl genişleme, aşınma oranı ve işlenebilirliği azalmaktadır [33]. Tasarımımızda AlSi12CuNi malzeme kullanılmıştır. Karışım yoğunluğunun buji çevresinde daha fazla olmasını sağlamak için, D kafa yapısına sahip piston tasarımı yapılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Piston Tasarımı

### 5.1.3. Biyel

Tasarımını yaptığımız motor serbest pistonlu olduğundan dolayı, biyele yalnızca aksenal kuvvetler gelmektedir. Dolayısıyla, konvansiyonel motorlara göre daha az yüke maruz kalmaktadır. Tasarımımızda Ç4140 çeliği seçilmiştir. Motorumuzda krank olmadığı için, şekil olarak alışlagelmişin dışında bir tasarıma sahiptir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Biyel Tasarımı

### 5.1.4. Piston pimi

Serbest pistonlu motorda krank olmadığı için, biyel açısal hareket etmemektedir. Dolayısıyla piston pimi sabit olarak biyel ile pistonu irtibatlandırılmaktadır (Şekil 5.5).



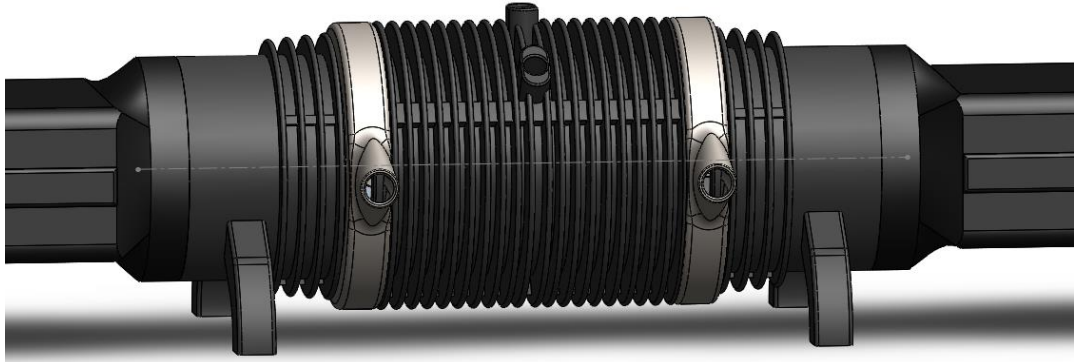
Şekil 5.5. Piston Pimi Tasarımı

### 5.1.5. Montaj

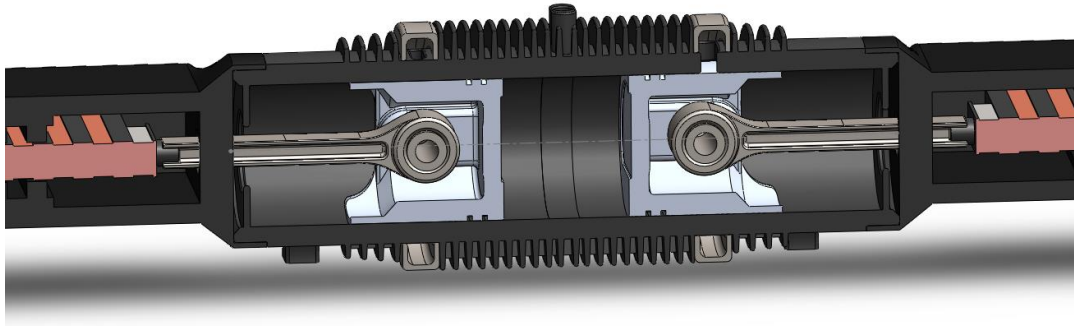
Piston, pim, biyel ve silindir beklenen özelliklere göre ve literatürden faydalanılarak tasarlanmış, alternatör stator ve rotoru temsili olarak çizilmiştir ve montajı yapılmıştır (Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8).



Şekil 5.6. SPLJ Montaj



Şekil 5.7. SPLJ Montaj-2



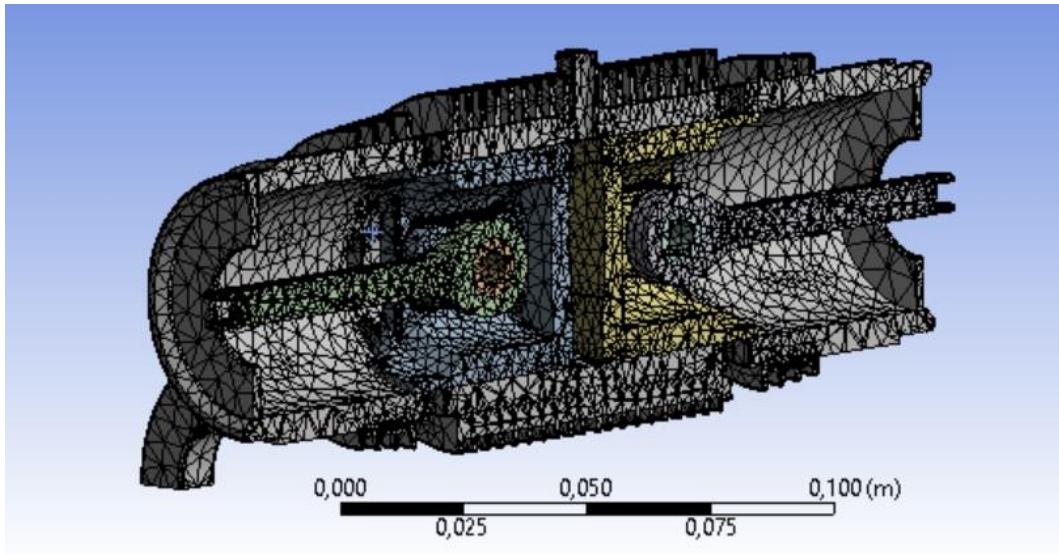
Şekil 5.8. SPLJ Montaj Kesit Görünümü

Piston, piston pimi, biyel kolu ve silindirin gibi parçaların tasarımı yapılmıştır. Ardından tasarlanan motor parçalarının sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılacaktır. Üretimin gerçekleşmesi durumunda, parçaların hem yapısal hem termal yüklere dayanıp dayanamayacağı tespit edilecektir.

## 5.2. Motor Parçalarının Termal Analizi

Yanma odasının sonlu elemanlar analizleri için ANSYS programı kullanılmıştır. SOLIDWORKS programı ile modellenen parçalar, ANSYS programına aktarıldıktan sonra malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Daha sonra çözüm ağı(mesh) oluşturulmuştur. Ardından, yanma odasının sınır şartları tanımlanmış ve yanma odasındaki sıcaklık ve ısı akıları analiz edilmiştir.

Modelin çözüm ağı yapısı, 378597 düğüm noktası ve 209721 elemandan oluşmaktadır. Şekil 5.9’de yanma odasının ANSYS çözüm ağı modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Motorun ANSYS çözüm ağı modeli

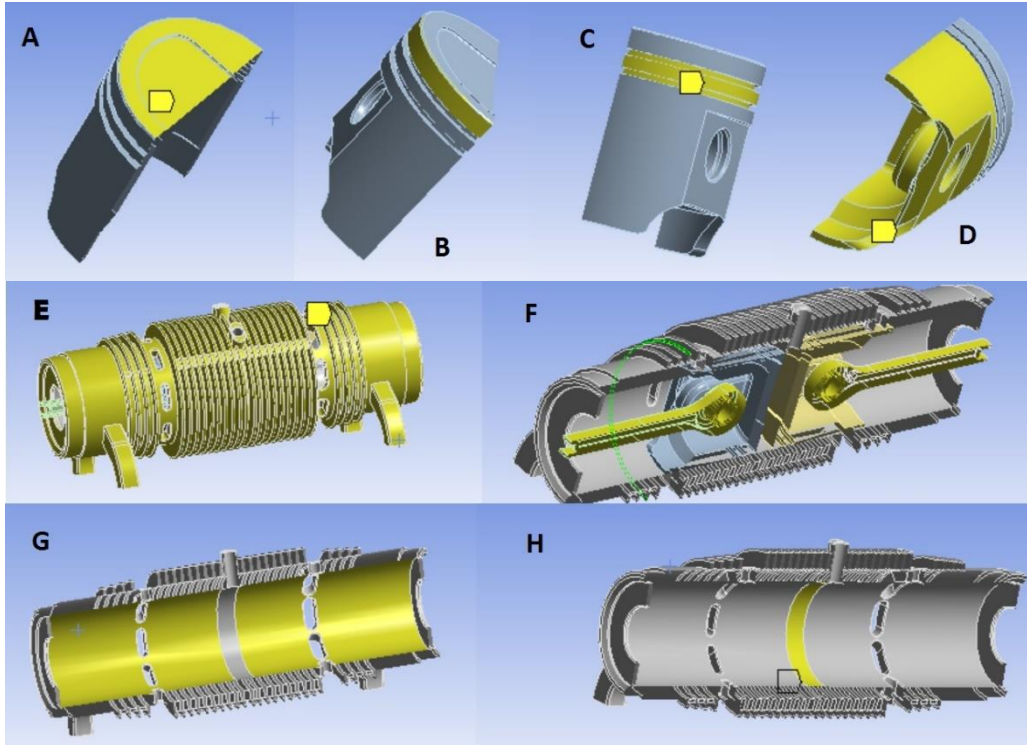
Termal analizlerde kullanılan motor modelini oluşturan parçalara ait malzeme özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Malzeme özellikleri [34,35,36]

Malzeme	Isı İletim Katsayısı (W/m°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Isı (J/Kg °C)	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (MPa)
GGG40	42	1,1*10 <sup>-5</sup>	7200	447	0,28	1,685*10 <sup>5</sup>
AlSi	155	2,1*10 <sup>-5</sup>	2700	960	0,28	8*10 <sup>4</sup>
Ç4140	43	1,18*10 <sup>-4</sup>	7850	450	0,29	2,05*10 <sup>5</sup>

### 5.2.1. Sınır şartlarının belirlenmesi

ANSYS programı vasıtasıyla, malzeme özelliklerinin tanımlanmasının ve çözüm ağının oluşturulmasının ardından kararlı hal koşullarındaki yanma odasının termal yükleri girilmiştir. Kullanılan sınır şartları daha önce yapılmış olan benzer çalışmalardan derlenmiş olup, analizlerin sonucunda bu çalışmaların sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur [38-43]. Kullanılan sınır şartları Şekil 5.10 ve Tablo 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.10. Sınır şartları tanımlanan yüzeyler



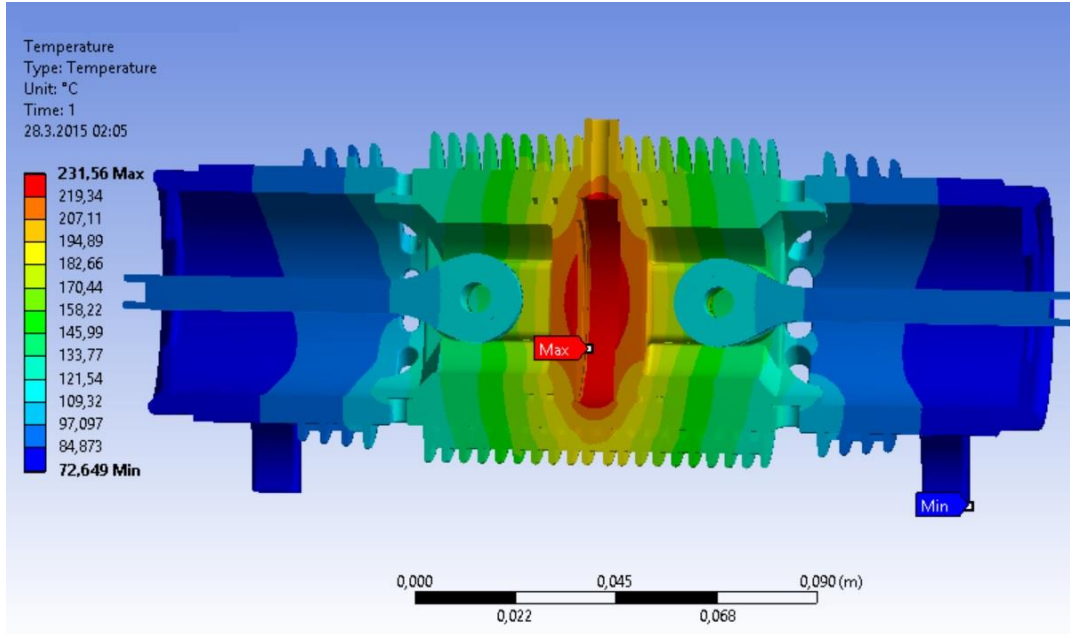
Tablo 5.4. Motor modelinde Tanımlanan sınır şartları [38-43]

Sıra	Sıcaklık (°C)	Taşınım (W/m <sup>2</sup> °C)
A	650	800
B	300	230
C	110	200
D	85	400
E	50	60
F	85	400
G	85	400
H	650	800

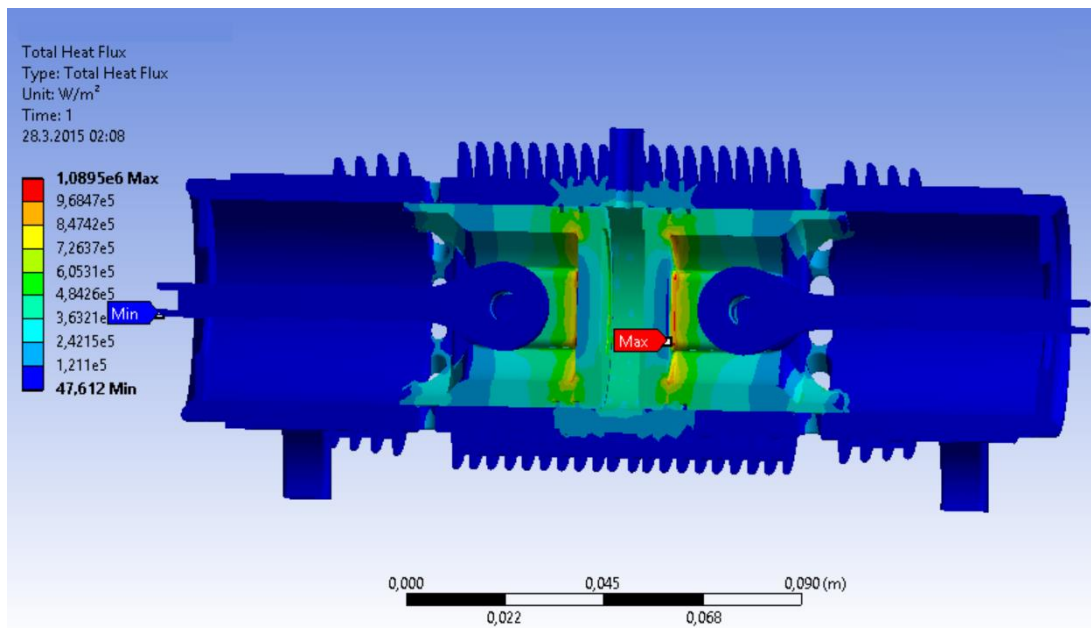
### 5.2.2. Termal analiz sonuçları

Termal analiz sonucunda elde edilen sıcaklık ve ısı akısı değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir. Sıcaklık dağılımı Şekil 5.11’de ve ısı akısı dağılımı Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Analiz sonucunda yanma odasındaki maksimum sıcaklık değeri 231.56°C olarak pistonun üst yüzeyinde tespit edilmiştir ve en yüksek ısı akısı değeri  $1,09 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ , en düşük ısı akısı değeri ise  $4,76 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur.

Şekil 5.13’de piston üst yüzeyindeki Şekil 5.14’de ise piston yanal yüzeyindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir.



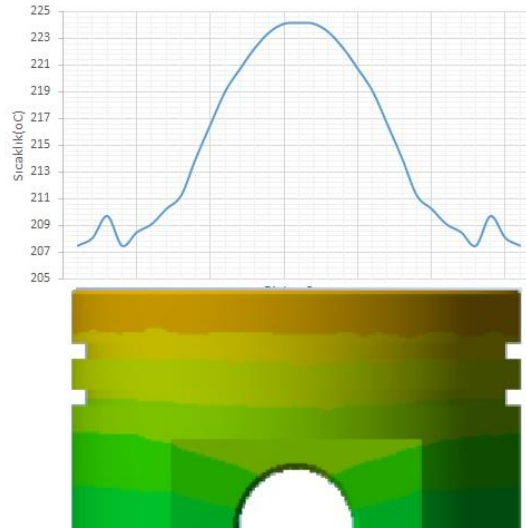
Şekil 5.11. Analiz sonucu motordaki sıcaklık dağılımı



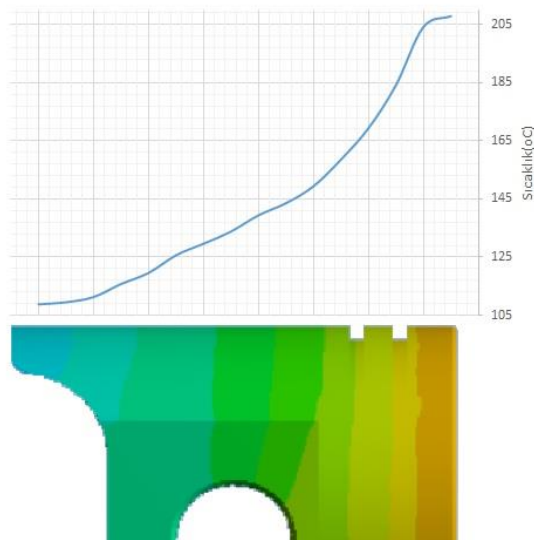
Şekil 5.12. Analiz sonucu motordaki ısı akısı dağılımı

Tablo 5.5. Motorun sıcaklık ve ısı akısı analiz sonuçları

Yanma Odası Bölgesi	En Yüksek Sıcaklık (°C)	En Düşük Sıcaklık (°C)	En Yüksek Isı Akısı (W/m <sup>2</sup> )	En Düşük Isı Akısı (W/m <sup>2</sup> )
Piston üst yüzeyi	231,56	208,62	0,7*10 <sup>6</sup>	0,307*10 <sup>6</sup>
Gömlek iç yüzeyi	231,16	79,1	0,611*10 <sup>6</sup>	0,0476*10 <sup>6</sup>
Piston alt yüzeyi	217,54	188,4	1,09*10 <sup>6</sup>	0,0535*10 <sup>6</sup>



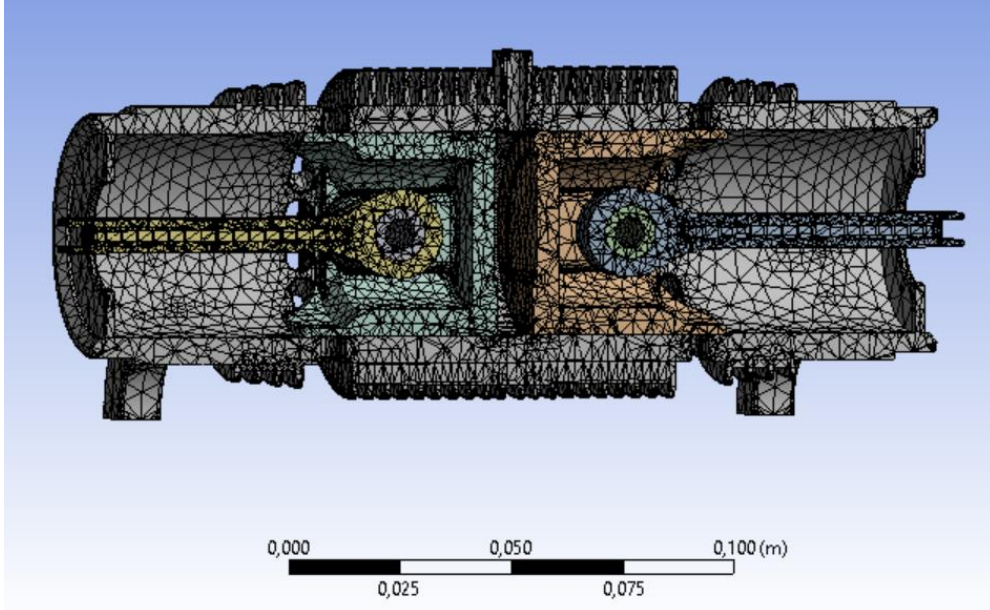
Şekil 5.13. Piston Üst Yüzey Sıcaklık Dağılımı



Şekil 5.14. Piston Yanal Yüzel Sıcaklık Dağılımı

### 5.3. Motor Parçalarının Yapısal Analizi

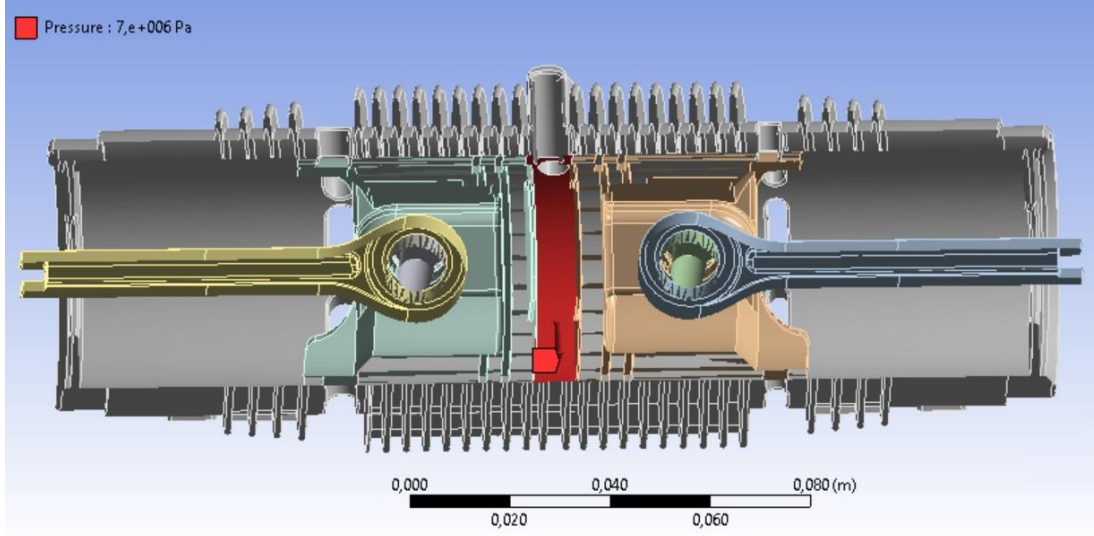
Motora gelen yükler, ANSYS programı vasıtası ile analiz edilmiştir. Analizlerde literatüre göre gelebilecek maksimum yükler verilmiştir ve motorun bu yükler sonucunda işlevini devam ettirip ettiremeyeceği irdelenmiştir.



Şekil 5.15. Motorun çözüm ağı oluşturulmuş görünümü

#### 5.3.1. Sınır şartlarının belirlenmesi

Yanma odasında silindir çeperine ve piston kafalarına gelen basınç literatürdeki veriler göz önüne alınarak, 7 MPa alınmıştır [19,22,32] (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Basınç Sınır şartları tanımlanan yüzeyler

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N}$$

GGG40 malzemesi için akma dayanımı 280 MPa ve AlSi malzemesi için akma dayanımı 250 MPa'dır [34,35,36]. Emniyet katsayısını 2 aldığımızda;

GGG40 silindir malzemesi için;

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{280}{2} = 140 \text{ MPa}$$

AlSi piston malzemesi için;

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{250}{2} = 125 \text{ MPa}$$

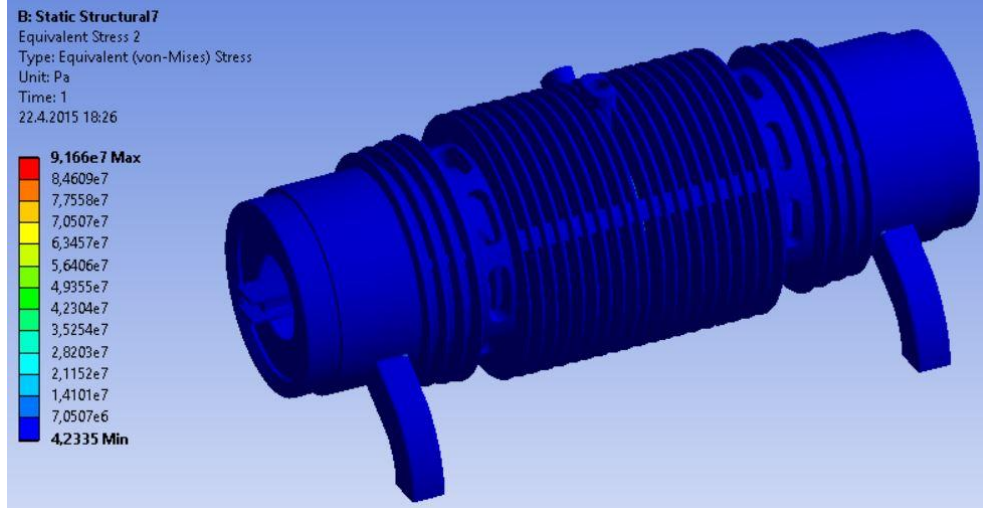
bulunmaktadır.

Buna göre maksimum gerilme 125 MPa(AlSi için) ve 140 MPa (GGG40 için)' nin üstüne çıkmamalıdır.

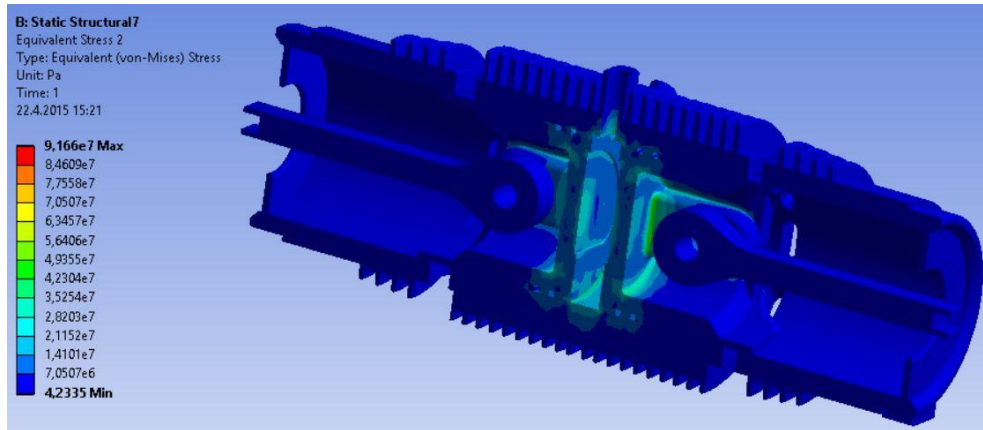
### 5.3.2. Yapısal Analiz sonuçları

Motorda oluşan eşdeğer gerilmeler Şekil 5.17, 5.18'da ve motorun pistonunda meydana gelen eşdeğer gerilmeler Şekil 5.19, 5.20'de görülmektedir. Buna göre,

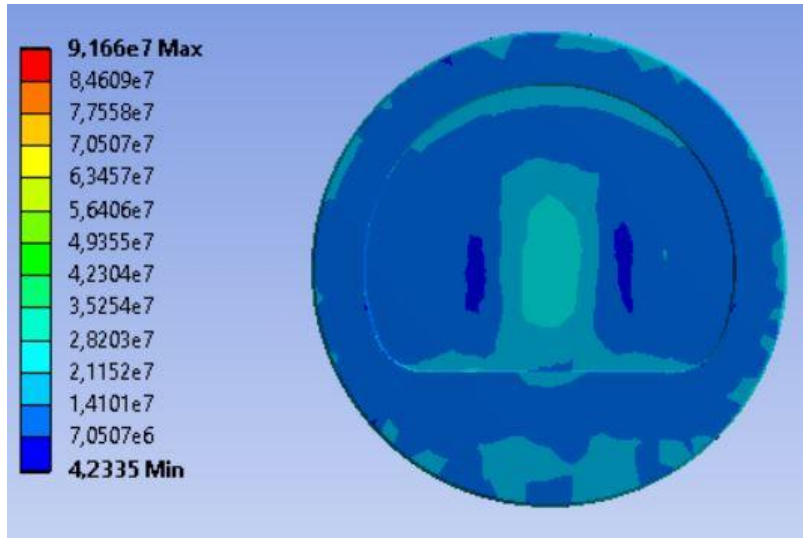
maksimum 91,66 MPa ve minimum 42,34 Pa gerilme meydana gelmektedir. Şekil 5.21’de ise piston yüzeyinde meydana gelen eşdeğer gerilmeler görülmektedir.



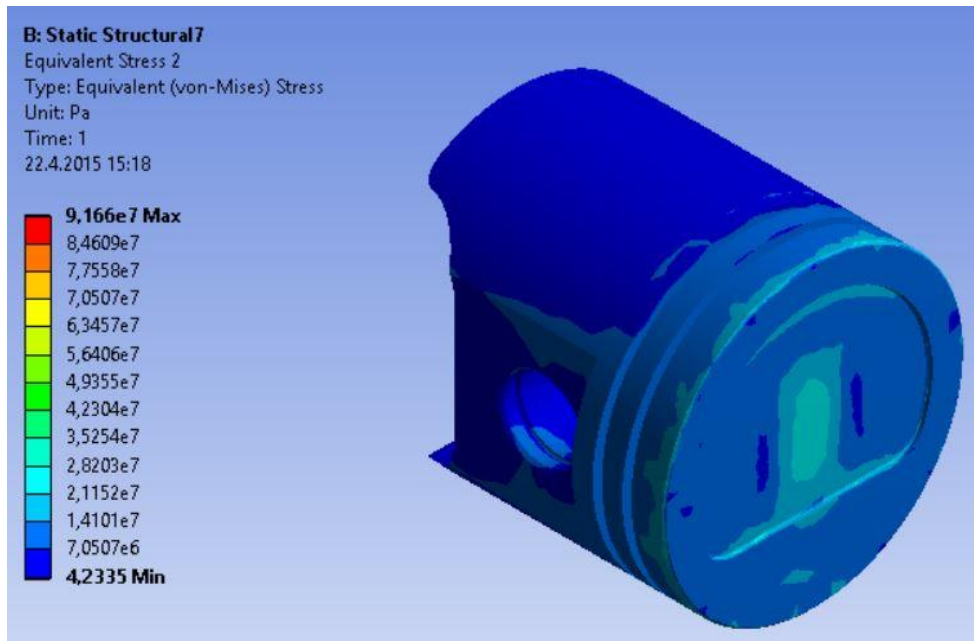
Şekil 5.17. Motorda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-1



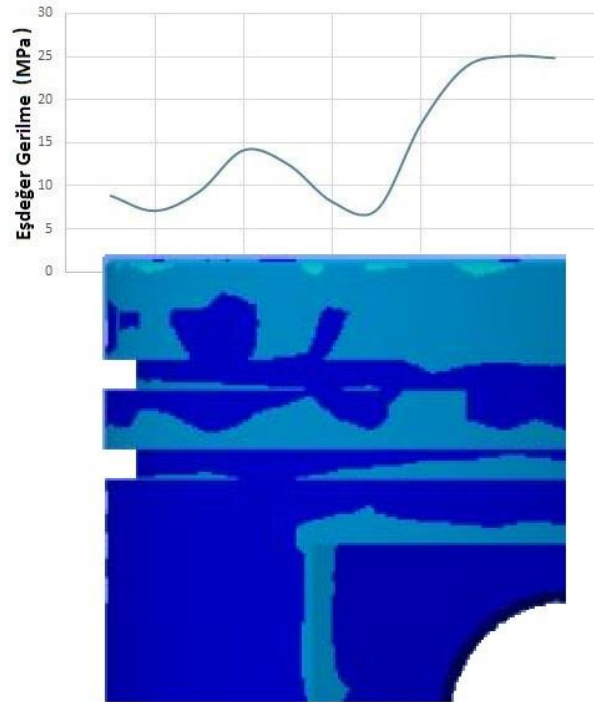
Şekil 5.18. Motorda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-2



Şekil 5.19. Motor Pistonunda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-1

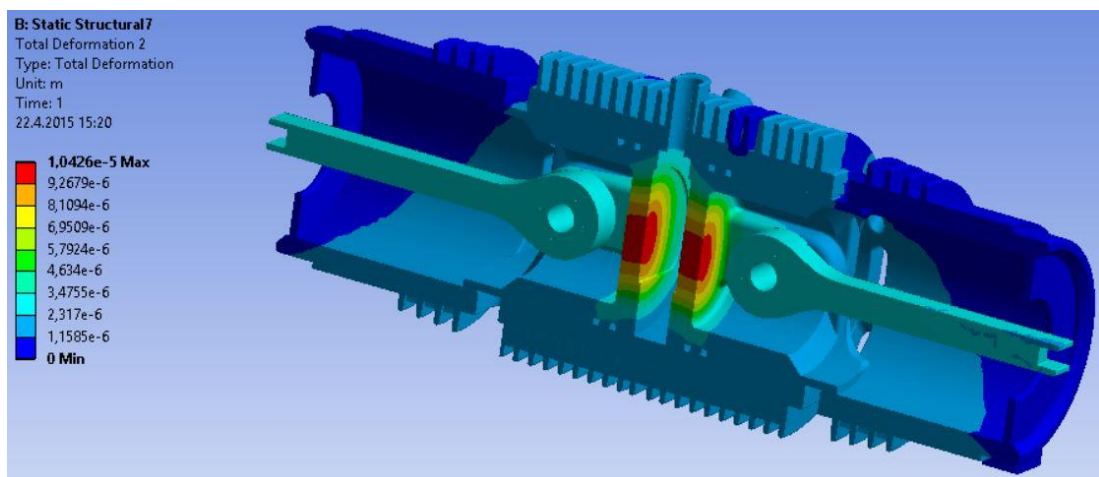


Şekil 5.20. Motor Pistonunda Oluşan Eşdeğer Gerilmeler-2



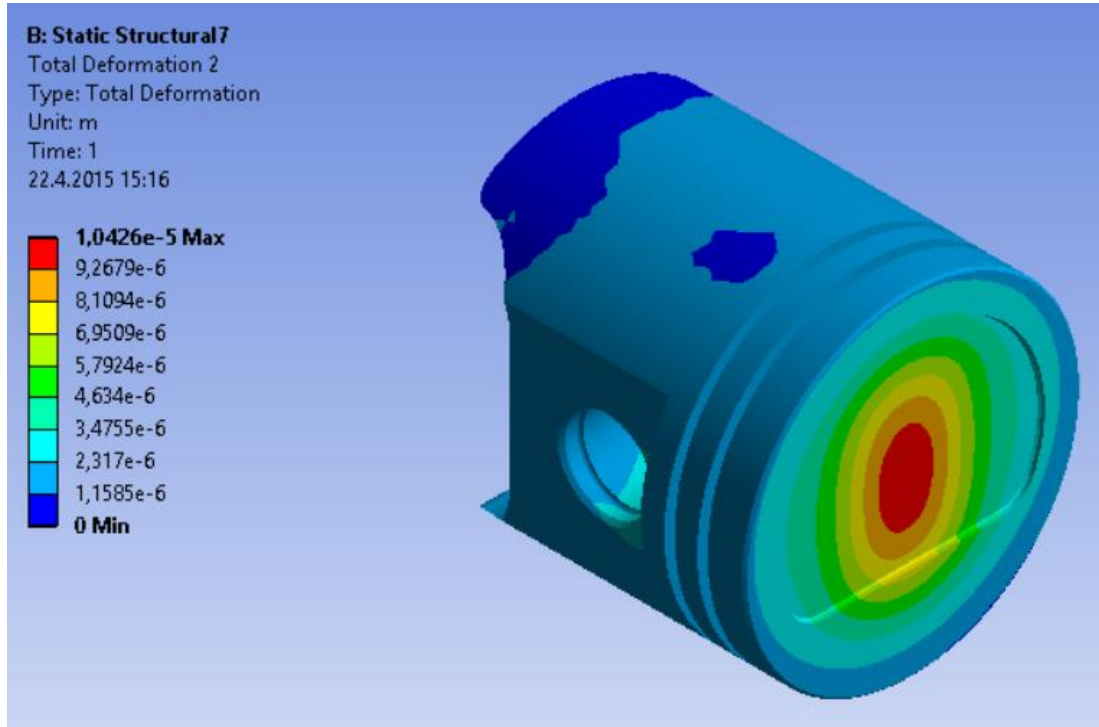
Şekil 5.21. Piston yüzeyi(yarım kesit) boyunca oluşan eşdeğer gerilmeler

Motorda meydana gelen toplam deformasyon değerleri Şekil 5.22’de ve pistonda meydana gelen toplam deformasyon değerleri ise Şekil 5.23’de gösterilmektedir. Motorda maksimum piston yüzeylerinde deformasyon meydana gelmiştir. Buna göre, meydana gelen maksimum deformasyon  $1.042 \cdot 10^{-2}$  mm’dir.



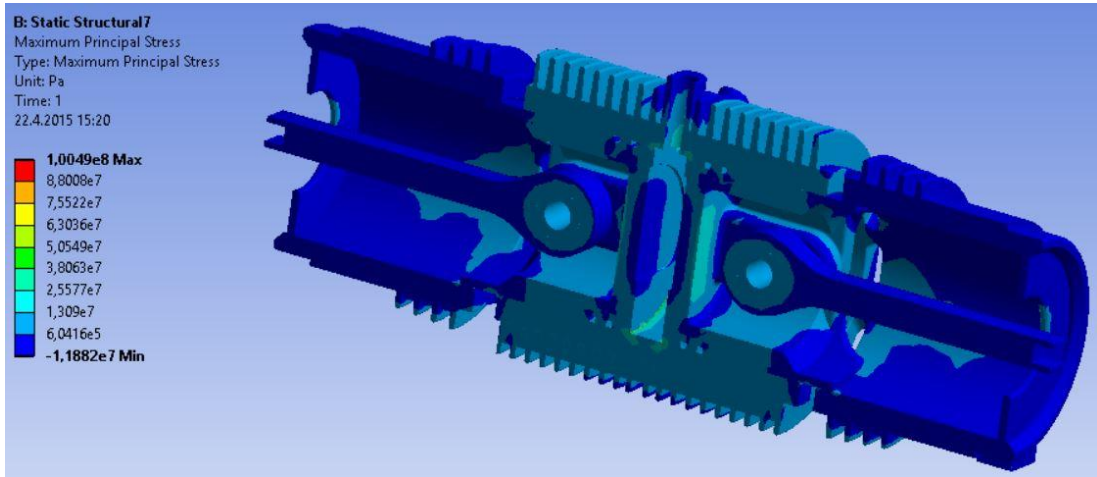
Şekil 5.22. Motorda Oluşan Toplam Deformasyon



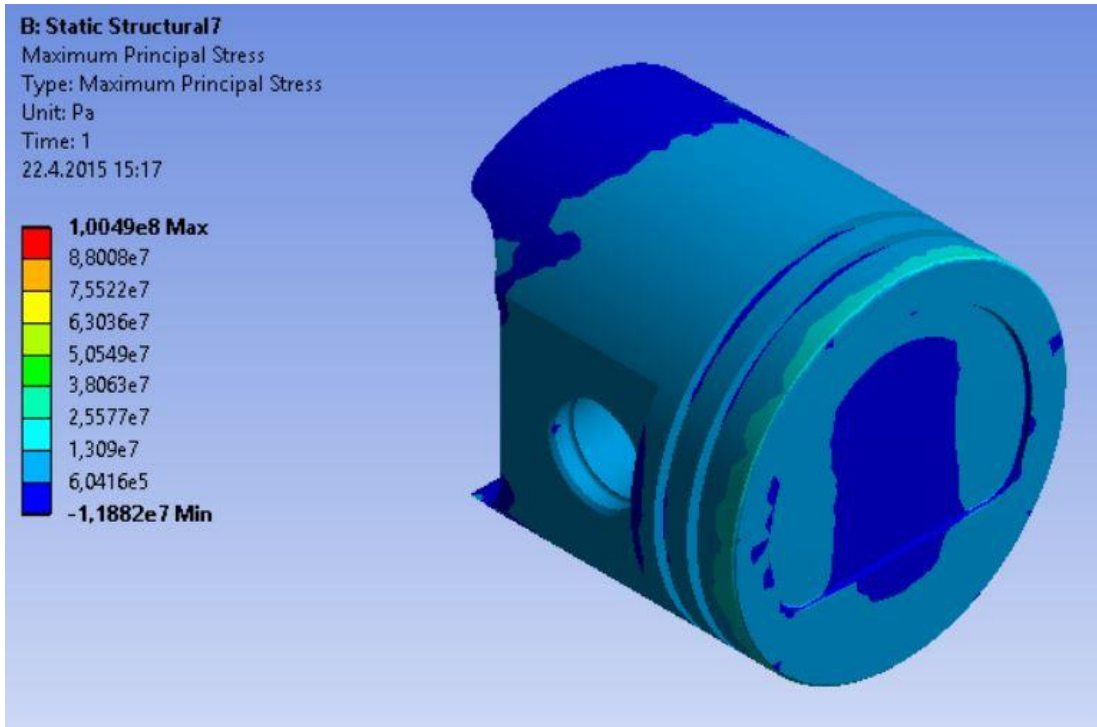


Şekil 5.23. Motor pistonunda oluşan toplam deformasyon

Motorda oluşan maksimum gerilmeler Şekil 5.24'de ve pistonunda meydana gelen eşdeğer gerilmeler Şekil 5.25'da görülmektedir. Buna göre, maksimum 100,49 MPa gerilme meydana gelmektedir.

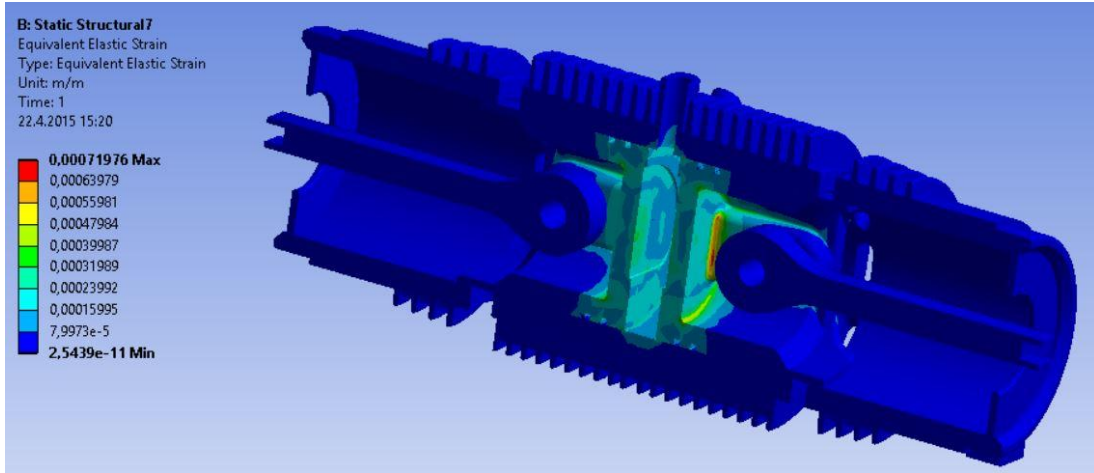


Şekil 5.24. Motorda oluşan Maksimum Gerilmeler

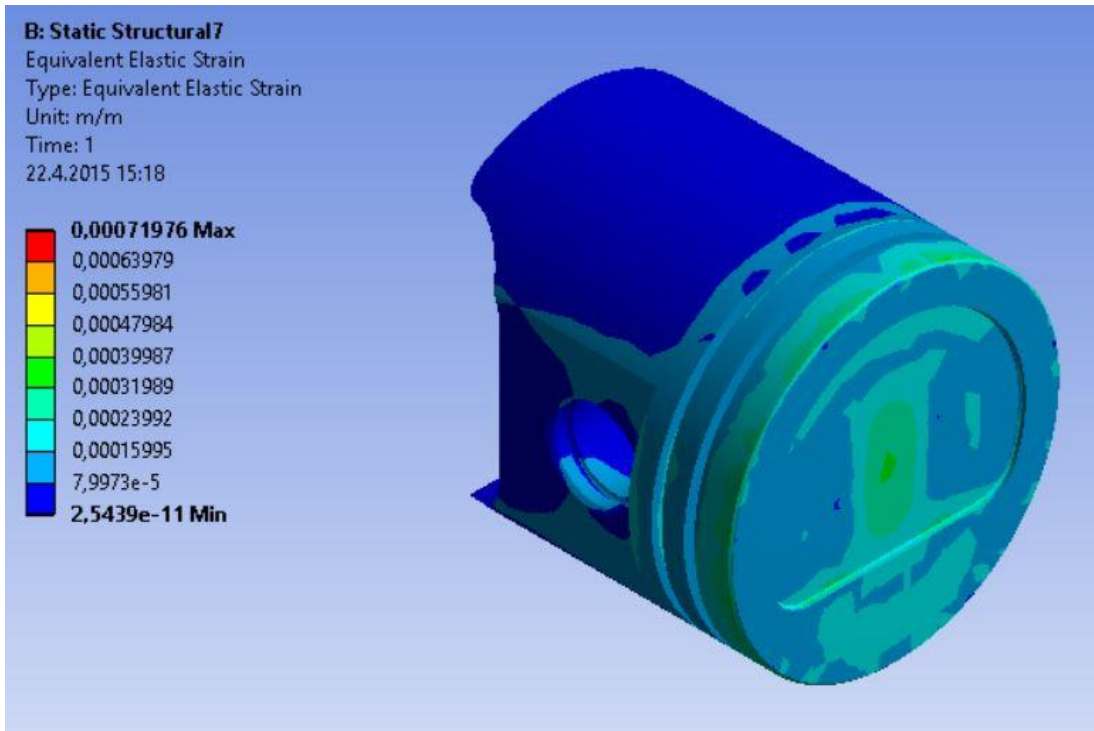


Şekil 5.25. Motor pistonunda oluşan maksimum gerilmeler

Motorda oluşan eşdeğer elastik gerinim Şekil 5.26’de ve pistonunda meydana gelen eşdeğer elastik gerinim Şekil 5.27’de görülmektedir. Buna göre, maksimum 0,00072 m/m gerinim meydana gelmektedir.

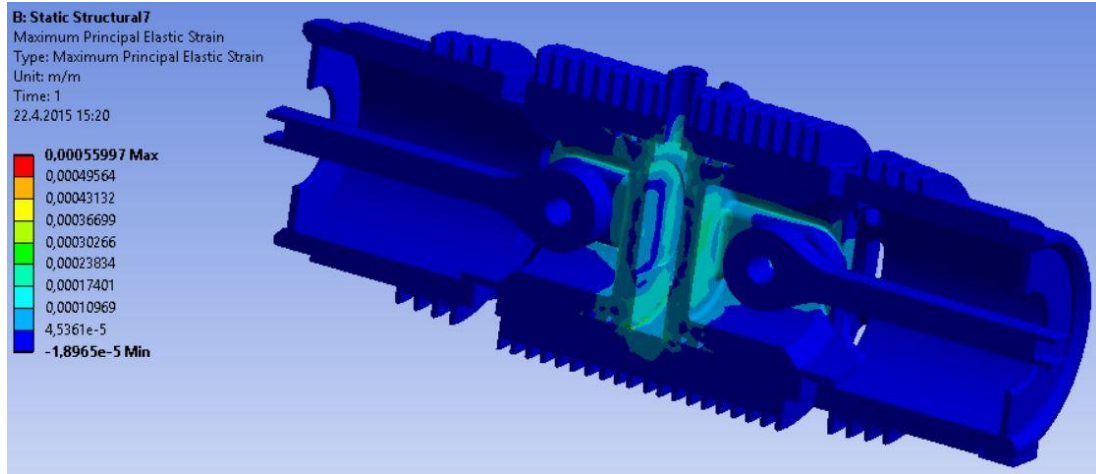


Şekil 5.26. Motorda oluşan eşdeğer elastik gerinim

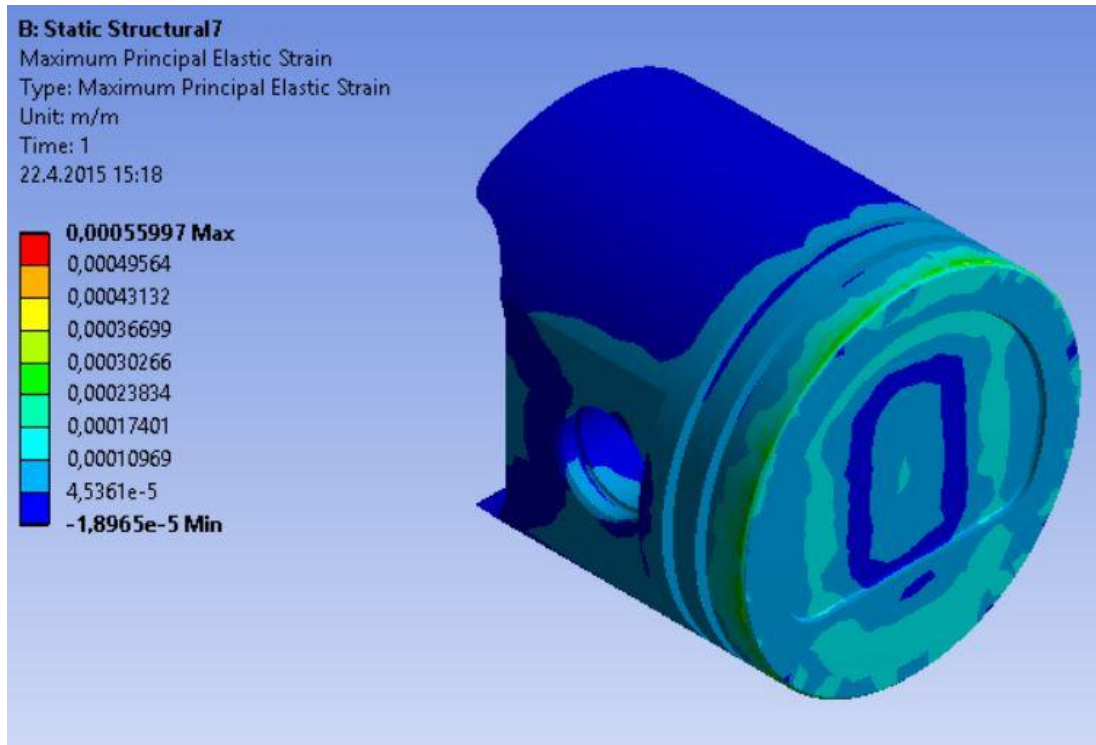


Şekil 5.27. Motor pistonunda oluşan eşdeğer elastik gerinim

Motorda oluşan maksimum elastik gerinim Şekil 5.28’da ve pistonunda meydana gelen eşdeğer elastik gerinim Şekil 5.29’da görülmektedir. Buna göre, maksimum 0,00056 m/m gerinim meydana gelmektedir.



Şekil 5.28. Motorda oluşan maksimum elastik gerinim



Şekil 5.29. Motor pistonunda oluşan maksimum elastik gerinim

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli taşıtların birçok avantajına rağmen, kısa menzil ve uzun şarj süreleri yaygınlaşmasında büyük engel teşkil etmektedir. Menzil arttırma ünitesi bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır. Menzil arttırma teknolojileri içerisinde serbest pistonlu lineer jeneratör; kompakt boyutu, nispeten basitliği ve verimi ile öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, elektrikli taşıtlarda kullanılabilen SPLJ'ün; silindir, piston, biyel ve pim tasarımları yapılmıştır. Tasarım parametrelerimize ve seçtiğimiz malzemelere göre, termal ve yapısal analizleri yapılmıştır. Analizlerdeki bulgulara göre, motor tasarımında oluşan gerilmeler ve meydana gelen sıcaklıklar seçilen malzemelerin dayanım sınırları içerisindeydi. Meydana gelen deformasyon ve gerinim değerleri çok küçüktür. Bu şekli ile tasarımı yapılan motor parçalarının, üretimi gerçekleşmesi ile birlikte, sağlıklı bir şekilde çalışacağı analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır.

Tasarlanan parçalar ile birlikte enjeksiyon sistemi, ateşleme sistemi gibi yardımcı sistemlerde seçilerek veya tasarlanarak SPLJ, taşıtlarda kullanılabilen duruma gelecektir.

Gelecek çalışmalar için,

- Konvansiyonel motorlardan farklı olduğu için, ateşleme ve yakıt enjeksiyon sistemleri SPLJ'e uygun olarak, geliştirilmelidir. Bunun için sensör yardımı ile piston konum değerleri kullanılmasına ihtiyaç duyulabilir.
- Pistonun genişleme safhası sonrası tekrar sıkıştırma yapabilmesi için gaz yayı seçimi büyük önem arz etmektedir.
- SPLJ'de kullanılacak, motor özellikleri ile uyumlu lineer alternatör tasarımı yapılmalıdır. Bu şekilde üretilen güç elektrik enerjisine dönüştürülerek, bataryalar şarj edilebilecektir.

- SPLJ'ün ilk harekete geçmesi konvansiyonel motorlardan farklı olduğu için, uygun ilk hareket sistemi tasarlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://www.greencarreports.com/news/1071688\\_95-of-all-trips-could-be-made-in-electric-cars-says-study](http://www.greencarreports.com/news/1071688_95-of-all-trips-could-be-made-in-electric-cars-says-study), Erişim Tarihi: 14.11.2014.
- [2] <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/onh00/bar8.htm>, Erişim Tarihi: 14.11.2014.
- [3] [www.freikolben.ch](http://www.freikolben.ch), Erişim Tarihi: 14.11.2014.
- [4] C. Ferrari, S. Offinger, M.Schier, F.Philipps, et al., “Studie zu Range Extender Konzepten für den Einsatz in einem batterieelektrischen Fahrzeug – REXEL, DLR, Hacker Media, Stuttgart, Almanya, 2012.
- [5] [www.beetron.ch](http://www.beetron.ch), Erişim Tarihi: 14.11.2014.
- [6] <http://www.bmwblog.com/2014/11/27/world-premiere-bmw-3-series-plug-hybrid-prototype/>, Erişim Tarihi: 17.01.2015.
- [7] [www.edusontechcenter.org](http://www.edusontechcenter.org), Erişim Tarihi: 14.11.2014.
- [8] Ünlü, N., Karahan, ř. ve Tür, O., Uçarol, O., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M., “Elektrikli Araçlar”, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Kocaeli, 2003.
- [9] [http://www.vse.sk/wps/portal/zb/domov/e-mobility/ako-funguje-elektromobil!/ut/p/b0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOLd\\_Q2dLZ0MHQ38vd0MDTydAtxM\\_V0cjQ38zPWDU\\_P0C7IdFQHpAfa5/](http://www.vse.sk/wps/portal/zb/domov/e-mobility/ako-funguje-elektromobil!/ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOLd_Q2dLZ0MHQ38vd0MDTydAtxM_V0cjQ38zPWDU_P0C7IdFQHpAfa5/), Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [10] <http://www.caranddriver.com/bmw/i3>, Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/BMW\\_i3](http://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3), Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [12] <http://car-pictures.cars.com/images>, Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster](http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster). Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [14] <http://automobiles.honda.com/civic-hybrid>, Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [15] <http://www.cars.com/fisker/karma/2012/snapshot> Erişim Tarihi: 18.01.2015.

- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Fisker\\_Karma](http://en.wikipedia.org/wiki/Fisker_Karma), Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Prius\\_Plug-in\\_Hybrid](http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_Plug-in_Hybrid), Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [18] <http://www.gulfstates.buyatoyota.com/dealersites/4921/images/landing/Toyota/new/3rd-Gen-Prius/2015/Four/2015-Toyota-3rd-Gen-Prius-Four-Blizzard-Pearl.png>, Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [19] Balki, M.K., Sayin, C., Canakci, M., “The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine” Fuel 115, s. 901-906, 2014.
- [20] Atabay, M., “Lityum-İyon Bataryaların Fotovoltaik Sistemlerde Uygulanabilirliğinin Diğer Batarya Tipleri İle Karşılaştırılmalı Olarak Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [21] Aras, U. T., “Hibrit Elektrikli Araçların Batarya Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Performans Analizi” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] Balki, M.K., Sayin, C., “The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI(spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline” Energy 71, s. 194-201, 2014.
- [23] Uğur, E., “Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [24] Öztürk, T., “Asenkron Motor İle Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [25] Ertaç, Y., “Elektrikli Taşıtların Tasarımı Ve Simülasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [26] Harrop, P., “Anatomy of Electric Vehicles by Land, Water and Air” IDTechEx ltd. <http://www.emic-bg.org/files/files/Y7466S6108.pdf> .
- [27] [www.infocar.se](http://www.infocar.se), Erişim Tarihi: 11.11.2014.
- [28] Korkut, E., “Elektrik Tahrikli Kanguru Tipi Engelli Aracı Tasarımı ve Prototip İmalatı” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- [29] Virsik, R., Heron, A., “Free piston linear generator in comparison to other range-extender Technologies” EVS 27 Electric Vehicle Symposium & Exhibition İspanya, 2013.



- [30] Varnhagen, S.J., “Experimental Investigation of the Wankel Engine for Extending the Range of Electric Vehicles” Yüksek Lisans Tezi, University of California, Davis, 2011.
- [31] <http://www.arcolaenergy.com/products/fcs-c100>, Erişim Tarihi: 10.04.2015.
- [32] Lee, C.C., Chiang, K.N., Chen, W.K., Chen, R.S., “Design and analysis of gasket sealing of cylinder head under engine operation conditions” Finite Elements in Analysis and Design, s. 1160-1174, 2005.
- [33] Okur, M., “Dört Zamanlı, Tek Silindirli, Buji İle Ateşlemeli Bir Benzin Motorunun Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Tasarımı Ve İmali” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2007.
- [34] <http://www.matbase.com/material-categories/>, Erişim Tarihi: 22.04.2015.
- [35] <http://asm.matweb.com>, Erişim Tarihi: 22.04.2015.
- [36] <http://www.makeitfrom.com/material-properties>, Erişim Tarihi: 22.04.2015.
- [37] Hashernnia, N., Asaei, B., “Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles” 2008 International Conference on Electrical Machines, paper ID 1257.
- [38] Cerit, M., Soyhan, H.S., “Thermal analysis of a combustion chamber surrounded by deposits in an HCCI engine” Applied Thermal Engineering, s. 81-88, 2013.
- [39] Çakır, U., “Seramik Kaplı Bir Dizel Motor Yanma Odasının Termal Analizi” Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- [40] Cerit, M., “Thermo mechanical analysis of a partially ceramic coated piston used in an SI engine” Surface & Coatings Technology, s. 3499-3505, 2011.
- [41] Durat, M., Kapsız, M., Nart, E., Ficici, F., Parlak, A., “The effects of coating materials in spark ignition engine design” Materials and Design, s. 540-545, 2012.
- [42] Varol, B., “Turbo Dizel Bir Motorda Bir Pistonun Termal Ve Mekanik Yükler Altında Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Gerilim Analizi” Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2012.
- [43] Ceylan, S., “Seramik Kaplı Dizel Pistonlarda Termal Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Belirlenmesi” Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2009.
- [44] Xiao, J., Li, Q., Huang, Z., “Motion characteristic of a free piston linear engine” Applied Energy, s. 1288-1294, 2009.

- [45] Mao, J., Zuo, Z., Li, W., Feng, H., “Multi-dimensional scavenging analysis of a free-piston linear alternator based on numerical simulation” *Applied Energy*, s. 1140-1152, 2010.
- [46] Mao, J., Zuo, Z., Feng, H., “Parameters coupling designation of diesel free-piston linear alternator” *Applied Energy*, s. 4577-4589, 2011.
- [47] Chiang, C., Yang, J., Lan, S., Shei, T., Chiang, W., “Dynamic modeling of a SI/HCCI free-piston engine generator with electric mechanical valves” *Applied Energy*, s. 336-346, 2012.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ramazan ŞENER, 1991 yılında Bolu/Gerede’de doğdu. Gerede Halil NOM İlköğretim Okulundan 2005 yılında mezun oldu. Ankara Yavuz Sultan Selim Anadolu Lisesi’ni 2009 yılında bitirdi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden ve Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümünden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrencisidir.